

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
im. T. Kościuszki

mgr inż. Sebastian Bielak

**Ocena i prognoza stanu ekologicznego
ekosystemu rzecznoego na obszarze
Biebrzańskiego Parku Narodowego**

Praca doktorska

Promotor: prof. dr hab. inż. Elżbieta Nachlik

Kraków 2009 r.

Podziękowania

Niniejsza praca, ze względu na złożoność tematu oraz szeroki wachlarz poruszanych zagadnień, nie mogłaby powstać bez pomocy wielu osób, których umiejętności, wiedza, a czasami po prostu bezinteresowna uprzejmość oraz zwykła, ludzka życzliwość pozwoliły na pełną realizację zamierzeń projektu. W tym miejscu chciałbym wyrazić swoją wdzięczność oraz głęboki szacunek wobec wszystkich tych osób.

W pierwszej kolejności chciałbym gorąco podziękować Promotorowi niniejszej pracy, a zarazem mojemu opiekunowi naukowemu Pani **Profesor dr hab. inż. Elżbiecie Nachlik**, która jako jedna z niewielu osób nie obawiała się, wbrew opinii wielu ludzi, podjąć się tak trudnego zadania. Jej niezłomność w dążeniu do zdobycia niezbędnych funduszy oraz pełnej realizacji planów, fachowe porady w zakresie rozwiązań technicznych, ale przede wszystkim serdeczność, cierpliwość oraz ogromne zaufanie do doktoranta powinny być wzorem dla każdego profesora. Specjalne podziękowania należą się niezastąpionej Pani **mgr inż. Jolancie Zatorowskiej**, za jej bezcenną pomoc w organizacji i dbałości o prawidłowy przebieg planu badawczego, od strony formalno-prawnej oraz finansowej.

Serdeczne podziękowania za pomoc w realizacji badań terenowych chciałbym złożyć na ręce **inż. Roberta Michałowskiego**, dr inż. Andrzeja Brandyka oraz mgr inż. Sylwii Szporak ze Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ogromna wiedza i kompetencje oraz nie mniejsze umiejętności organizacyjne p. Michałowskiego pozwoliły dopiąć na przysłowiowy „ostatni guzik” każdą kampanię pomiarową.

Za nieocenioną pomoc w zorganizowaniu i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych a także za udostępnienie danych monitoringowych chciałbym gorąco podziękować pracownikom Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Białymstoku oraz filii w Łomży, wśród których wymienię: **mgr inż. Zbigniewa Kaliszewskiego**, mgr Irenę Sokołowską, Pana Andrzeja Halickiego, **mgr inż. Zbigniewa Wyszyńskiego**, **mgr inż. Alicję Godulę** oraz mgr inż. Wandę Ulińko. Jestem szczególnie wdzięczny p. Kaliszewskiemu – kierownikowi laboratorium, którego osobiste zaangażowanie w cały projekt, fachowe porady oraz życzliwość pozwoliły nie tylko usprawnić realizację zadań, ale również znacznie obniżyć ich koszty.

Za serdeczne przyjęcie, udostępnienie posiadanych materiałów, umożliwienie badań terenowych oraz rzeczowe wskazówki chciałbym podziękować pracownikom Biebrzańskiego Parku Narodowego, wśród których wymienię: obecnego Dyrektora parku **mgr inż. Wojciecha Dudziuka** oraz jego zastępcę **mgr Andrzeja Grygoruka**, byłego dyrektora parku mgr inż. Adama Sieńko, mgr Helenę Bartoszek, mgr inż. Katarzynę Nowicką, mgr Artura Wiśniewskiego, inż. Grzegorza Kwiatkowskiego oraz mgr Janusza Skąpskiego. Wśród wymienionych osób nie może zabraknąć **Pana Henryka Hiero** – komendanta Straży Biebrzańskiego Parku Narodowego, którego nieprzeciętne umiejętności sternicze, świetna orientacja w terenie oraz szybkość działania pozwoliły nie tylko na sprawne przemieszczanie się po mokradłach Biebrzy, ale również na wyjście z nie jednej opresji.

Wyrazy wdzięczności za przekazanie danych monitoringowych chciałbym przekazać **prof. dr hab. inż. Izabeli Bojakowskiej** z Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie, natomiast za udostępnienie danych meteorologicznych chciałbym podziękować pracownikom Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku: **mgr Henryce Oksieńczyk** oraz mgr Jolancie Maciejewskiej.

Spis treści

Wstęp	IV
Tezy i cele rozprawy doktorskiej	V
Rozdział 1 Charakterystyka omawianego obszaru	1
1.1 Kotlina Biebrzańska	1
1.2 Biebrzański Park Narodowy	2
1.3 Basen Dolny Biebrzy	4
1.4 Sieć hydrograficzna Basenu Dolnego Biebrzy	5
1.5 Okresowe zalewy na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy	9
1.6 Zasilanie Basenu Dolnego Biebrzy wodami podziemnymi	13
1.7 Strefy zasilania Basenu Dolnego Biebrzy w wodę	15
1.8 Główne cele ochrony środowiska naturalnego Basenu Dolnego Biebrzy	17
Rozdział 2 Problematyka zanieczyszczenia środowiska wodnego	19
2.1 Zanieczyszczenia wód powierzchniowych	20
2.2 Źródła zanieczyszczeń wód powierzchniowych	27
2.3 Osady denne jako wtórne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych	29
Rozdział 3 Analiza zmian jakości środowiska wodnego Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007	33
3.1 Źródła zanieczyszczeń środowiska wodnego Basenu Dolnego Biebrzy	34
3.2 Mineralizacja torfowisk jako potencjalne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy	36
3.3 Wskaźniki zanieczyszczenia środowiska wodnego	37
3.4 Stan czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007	39
3.4.1 Analiza i ocena wyników monitoringu jakości wód Biebrzy	41
3.4.2 Analiza i ocena wyników monitoringu jakości wód dopływów Biebrzy	47
3.4.3 Podsumowanie i wnioski	56
3.5 Stan czystości osadów rzecznych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2006	61
3.5.1 Analiza i ocena wyników monitoringu geochemicznego osadów rzecznych	61
3.5.2 Podsumowanie i wnioski	66
3.6 Stan czystości wód gruntowych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1994-2004	66
3.6.1 Wyniki monitoringu jakości wód gruntowych wysoczyzn Basenu Dolnego	67
3.6.2 Wyniki badań jakości wód w studniach gospodarskich Basenu Dolnego	69
3.6.3 Podsumowanie i wnioski	70
3.7 Podsumowanie rozdziału oraz wnioski końcowe	71
Rozdział 4 Przegląd i wybór matematycznego modelu jakości wód powierzchniowych.....	72
4.1 Ogólna budowa i podział modeli jakości rzecznych wód powierzchniowych	73

4.2 Podstawy i opis procesów przepływu w modelach jakości wód powierzchniowych ...	74
4.3 Przegląd dostępnych modułów programowych umożliwiających modelowanie jakości wód powierzchniowych	79
4.4 Opis szczegółowy modułu programowego QUAL2K	82
4.5 Podsumowanie i wnioski	84
Rozdział 5 Zakres i zastosowana metodyka pomiarów oraz wyniki badań terenowych	85
5.1 Pomiary hydrometryczne	85
5.1.1 Wybór miejsc na przekroje poprzeczne koryt rzecznych	85
5.1.2 Sondowanie głębokości koryta rzecznoego	87
5.1.3 Pomiary prędkości przepływu wody w przekrojach poprzecznych.....	87
5.1.4 Obliczenie wielkości przepływu wody w przekrojach poprzecznych	98
5.2 Pomiary geodezyjne	98
5.2.1 Wyznaczenie współrzędnych geograficznych	99
5.2.2 Pomiary poziomu zwierciadła wody	105
5.2.3 Obliczenie spadków zwierciadła wody	106
5.3 Pobór próbek wód powierzchniowych oraz analizy chemiczne	107
5.3.1 Pobór próbek oraz pomiar temperatury wód przypowierzchniowych	107
5.3.2 Pobór próbek oraz pomiar temperatury wód przydennych	109
5.3.3 Przechowywanie oraz transport próbek	109
5.3.4 Analizy chemiczne próbek	109
5.4 Dodatkowe dane hydrologiczne	115
Rozdział 6 Konstrukcja, kalibracja oraz weryfikacja matematycznego modelu jakości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy	116
6.1 Konstrukcja, kalibracja oraz weryfikacja modelu przepływu wody	116
6.1.1 Sposób odwzorowania w modelu sieci hydrograficznej	116
6.1.2 Sposób definiowania warunków przepływu – przepływ ustalony	118
6.1.3 Obliczenia parametrów hydraulicznych i geometrycznych koryta rzecznoego	120
6.1.4 Obliczenia czasu transportu wody w korycie rzecznoym	125
6.1.5 Obliczenia dyspersji wzdłuż biegu rzeki	126
6.1.6 Prezentacja oraz omówienie efektów działania skalibrowanego modelu przepływu wody.....	128
6.1.7 Podsumowanie i wnioski	137
6.2 Konstrukcja, kalibracja oraz weryfikacja modelu meteorologicznego	138
6.2.1 Wymiana ciepła pomiędzy rzeką a powietrzem atmosferycznym	140
6.2.2 Wymiana ciepła pomiędzy rzeką a jej osadami dennymi	145
6.2.3 Dane meteorologiczne z posterunków klimatologicznych	146
6.2.4 Obliczenia własne – konstrukcja modelu	147
6.2.5 Obliczenia numeryczne – kalibracja modelu	151
6.2.6 Podsumowanie i wnioski	154

6.3 Konstrukcja, kalibracja oraz weryfikacja modelu przemian biochemicznych	156
6.3.1 Ogólna zasada zachowania masy	156
6.3.2 Wpływ temperatury wody na przebieg reakcji biochemicznych	157
6.3.3 Wpływ warunków hydraulicznych koryta na stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie	157
6.3.4 Stechiometria materii organicznej	158
6.3.5 Fotosynteza	158
6.3.6 Fitoplankton	159
6.3.7 Glony bentosowe	161
6.3.8 Detrytus	164
6.3.9 Przemiany biochemiczne azotu	164
6.3.10 Przemiany biochemiczne fosforu	167
6.3.11 Nasycenie wody ditlenkiem węgla	169
6.3.12 Zasadowość	169
6.3.13 Odczyn	171
6.3.14 Tlen rozpuszczony	173
6.3.15 Wpływ osadów dennych na jakość wód powierzchniowych	174
6.3.16 Obliczenia numeryczne – kalibracja i weryfikacja modelu.....	183
6.3.17 Podsumowanie i wnioski	225
Rozdział 7 Podsumowanie pracy oraz wnioski końcowe	238
7.1 Podsumowanie i wnioski końcowe związane z dynamiką przepływu oraz termiką wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy	238
7.2 Podsumowanie i wnioski końcowe związane z jakością wód powierzchniowych i osadów dennych Basenu Dolnego Biebrzy	242
7.3 Wnioski z monitoringu Inspekcji Ochrony Środowiska i Państwowego Instytutu Geologicznego, dotyczącego jakości wód powierzchniowych oraz osadów dennych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007, pokrywające się z wnioskami z rozprawy doktorskiej	253
7.4 Weryfikacja tez rozprawy doktorskiej	254
7.5 Prognoza przyszłościowych zmian środowiskowych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy	255
7.6 Propozycje przeciwdziałania negatywnym zmianom w środowisku wodnym Basenu Dolnego Biebrzy	257
Literatura	259
Załączniki Dane źródłowe z pomiarów terenowych	269

Wstęp

Ramowa Dyrektywa Wodna Unii Europejskiej (Dyrektywa 2000/60/EC), zwana dalej w skrócie RDW, nakłada na wszystkie kraje członkowskie, w tym także na Polskę, obowiązek oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych, określenia przyczyn ewentualnego ich zanieczyszczenia i zmian hydromorfologicznych oraz oszacowania ryzyka nieosiągnięcia dobrego stanu ekologicznego w wyznaczonym horyzoncie czasowym. W przypadku, gdy jakość ekologiczna ekosystemu jest co najmniej zadowalająca celem środowiskowym staje się utrzymanie lub poprawa aktualnego stanu, natomiast w sytuacji przeciwnej dyrektywa unijna zobowiązuje poszczególne kraje członkowskie do opracowania, a następnie wdrożenia kompleksowego programu działań naprawczych. Głównym ich celem ma być doprowadzenie do zdecydowanej poprawy czystości wód powierzchniowych w danym kraju oraz osiągnięcie odpowiednich warunków biologicznych w tym zakresie do 2015 r., a najdalej do 2027 r. (Dyrektywa 2000).

Realizacja w/w zadań środowiskowych stanowi duże wyzwanie nie tylko dla administracji rządowej oraz samorządów terytorialnych, ale także dla środowisk naukowych, brakuje bowiem zarówno doświadczeń w prowadzeniu tego typu programów jak i też odpowiednich baz danych umożliwiających przeprowadzenie właściwych ocen oraz analiz dotyczących jakości środowiska wodnego. W tej sytuacji, w wielu krajach realizuje się tzw. „studia przypadków” zlokalizowane w cząstkowych zlewniach rzek, bazujące najczęściej na pogłębionych analizach opartych o poszerzoną bazę danych. Umożliwiają one szczegółowe rozpoznanie problemu badawczego, uogólnienie wyciągniętych wniosków oraz opracowanie (lub odpowiedni dobór) właściwych metod i narzędzi analitycznych umożliwiających realizację analogicznych zagadnień w większej skali przestrzennej w zlewni.

Poprzez hierarchiczną realizację postawionych zadań oraz przy systematycznie poszerzanej w czasie bazie danych dostosowuje się metodykę ocen i prognoz do realnej informacji bazowej, a także buduje się na tej podstawie kryteria umożliwiające w przyszłości rozbudowę bazy informacyjnej o dane pochodzące z pomiarów diagnostycznych (monitoring badawczy, diagnostyczny i operacyjny). Dążenie do poprawy jakości wód powierzchniowych ma szczególne znaczenie w przypadku przyrodniczych obszarów chronionych, a zwłaszcza obszarów wodno-błotnych, gdzie podstawowym czynnikiem przyrodotwórczym jest woda, od której jakości oraz swobodnego przepływu zależy prawidłowe funkcjonowanie całych ekosystemów. Opracowanie metodyki ocen jakości środowiska wodnego dla tego typu obszarów jest połączeniem naukowej i praktycznej realizacji celów, jakie przyświecały pomysłodawcom wspólnej polityki wodnej UE. Wzorcowym „studium przypadku” może być Biebrzański Park Narodowy – największy obszar wodno-błotny Polski oraz jedno z ostatnich, naturalnych mokradeł Europy.

Tezy rozprawy doktorskiej

Teza główna:

Zwiększająca się w Biebrzy Dolnej oraz jej dopływach ilość zanieczyszczeń antropogenicznych oraz substancji pochodzenia naturalnego może spowodować, obecnie lub w przyszłości, powolną degradację ekologiczną przyrodniczo cennego ekosystemu rzecznoego Basenu Dolnego Biebrzańskiego Parku Narodowego.

Hipotezy szczegółowe:

- 1) Istotny wpływ na pogorszenie jakości wód powierzchniowych na obszarze Basenu Dolnego mają dopływy Biebrzy transportujące zanieczyszczenia z obszarów znajdujących się poza granicami parku narodowego.
- 2) Znaczny wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy mają odwadniane torfowiska, które są naturalnym źródłem materii organicznej.
- 3) Istotny wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy mają osady denne Biebrzy, które stanowią wtórne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych, np. fosforem mineralnym.
- 4) Istotny wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy mają nie skanalizowane, wiejskie jednostki osadnicze zlokalizowane wzdłuż brzegów dolnego odcinka Biebrzy, które stanowią obszarowe źródła zanieczyszczenia rzeki biogenami.

Cele rozprawy doktorskiej

Głównym celem rozprawy doktorskiej jest uzasadnienie bądź jednoznaczne odrzucenie postawionych tez w oparciu o wyniki własnych badań naukowych. Metodyka badań będzie polegała na opisie dynamiki przepływu wody w Biebrzy uwzględniającym zarówno transport zanieczyszczeń jak i też zachodzące w wodzie procesy biochemiczne wpływające na jej jakość. Zostanie to osiągnięte poprzez kalibrację, a następnie weryfikację jednowymiarowego modelu matematycznego Biebrzy. Metodyka badań zostanie poprzedzona i uzupełniona oceną (opartą na wieloaspektowych analizach) dotychczasowego stanu ekologicznego wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy, która umożliwi właściwą identyfikację czynników wpływających na czystość środowiska wodnego. Opracowana na podstawie wyników badań metodyka oceny aktualnej jakości wód powierzchniowych oraz najważniejszych czynników wpływających na nią pozwoli na prognozowanie stanu czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy w założonym horyzoncie czasowym, w zależności od możliwych scenariuszy rozwoju zlewni.

Cel główny rozprawy doktorskiej planuje się osiągnąć poprzez realizację poszczególnych etapów badawczych:

- 1) Wytypowanie najważniejszych czynników wpływających na stan czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy, w oparciu o literaturę oraz wyniki wieloletniego monitoringu jakości wód powierzchniowych i osadów dennych prowadzonego na obszarze Biebrzańskiego Parku Narodowego przez państwową Inspekcję Ochrony Środowiska oraz Państwowy Instytut Geologiczny.
- 2) Wyznaczenie, na podstawie analiz fizyko-chemicznych próbek wody oraz wyników symulacji komputerowych, rozkładu stężeń zanieczyszczeń transportowanych w Biebrzy na całym jej odcinku znajdującym się w granicach Basenu Dolnego (ok. 50 km długości), w okresie letnim oraz jesienią.
- 3) Oszacowanie, na podstawie pkt 2, ładunku zanieczyszczeń jaki przedostaje się do wód Biebrzy Dolnej z jej dopływów oraz z obszaru Basenu Środkowego w okresie letnim oraz jesienią, a także odniesienie tego ładunku do wielkości przepływu wody w rzece.
- 4) Określenie, na podstawie pkt 2-3, faktycznego wpływu odwadnianych torfowisk na jakość wody w Biebrzy.
- 5) Oszacowanie, na podstawie pkt 2-3, faktycznego wpływu osadów dennych na jakość wody w Biebrzy.
- 6) Klasyfikacja, na podstawie pkt 2-5, aktualnego stanu czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy, w oparciu o obowiązujące w Polsce przepisy prawne, a także oszacowanie potencjalnego wpływu jakości wody na poszczególne komponenty ekosystemu rzecznej Biebrzy Dolnej (np. roślinność wodna, ryby).
- 7) Zweryfikowanie, na podstawie pkt 2-6, tezy dotyczącej realnej groźby degradacji ekologicznej ekosystemu rzecznej Dolnej Biebrzy.
- 8) Opracowanie, na podstawie wyników badań własnych oraz wyników wieloletniego monitoringu IOŚ i PIG, scenariusza przyszłościowych zmian środowiskowych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy, w zależności od tempa rozwoju gospodarczego najbliższej zlewni oraz ogólnych kierunków zmian zachodzących w całym kraju, uwzględniając:
 - a) wzrost stężeń zanieczyszczeń w dopływach Biebrzy wywołany pojawieniem się w ich zlewni kolejnych punktowych lub obszarowych źródeł zanieczyszczeń;
 - b) nasilenie się zjawiska mineralizacji torfowisk na skutek ocieplenia się klimatu i wynikających z tego niższych stanów wody w Biebrzy;
 - c) problem „suchego roku”, kiedy bardzo niskie stany wód oraz niewielkie przepływy w Biebrzy powodują, że ekosystem rzeczny staje się szczególnie wrażliwy na wpływ niskiej jakości wód powierzchniowych, co w szczególności dotyczy wypłyceń Biebrzy poniżej miejscowości Brzostowo.

Rozdział 1

Charakterystyka omawianego obszaru

Północno-wschodnia część naszego kraju tworzy obszar funkcjonalny o nazwie „Zielone Płuca Polski”, który w porównaniu do regionów takich jak Małopolska czy też Górny i Dolny Śląsk jest tylko w niewielkim stopniu przekształcony przez człowieka. Nie ma tu ciężkiego przemysłu, hut, kopalń, brakuje wielkich aglomeracji miejskich a gęstość zaludnienia wciąż pozostaje niska, zwłaszcza w świetle odwiecznych migracji ludności do miast czy też coraz powszechniejszych wyjazdów za granicę. Obecność rozległych lasów, licznych jezior, rozlewisk rzecznych i mokradeł, ale przede wszystkim stosunkowo czyste środowisko powodują, że obszar ten jest ostoją dla wielu gatunków roślin i zwierząt będących często rzadkością zarówno w skali krajowej jak i europejskiej. Nieprzeciętna wartość przyrodnicza tego regionu ma swoje odzwierciedlenie w ilości funkcjonujących tu przyrodniczych obszarów chronionych, w samym województwie podlaskim są to 4 parki narodowe (Biebrzański, Białowiecki, Narwiański i Wigierski) oraz 3 parki krajobrazowe (Łomżyński, Puszczy Knyszyńskiej i Suwalski).

Powstanie „Zielonych Płuc Polski” było wynikiem inicjatywy społecznej, jaka pojawiła się jeszcze na początku lat 80. XX w. a która miała na celu rozwój oraz promocję ekologicznie czystych i przyrodniczo atrakcyjnych terenów północno-wschodniej Polski. Rozwój ten miał odbywać się nie w oparciu o proces uprzemysłowienia, tak jak miało to miejsce w XIX i XX w. na Śląsku, ale poprzez znalezienie złotego środka pomiędzy rozwojem gospodarczym oraz potrzebami ludności a ochroną wartości przyrodniczych, czyli poprzez tzw. rozwój zrównoważony. Dziś koncepcja „Zielonych Płuc Polski” – pomimo wielu zmian, jakie zaszły w naszym kraju – nic nie straciła na swojej aktualności, zwłaszcza, że obszar ten zajmuje ok. 20% powierzchni naszego kraju i ze względu na swoją wielkość oraz znaczenie w ochronie środowiska naturalnego może być uważany za jeden z podstawowych elementów składowych „Zielonych Płuc Europy”.

1.1 Kotlina Biebrzańska

Jednym z najcenniejszych pod względem przyrodniczym, a zarazem najmniej przekształconym przez działalność człowieka fragmentem „Zielonych Płuc Polski” jest Kotlina Biebrzańska, w obrębie której oprócz Kotliny Biebrzy wyróżnia się też Kotlinę Wizny oraz Kotlinę Tykocina. Jest to największe obniżenie terenowe w tej części kraju, gdyż zajmuje ponad 2000 km² powierzchni (Banaszuk 2001) i rozciąga się od granicy polsko-białoruskiej aż do rzeki Narwi. Według podziału fizyczno-geograficznego obszar ten należy do makroregionu Niziny Północnopodlaskiej (Anaszkó, Grodzki 2001). Trzonem Kotliny

Biebrzańskiej jest pradolina rzeki Biebrzy, której od 73% (Banaszuk 2001) do 95% (Mioduszewski 2001) powierzchni zajmują mokradła oraz rozlewiska rzeczne.

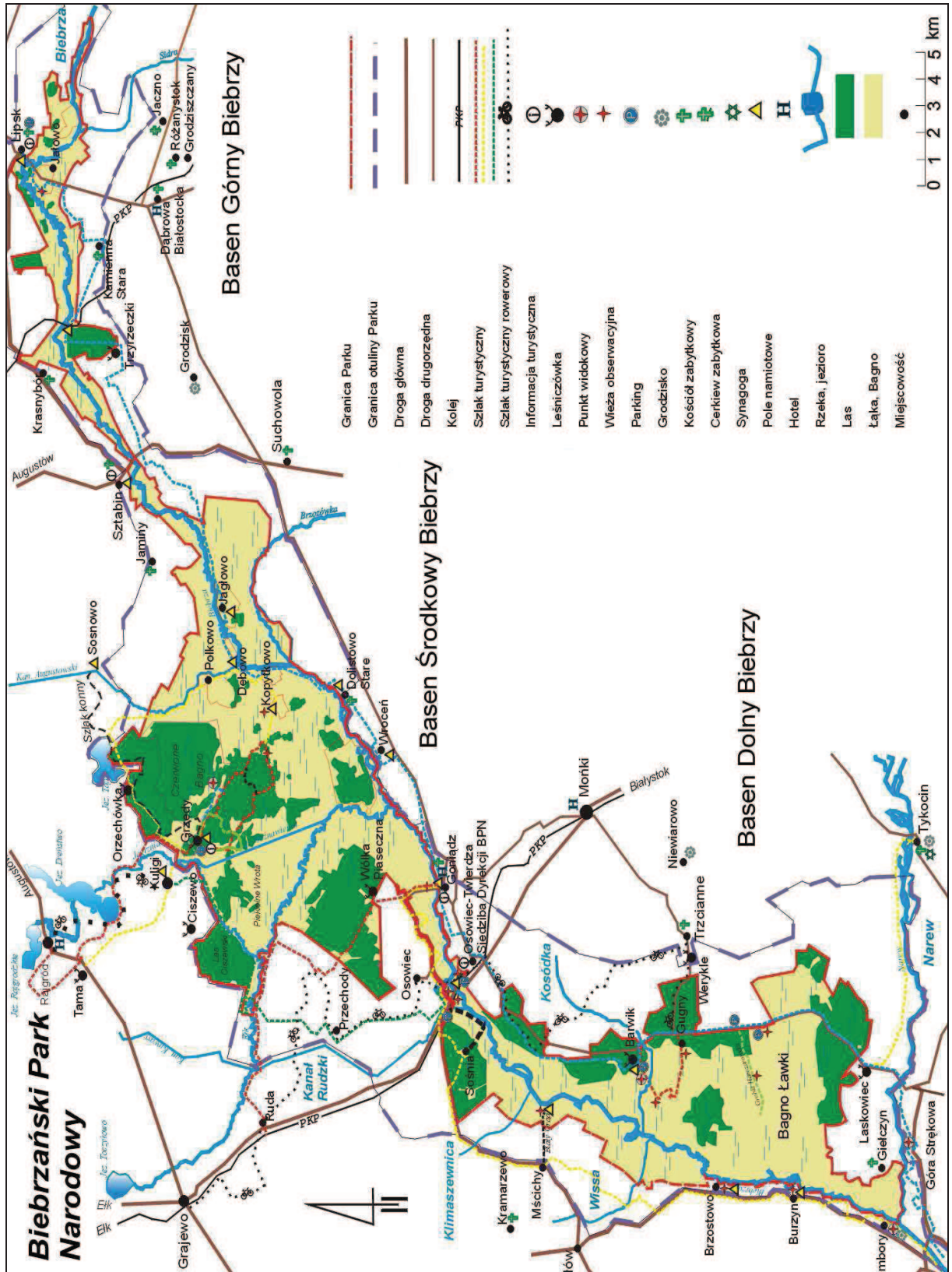
W obrębie pradoliny Biebrzy znajduje się największy w Polsce (ok. 100 000 ha powierzchni), a także jeden z największych w Europie kompleks torfowisk niskich z fragmentami torfowisk wysokich i przejściowych, mineralnych wysoczyzn, grądów śródbagiennych, a także starorzeczy i naturalnych meandrów rzecznych (Żurek 1991; Anaszko, Grodzki 2001). Rozległe torfowiska powstały na skutek powolnego przepływu przez dolinę wód powierzchniowych oraz równoczesnego zasilania jej wodami podziemnymi. Jako ekosystemy mokradłowe torfowiska cechują się ogromną różnorodnością biologiczną oraz wpływają korzystnie na wahania zasobów wód powierzchniowych. Ze względu na swoje wysokie walory przyrodnicze Kotlina Biebrzańska została objęta najwyższą formą ochrony poprzez utworzenie na jej obszarze parku narodowego.

1.2 Biebrzański Park Narodowy

Biebrzański Park Narodowy, o powierzchni 59 223 ha (wraz z otuliną 126 047 ha) został założony w 1993 r. w celu ochrony ekosystemów mokradłowych pradoliny Biebrzy. Położony jest ok. 40 km od Białegostoku w kierunku północno-zachodnim i jako największy park narodowy Polski składa się z trzech, geomorfologicznie odrębnych części: Basenu Górnego Biebrzy, Basenu Środkowego Biebrzy oraz Basenu Dolnego Biebrzy (Mioduszewski, Wassen 2000; Sieńko, Grygoruk 2003) zwanych też Kotliną Biebrzy Górnej, Kotliną Biebrzy Środkowej oraz Kotliną Biebrzy Dolnej (Okruszko H. 1991a; Banaszuk 2001). Słynne „Biebrzańskie Bagna” zajmują powierzchnię 25 494 ha (43% powierzchni parku), lasy pokrywają 15 547 ha (26%) natomiast użytki zielone (łąki, pastwiska) oraz grunty orne zajmują 18 182 ha (31%) (Sieńko, Grygoruk 2003).

Biebrzański Park Narodowy znajduje się od 1995 r. na liście Konwencji Ramsarskiej jako obszar mający międzynarodowe znaczenie dla ochrony przyrody, zwłaszcza jako siedlisko oraz teren lęgowy wędrownego ptactwa wodno-błotnego (The List of Wetlands... 2008). Park należy również do europejskiej sieci ekologicznej ECONET (Kotowski i in. 1999) oraz w całości do sieci Natura 2000 (Rozporządzenie 2004b; Rozporządzenie 2007). Obszar chroniony w obrębie Biebrzańskiego Parku Narodowego jest bardzo cenny z powodu swej naturalności oraz bogactwa występującej tu flory i fauny. W dolinie Biebrzy udokumentowano obecność ponad 800 gatunków roślin naczyniowych, 49 gatunków ssaków oraz 36 gatunków ryb (Witkowski 1991; Sieńko, Grygoruk 2003) jednak największą chlubą parku jest jego awifauna.

Dolina Biebrzy, a zwłaszcza jej Basen Dolny, jest unikatową w skali Europy enklawą dla ptaków wodno-błotnych oraz drapieżnych uznawaną przez wiele międzynarodowych organizacji ekologicznych, m. in. *BirdLife International*, za obszar o znaczeniu globalnym w ochronie wędrownego ptactwa (Hoffmann 2004). Występują tu 273 gatunki ptaków, w tym ponad 180 lęgowych, spośród których wiele gatunków to ptaki rzadko występujące w Polsce



Mapa udostępniona dzięki uprzejmości Dyrekcji Biebrzańskiego Parku Narodowego.

Rys. 1.1 Mapa Biebrzańskiego Parku Narodowego

i w Europie, a ok. 20 gatunków to ptaki zagrożone wyginięciem i umieszczone w „Czerwonej księdze zwierząt ginących i zagrożonych w Polsce” (Raczyński 1991; Głowaciński 2002). Znaczenie parku jest tym większe, że w chwili obecnej pozostała na świecie już tylko połowa istniejących dotychczas naturalnych mokradeł (Kundzewicz 2003). W Europie zniszczono (osuszono i zagospodarowano rolniczo) ich jeszcze więcej, np. w Wielkiej Brytanii pozostało już tylko 30% pierwotnego stanu bagien (Briggs i in. 1999).

Niektóre państwa, jak np. Holandia, starają się już od lat 80. XX wieku odtworzyć zniszczone wcześniej mokradła (Wassen 1990) wydając przy tym ogromne pieniądze na renaturyzację zdegradowanych terenów mokradłowych oraz prowadzenie na nich specjalistycznych badań naukowych. W Polsce proces osuszania „bezwartościowych” rozlewisk nie przebiegał tak intensywnie jak w zachodniej Europie, ale i tak uregulowano 40% długości rzek a na ok. 80% powierzchni siedlisk dolinowych wciąż funkcjonują systemy melioracyjne, których rola sprowadza się w gruncie rzeczy do ich odwadniania (Dembek i in. 1999). W strategii wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej Biebrzański Park Narodowy jest przedstawiany jako wzorzec niemal całkowicie naturalnego obszaru mokradłowego Europy (Common Implementation Strategy... 2003). Najmniej przekształconym, a zarazem najcenniejszym pod względem przyrodniczym fragmentem parku narodowego jest Basen Dolny Biebrzy.

1.3 Basen Dolny Biebrzy

Basen Dolny Biebrzy, o powierzchni 45 300 ha (Okruszko H. 1991c), to silnie zabagnione wodami gruntowymi oraz powierzchniowymi szerokie obniżenie terenu o płaskim dnie, znajdujące się 15-20 m poniżej otaczających je od wschodu i zachodu wysoczyzn (moren) (Dembek i in. 2000). Kształtem basen ten przypomina prostokąt o długości 30-35 km i szerokości 12-15 km (Bleuten et al. 2002, Banaszuk 2004). Basen Dolny Biebrzy zawiera w swych granicach torfowiska o łącznej powierzchni od ok. 21 000 ha (Żurek 1991) do ok. 23 000 ha (Churski, Szuniewicz 1991; Oświt 1991a; Bartoszek i in. 2001). Przeciętna miąższość warstwy torfu wynosi od 1,5 do 2 m, pod którą zalegają utwory mineralne – piaski (Oświt 1991a). Cechą wyróżniającą Basen Dolny Biebrzy, oprócz wysokiego stopnia zabagnienia sięgającego 72% powierzchni (Banaszuk 2004) oraz dużego zróżnicowania rodzajowego mokradeł, jest stosunkowo duży (57% powierzchni) areal ich występowania w stanie naturalnym (Okruszko H. 1991a). Mokradła na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy zajmują łącznie ok. 27 000 ha powierzchni (Banaszuk 2004). Klimat Basenu Dolnego Biebrzy cechuje się długą zimą, krótkim okresem przedwiośnia, dość krótkim okresem wegetacji, wysoką wilgotnością powietrza (średnia roczna ponad 80%), najniższą średnią roczną temperaturą powietrza na niżu (od 4,8 do 8,3°C) oraz częstymi mgłami (Kossowska-Cezak i in. 1991, Górniak 2004), w czym niebagatelną rolę odgrywają tutejsze mokradła. W latach 1961-2000 na obszarze Kotliny Biebrzy średni roczny opad atmosferyczny wynosił od 536 do 610 mm, natomiast średnia roczna prędkość wiatru 3,8 m/s (Górniak 2004).

1.4 Sieć hydrograficzna Basenu Dolnego Biebrzy

Charakterystyczny krajobraz oraz nieprzeciętne walory przyrodnicze Biebrzańskiego Parku Narodowego, a zwłaszcza jego Basenu Dolnego, zostały ukształtowane na przestrzeni wieków przez wodę. Najważniejszym elementem parku jest rzeka Biebrza – największy po Bugu dopływ Narwi, który bierze swój początek na południe od Nowego Dworu na bagnach Jatła (Byczkowski, Kiciński 1991). Jest to rzeka typowo nizinna i zarazem całkowicie naturalna (nieuregulowana), która płynie wolno licznymi zakolami oraz starorzeczami, często wśród niedostępnych trzcinowisk i wierzbowych zarośli porastających rozległe bagna. W granicach parku narodowego znajduje się 156,5 km koryta Biebrzy (co stanowi 92% jej całkowitej długości) oraz 107 kilometrów dopływów, jednak przyrodniczy obszar chroniony obejmuje swoim zasięgiem zaledwie 8,4% powierzchni całej zlewni Biebrzy, która wynosi 7057,4 km² (Byczkowski i in. 2000).

Basen Dolny Biebrzy rozpoczyna się przy wodowskazu w pobliżu miejscowości Osowiec-Twierdza znajdującym się nieznacznie powyżej miejsca, gdzie Kanał Rudzki (będący sztucznym przedłużeniem koryta rzeki Elk) wpada do Biebrzy, natomiast kończy się u jej ujścia do Narwi. Drugi wodowskaz zamykający bilans wodny Biebrzy znajduje się w pobliżu miejscowości Burzyn położonej ok. 8 km od jej ujścia do Narwi. Na obszarze Basenu Dolnego Biebrza płynie na odcinku o długości 50,3 km (Byczkowski i in. 2000), początkowo środkiem Bagna Biebrzańskiego, a następnie aż do Narwi u podnóża wysokiego zachodniego brzegu będącego krawędzią Wysoczyzny Kolneńskiej (Sieńko, Grygoruk 2003). Bezpośrednia zlewnia tego odcinka rzeki zajmuje powierzchnię ok. 1100 km² (co stanowi 15,6% całej zlewni), z czego część lewobrzeżna zajmuje 370 km² natomiast prawobrzeżna 730 km² (Bleuten et al. 2002). Biebrza bardzo meandruje, tworzy liczne zakola oraz starorzecza, w których woda często stagnuje albo występuje tylko w okresie wysokich stanów na rzece.

W granicach Basenu Dolnego Biebrza odbiera wodę z kilkunastu naturalnych dopływów, z których tylko cztery mają znaczenie w bilansie wodnym rzeki, są to w kolejności: Kanał Rudzki, Klimaszewnica, Kosódka oraz Wissa. Posterunki wodowskazowe znajdują się na rzece Wissie (w miejscowości Czachy) oraz na Kanale Rudzkim (m. Przechody). Niegdyś Biebrza była również zasilana rowami odwadniającymi obszar południowo-wschodniej części basenu (m. in. Bagno Ławki), jednak przeprowadzone w ostatniej dekadzie prace renaturyzacyjne oraz naturalny proces zarastania koryt trzcinami doprowadziły do tego, iż obecnie rowy te odprowadzają wodę do Biebrzy tylko w okresie wiosennych zalewów, gdy nadmiar zalegających wód powierzchniowych spływa z mokradeł w kierunku głównego koryta rzeki. Największe skupisko rowów melioracyjnych Basenu Dolnego znajdujących się na obszarze Bagna Ławki to *de facto* układ starych, zamulonych i zarastających kanałów (Mioduszewski, Gajewska 2000).

Tabela 1.1 Charakterystyka sieci hydrograficznej oraz zlewni Basenu Dolnego Biebrzy

Parametr	Biebrza	Dopływy Biebrzy			
		Kanał Rudzki	Klimaszewnica	Kosódka	
Wissa					
Całkowita długość cieków [km]	170,6	113,6	16,60	23,15	49,00
Długość cieków w granicy otuliny BPN [km]	0,0	15,4	2,4	9,85	5,9
Długość cieków w granicy Basenu Dolnego [km]	50,3	1,3	2,7	6,5	3,6
Powierzchnia całkowitej zlewni [km ²]	Całkowita zlewnia Biebrzy 7057,4 Całkowita zlewnia Biebrzy Basenu D. 2692,3	1524,46	71,2	131,1	517,3
Pow. zlewni w granicy otuliny BPN [km ²]	160,35	71,31	12,13	65,24	11,67
Pow. zlewni w granicy Basenu Dolnego [km ²]	474,87	1,0	3,31	19,12	3,2
Szerokość koryta [m]	21-37	Ujście do Biebrzy			
		9,5-12,5	3-4	5-7,5	6,5-8
Szerokość dna [m]	6-33	Ujście do Biebrzy			
		7,5	1-2	2,5-3	3,5
Średnia głębokość przepływu [m]	0,9-4,3 (maksymalna 4,5)	Ujście do Biebrzy			
		1,3-1,9	0,2-0,6	0,5-1,2	1,5-2,2
Ujście do Biebrzy [km biegu Biebrzy]	0,0	11,3	11,3	26,7	27,8
Wodowskaz [km biegu rzeki]	Oswiec (120,3) Burzyn (162,1)	Przechody (102,9)			
Opis zlewni znajdującej się poza granicą otuliny BPN	Transport zanieczyszczeń spoza granic parku narodowego	Co najmniej 7 oczyszczalni ścieków oraz zakładów produkcyjnych odprowadzających oczyszczone ścieki do Elku, 2 miasta (Elk, Grajewo), kilkadziesiąt wsi i miasteczek			
Opis zlewni znajdującej się w gr. otuliny BPN	Transport zanieczyszczeń z Basenu Środkowego Biebrzy	Kilkanaście wsi, kilka dopływów z terenów zabudowanych			
Opis zlewni znajdującej się w granicy Basenu Dolnego	W m. Oswiec-Twierdza ścieki odprowadzane z jedn. wojskowej i kompleksu domków letniskowych, od Osowca do m. Brzostowo mokradła, w m. Brzostowo intensywny wypas bydła na łąkach wzdłuż Biebrzy, położone nad brzegiem Biebrzy wsie: Brzostowo, Rutkowskie, Wierciszewo i in. to potencjalne obszarowe źródła zanieczyszczeń	Kilka wsi, grunty orne, pastwiska Kilka wsi, grunty orne, pastwiska Kilka wsi, grunty orne, odwadniające łąki, pastwiska Kilka wsi, grunty orne, odwadniające łąki, pastwiska			
		Podmokłe łąki, nieużytki			
		Mokradła			
		Mokradła			
		Mokradła			

Tabela 1.2 Roczne przepływy charakterystyczne w wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy w wieloleciu 1971-1995 [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Rok	rz. Biebrza, w. Osowiec			rz. Kanał Rudzki, w. Przechody			rz. Wissa, w. Czachy			rz. Biebrza, w. Burzyn		
	WQ	SQ	NQ	WQ	SQ	NQ	WQ	SQ	NQ	WQ	SQ	NQ
1971	91,30	26,20	5,58	28,40	11,50	2,08	21,80	2,90	0,24	180,00	35,90	7,54
1972	36,10	15,60	6,79	17,90	7,18	1,73	9,09	2,65	0,73	49,80	25,10	9,65
1973	39,60	20,20	7,12	17,30	8,45	3,05	8,98	2,30	0,63	52,70	31,30	11,10
1974	126,00	26,80	9,60	25,20	9,45	3,11	16,50	3,10	0,86	193,00	41,60	15,80
1975	148,00	47,00	8,95	38,00	16,00	2,93	36,10	4,32	0,88	249,00	71,60	14,50
1976	78,00	17,90	6,40	18,80	8,34	3,56	13,00	2,10	0,77	97,10	26,60	10,50
1977	83,90	23,00	8,32	21,10	9,48	4,08	14,70	2,66	1,12	87,90	34,40	14,40
1978	91,50	27,40	11,10	24,40	9,93	5,09	14,70	3,18	0,80	144,00	42,50	19,90
1979	360,00	42,50	9,81	58,20	16,60	4,78	58,60	4,03	0,80	517,00	60,70	15,50
1980	105,00	34,20	11,70	31,00	12,70	6,54	40,60	3,61	1,06	160,00	48,80	19,40
1981	99,50	38,20	11,60	31,40	16,90	6,79	22,60	3,88	1,18	160,00	59,70	21,60
1982	89,50	30,70	7,24	52,90	14,80	3,11	25,20	3,54	0,67	118,00	41,20	10,60
1983	55,20	23,80	6,28	26,00	9,85	2,41	11,70	1,96	0,28	61,60	31,30	8,85
1984	22,70	14,40	8,32	11,50	6,00	3,57	3,63	1,73	0,62	36,00	24,10	12,60
1985	59,20	23,30	9,42	19,40	10,40	4,87	26,00	2,60	0,88	99,40	33,70	14,80
1986	65,00	26,00	7,41	20,20	11,40	4,41	13,50	2,79	0,50	116,00	42,30	11,60
1987	64,00	22,60	12,00	22,40	10,70	5,74	22,20	2,29	0,92	104,00	34,90	21,20
1988	85,90	26,40	12,00	33,90	13,30	4,75	29,20	3,12	0,94	210,00	42,90	19,60
1989	60,00	22,00	7,47	23,20	10,10	4,03	7,29	2,15	0,72	66,00	31,10	12,10
1990	60,00	25,70	7,28	27,40	11,50	3,48	9,70	2,14	0,48	62,10	33,80	12,80
1991	59,20	26,00	6,16	19,40	10,40	2,36	9,14	2,38	0,55	76,50	37,00	9,87
1992	43,80	17,10	3,25	19,70	7,48	1,94	8,72	1,65	0,26	49,80	24,90	5,30
1993	56,80	25,20	7,60	23,40	10,40	3,22	11,70	1,94	0,54	78,00	34,20	13,20
1994	102,00	32,70	5,12	51,70	14,70	3,13	21,80	3,10	0,50	192,00	51,30	8,44
1995	62,00	29,00	5,84	24,00	11,00	4,18	9,14	3,21	0,80	78,00	39,50	11,00
Średnia	85,77	26,56	8,09	27,47	11,14	3,80	18,62	2,77	0,71	129,52	39,22	13,27
Mediana	65,00	26,00	7,47	24,00	10,40	3,56	14,70	2,66	0,73	99,40	35,90	12,60
Odchylenie standardowe	63,89	7,83	2,34	11,65	2,90	1,35	12,46	0,73	0,25	99,32	11,79	4,40
Przedział modalny	60,00-65,00	26,00-26,80	7,10-7,60	19,40-19,70	10,40	3,11-3,22	21,80-22,20	3,10-3,21	0,80	76,50-78,00	31,1-31,3	14,40-14,80
Wartość minimalna	22,70	14,40	3,25	11,50	6,00	1,73	3,63	1,65	0,24	36,00	24,10	5,30
Wartość maksymalna	360,00	47,00	12,00	58,20	16,90	6,79	58,6	4,32	1,18	517,00	71,6	21,6

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne.

Tabela 1.3 Półroczne przepływy charakterystyczne w wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy w wieloleciu 1971-1995 [m^3s^{-1}]

Pora roku	Przepływ	rz. Biebrza w. Osowiec	rz. Kanał Rudzki w. Przechody	rz. Wissa w. Czachy	rz. Biebrza w. Burzyn
Zima (XI-IV)	WWQ	360,00	58,20	58,60	517,00
	SWQ	80,50	26,60	18,50	122,00
	SSQ	34,60	14,40	3,65	48,90
	SNQ	13,80	6,78	1,38	22,30
	NNQ	6,79	1,73	0,73	9,65
Lato (V-X)	WWQ	126,00	36,10	17,00	193,00
	SWQ	48,20	18,20	6,56	66,70
	SSQ	18,60	7,93	1,91	29,60
	SNQ	8,58	4,14	0,72	14,20
	NNQ	3,25	1,94	0,24	5,30
Rok (XI-X)	WWQ	360,00	58,20	58,60	517,00
	SWQ	85,80	27,50	18,60	130,00
	SSQ	26,60	11,10	2,77	39,20
	SNQ	8,09	3,80	0,71	13,30
	NNQ	3,25	1,73	0,24	5,30

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne.

Tabela 1.4 Miesięczne przepływy charakterystyczne w wybranych wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy w wieloleciu 1971-1995 [m^3s^{-1}]

Miesiąc	rz. Kanał Rudzki, w. Przechody					rz. Biebrza, w. Burzyn				
	WWQ	SWQ	SSQ	SNQ	NNQ	WWQ	SWQ	SSQ	SNQ	NNQ
XI	37,6	13,7	11	8,85	1,73	249	50,1	41,2	32,8	11,8
XII	33,5	16,5	13,1	10,4	3,57	157	53,4	42,1	31,3	12,5
I	52,9	18,6	15	11,7	4,01	180	53,2	42,2	33,2	10,4
II	34,3	17,1	13,6	10,7	3,19	124	51,3	41,1	32	9,65
III	55	21,7	15,2	11,2	2,9	360	89,9	53,5	34,3	15
IV	58,2	22,1	18,5	14,8	5,73	517	103	73,4	51,3	22,1
V	36,1	16,7	13	9,57	4,76	106	54,6	44,7	35,9	16,1
VI	21,8	11,1	8,34	6,45	3,22	87,9	39,5	30,4	22,7	12,2
VII	20	8,33	6,53	5,15	1,94	76,8	29,9	23,2	17,8	6,84
VIII	12,6	6,85	5,74	4,80	2,42	87,4	27,8	23,7	18,7	5,44
IX	17,9	7,34	6,16	5,08	2,25	59,5	27,8	22,9	18,6	5,3
X	31	9,53	7,78	5,87	2,08	193	41	32,7	24,2	9,66

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne.

Tabela 1.5 Roczne przepływy charakterystyczne w wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy w wieloleciu 1951-1990 [m^3s^{-1}]

Rzeka	Wodowskaz	Okres obserwacji	A [km^2]	NNQ	SNQ	SSQ	SWQ	WWQ
Biebrza	Osowiec	1951-1990	4365,1	3,08	7,30	26,6	88,5	360
	Burzyn		6900,4	4,33	11,9	39,2	143	670
Kanał Rudzki	Przechody	1961-1990	1452,5	1,6	3,54	11,1	28	58,2
Wissa	Czachy	1957-1990	487,8	0,24	0,7	2,77	19,4	58,6

Źródło danych: (Byczkowski, Mandes 1997). Opracowanie własne.

Tabela 1.6 Miesięczne charakterystyki przepływu w roku suchym i mokrym w wybranych wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Miesiąc	rz. Kanał Rudzki, w. Przechody						rz. Biebrza, w. Burzyn					
	rok suchy (1969)			rok mokry (1981)			rok suchy (1969)			rok mokry (1975)		
	WQ	SQ	NQ	WQ	SQ	NQ	WQ	SQ	NQ	WQ	SQ	NQ
XI	4,75	3,72	2,67	27,80	25,20	23,00	20,60	16,90	14,10	249,00	190,00	124,00
XII	3,68	3,05	2,40	26,30	23,50	21,20	20,20	13,40	8,10	157,00	127,00	111,00
I	4,62	3,48	2,50	29,20	25,90	23,30	7,80	6,90	6,45	180,00	155,00	121,00
II	6,10	5,11	4,38	31,40	25,10	19,90	7,75	7,25	6,70	124,00	86,50	67,50
III	8,04	6,08	5,40	30,20	23,40	20,50	20,20	10,20	7,35	67,50	59,20	52,70
IV	8,76	6,15	5,20	22,70	16,50	12,80	38,50	28,80	22,50	57,20	53,00	50,30
V	9,24	7,06	5,40	14,40	11,20	7,62	28,60	24,70	17,70	61,10	53,50	39,60
VI	6,00	4,33	3,42	9,36	7,93	6,79	17,10	14,60	10,80	38,60	28,80	20,40
VII	4,05	3,07	2,12	9,90	8,15	7,06	10,40	8,63	6,06	33,50	23,70	16,20
VIII	4,42	2,59	1,60	12,50	10,50	9,36	10,50	6,08	4,33	50,90	45,20	36,00
IX	4,05	2,50	1,91	15,30	12,90	10,50	10,60	8,46	7,28	34,30	19,00	14,50
X	2,67	2,14	1,60	13,80	12,90	12,00	9,52	8,22	7,54	22,50	20,40	16,20

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne.

Największe przepływy wody w Biebrzy występują na wiosnę (marzec, kwiecień) w czasie topnienia śniegu, natomiast najmniejsze przepływy notuje się w okresie letnim (lipiec, sierpień, wrzesień). Poziom wody na Biebrzy i jej dopływach zmienia się znacznie w ciągu roku oraz w poszczególnych latach, dlatego też pomimo zauważanej od wielu lat, zarówno przez ekologów jak i naukowców (Oświt 1991a), coraz mniejszej intensywności zasilania Basenu Dolnego wodami powierzchniowymi analiza danych hydrologicznych nie wykazała jednoznacznych tendencji zmian w przepływie wody (Bleuten et al. 2002). Innymi słowy zachodzące procesy nie odbiegają w swojej istocie od naturalnego zjawiska znacznego wahania przepływu wody w Biebrzy. Ilość wsiąkającej w torfowiska Basenu Dolnego wody pochodzącej z opadów atmosferycznych jest znaczna z powodu dużej powierzchni doliny, jednak jest ona prawie całkowicie zużywana w wyniku parowania z gleb oraz roślin (Bleuten et al. 2002), dlatego też nie ma większego wpływu na bilans wodny Biebrzy.

1.5 Okresowe zalewy na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy

Jednym z fenomenów doliny Biebrzy są wiosenne zalewy uważane za jeden z najważniejszych czynników kształtujących ekosystemy mokradłowe, gdyż ich wielkość oraz czas trwania decydują o odpowiednim nasyceniu wodą torfowisk, co zapobiega degradacji torfów (Wassen 1990; Chormański et al. 2000a; Okruszko T. et al. 2002). Podczas topnienia śniegu lub po długotrwałych opadach atmosferycznych w krótkim okresie czasu spływają do pradoliny Biebrzy znaczne ilości wód z obszaru jezior położonych w północnej części zlewni. Odpływ wody z Basenu Dolnego do Narwi jest ograniczany obecnością stożka napływowego usypanego przez tę rzekę przy ujściu do niej Biebrzy. Powoduje to gromadzenie się na obszarze basenu wód rzecznych, które rozlewają się po obu stronach koryta Biebrzy

szerokim pasem terenu. Niegdyś pas ten miał ok. 5-6 km szerokości (Oświt 1991a), jednak w ciągu ostatnich 100 lat, na skutek przeprowadzonych w pradolinie Biebrzy melioracji, został mocno zredukowany i mierzy obecnie ok. 2-3 km (Żurek 1991).

Ze względu na zdolność torfu do magazynowania wody torfowiska zachowują się w przypadku zalewów jak wielkie zbiorniki retencyjne pochłaniające nadmiar wody oraz neutralizujące falę powodziową, natomiast w okresach suszy stają się głównym źródłem wody i ostoją życia dla organizmów. W ten sposób pradolina Biebrzy spełnia rolę wielkiego zbiornika wód powierzchniowych i podziemnych powoli drenowanego przez Narew (Okruszko H. 1991c). Im wolniej woda z wiosennych roztopów wpływa do doliny Biebrzy tym dłuższe wywołuje zalewy, które mogą trwać od kilku miesięcy do nawet całego roku (Chormański et al. 2000a), przeważnie jednak trwają przez kilkanaście tygodni (Okruszko T. et al. 2002). Coroczne zalewy nieraz znacznie różnią się między sobą, a zalewany obszar może zajmować od ok. 50 km² (najmniejszy z dotychczas zanotowanych, 1984 r.) do ok. 200 km² (największy, 1979 r.) (Chormański et al. 2000a; Okruszko T. et al. 2002). Tego typu zalewy występują rzadko (1% prawdopodobieństwa wystąpienia), natomiast najczęściej obszar zalewany zajmuje powierzchnię ok. 100 km², np. w 1999 r. (Chormański et al. 2000b; Okruszko T. et al. 2002). Pradolina Biebrzy, ze względu na jej ukształtowanie terenu oraz obecność pochłaniających wodę torfowisk, posiada największą spośród dolin rzecznych w Polsce pojemność retencyjną, której rząd wielkości sięga pojemności największych w kraju zbiorników wodnych (Byczkowski, Kiciński 1991).

Ze względu na swój nizinny charakter Biebrza wykazuje nierównomierność rocznego rozkładu odpływu wody z dorzecza, w którym na półroczu zimowe (listopad-kwiecień) przypada 61% odpływu natomiast na półroczu letnie 39% (Byczkowski, Fal 2004). Największy odpływ przypada na okres wiosennych wezbrań (marzec-maj) pochodzenia roztopowego z maksimum przypadającym na kwiecień. Specyficzne dla dorzecza Biebrzy są również niskie odpływy letnie (lipiec-wrzesień, 5% odpływu rocznego) związane z dużym parowaniem z obszaru mokradeł oraz stosunkowo wysokie odpływy jesienne (październik-grudzień, 8% odpływu rocznego) spowodowane zmniejszeniem się parowania na skutek spadku temperatury powietrza (Byczkowski, Fal 2004). Odkąd w latach 60. i 70. XX w. przeprowadzono szeroko zakrojone melioracje w dorzeczu górnej i środkowej Biebrzy oraz Narwi zmianie uległa wielkość odpływu z Basenu Dolnego, a także zmienił się poziom wody w samej Biebrzy (Byczkowski, Mandes 1997). Potwierdzają to analizy porównawcze poziomów wody na wodowskazie Burzyn w okresie przed regulacją Narwi (1951-1970) oraz po regulacji (1971-1996) (Bleuten et al. 2002). Z analiz tych wynika, że po 1970 r. podniósł się na Biebrzy średnioroczny poziom wody o 32 cm, średni zimowy o 37 cm, a średni letni o 23 cm. Przeciętna ilość dni z niskimi stanami wody zmniejszyła się, natomiast wzrosła ilość dni z wyższymi stanami wody skutkując większym odpływem z Basenu Dolnego.

Dodatkowo, z powodu zauważalnego od kilkunastu lat niedoboru opadów atmosferycznych w Polsce oraz coraz łagodniejszych zim (będących następstwem

Tabela 1.7 Roczny bilans wodny w wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy wieloletni 1971-1995 [mm]

Rok	rz. Biebrza, w. Osowiec			rz. Kanał Rudzki, w. Przechody			rz. Wissa, w. Czachy			rz. Biebrza, w. Burzyn		
	Opad	Odplyw	α	Opad	Odplyw	α	Opad	Odplyw	α	Opad	Odplyw	α
1971	522,2	189,2	0,36	514,7	249,9	0,49	510,6	187,6	0,37	519,4	163,8	0,32
1972	738,5	113,3	0,15	736,4	156,6	0,21	741,8	171,9	0,23	738,7	115,0	0,16
1973	568,0	146,1	0,26	551,1	183,4	0,33	545,5	148,6	0,27	561,8	142,9	0,25
1974	797,4	193,8	0,24	802,5	205,3	0,26	787,3	200,6	0,25	796,8	190,0	0,24
1975	617,2	339,6	0,55	578,1	347,6	0,60	608,4	279,4	0,46	608,7	327,2	0,54
1976	465,9	129,4	0,28	484,5	181,6	0,37	454,8	136,2	0,30	467,6	121,7	0,26
1977	680,3	166,4	0,24	671,6	205,8	0,31	692,9	172,1	0,25	680,6	157,4	0,23
1978	694,6	198,3	0,29	683,6	215,8	0,32	678,4	205,6	0,30	690,3	194,0	0,28
1979	600,7	306,6	0,51	606,4	360,4	0,59	589,5	260,2	0,44	600,1	277,1	0,46
1980	711,1	247,6	0,35	709,3	276,6	0,39	706,5	234,2	0,33	709,5	223,7	0,32
1981	610,4	276,2	0,45	643,2	366,6	0,57	593,2	250,7	0,42	613,5	272,8	0,44
1982	523,2	221,7	0,42	534,6	322,1	0,60	508,7	229,0	0,45	523,2	188,0	0,36
1983	608	172	0,28	614	213,8	0,35	591,0	126,9	0,21	606,5	143,3	0,24
1984	569,4	104,4	0,18	580,3	130,6	0,23	562,0	112,1	0,20	570,0	110,3	0,19
1985	628,1	168,2	0,27	641	227	0,35	611,5	168,3	0,28	628,0	154,2	0,25
1986	568,2	187,8	0,33	590,7	248	0,42	552,8	180,3	0,33	570,0	193,5	0,34
1987	538,6	163,3	0,30	615,9	232,7	0,38	535,6	147,7	0,28	551,5	159,6	0,29
1988	598,6	190,8	0,32	617,2	290	0,47	583,4	201,9	0,35	599,0	196,6	0,33
1989	590,8	159,1	0,27	627,1	218,7	0,35	578,4	139,4	0,24	596,0	142,1	0,24
1990	674	185,3	0,27	656,1	249,2	0,38	641,3	138,7	0,22	666,9	154,2	0,23
1991	478,6	187,8	0,39	482,3	226,2	0,47	469,9	154,0	0,33	477,6	169,2	0,35
1992	576,8	123,9	0,21	592,6	162,8	0,27	561,0	106,8	0,19	577,1	114,1	0,20
1993	643,9	182	0,28	659,7	225,7	0,34	626,3	125,5	0,20	644,0	156,6	0,24
1994	603,2	236,3	0,39	618,8	318,5	0,51	595,3	200,7	0,34	604,1	234,5	0,39
1995	705,9	209,4	0,30	730,9	239,7	0,33	697,3	207,3	0,30	708,8	180,5	0,25
Średnia	612,5	191,9	0,32	621,7	242,2	0,4	600,9	179,4	0,31	612,4	179,3	0,3
Mediana	603,2	187,8	0,29	617,2	227	0,37	591	172,1	0,3	604,1	163,8	0,26
Odchylenie standardowe	80,07	56,5	0,09	77,27	62,98	0,11	81,91	47,18	0,08	79,37	53,84	0,09
Przedział modalny	598,6-603,2	187,8	0,27-0,28	614,0-618,8	239,7-249,9	0,35	589,5-595,3	168,3-172,1	0,3	596,0-608,7	154,2-157,4	0,24
Wartość minimalna	465,9	104,4	0,15	482,3	130,6	0,21	454,8	106,8	0,19	467,6	110,3	0,16
Wartość maksymalna	797,4	339,6	0,55	802,5	366,6	0,6	787,3	279,4	0,46	796,8	327,2	0,54

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne.

Tabela 1.8 Półroczny bilans wodny w wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy w wieloleciu 1971-1995 [mm]

Pora roku	Parametr	rz. Biebrza w. Osowiec	rz. Kanał Rudzki w. Przechody	rz. Wissa w. Czachy	rz. Biebrza w. Burzyn
Zima (XI-IV)	Opad	223,5	227,8	215,9	223,2
	Odptyw	124,1	155,3	117,2	111,0
	α	0,55	0,68	0,54	0,49
Lato (V-X)	Opad	389,0	393,9	385,0	389,2
	Odptyw	67,8	86,9	62,2	68,3
	α	0,17	0,22	0,16	0,17
Rok (XI-X)	Opad	612,5	621,7	600,9	612,4
	Odptyw	191,9	242,2	179,4	179,3
	α	0,31	0,39	0,30	0,29

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne

Tabela 1.9 Średnie miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu w wybranych wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy w wieloleciu 1971-1995 [mm]

Miesiąc	rz. Kanał Rudzki w. Przechody			rz. Biebrza w. Burzyn		
	Opad	Odptyw	α	Opad	Odptyw	α
XI	47,7	19,6	0,41	45,3	15,5	0,34
XII	47,7	24,2	0,51	47,0	16,3	0,35
I	36,5	27,7	0,76	35,8	16,4	0,46
II	24,6	22,8	0,93	24,5	14,5	0,59
III	35,4	28,0	0,79	34,9	20,8	0,60
IV	35,9	33,0	0,92	35,7	27,5	0,77
V	53,2	24,1	0,45	54,7	17,4	0,32
VI	82,3	14,9	0,18	79,8	11,4	0,14
VII	79,8	12,0	0,15	80,5	9,0	0,11
VIII	68,0	10,6	0,16	65,5	9,2	0,14
IX	61,9	11,0	0,18	61,4	8,6	0,14
X	48,7	14,3	0,29	47,3	12,7	0,27

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne.

Tabela 1.10 Charakterystyczne odpływy jednostkowe w wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy w wieloleciu 1971-1995 [$l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$]

Rzeka	Wodowskaz	Okres obserwacji	A [km ²]	NNq	SNq	SSq	SWq	WWq
Biebrza	Osowiec	1971-1995	4365,1	0,74	1,85	6,09	19,6	82,5
	Burzyn		6900,4	0,77	1,93	5,68	18,8	74,9
Kanał Rudzki	Przechody		1452,5	1,19	2,61	7,64	18,9	40,1
Wissa	Czachy	1978-1995	487,8	0,49	1,46	5,68	38,1	120,0

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne.

Tabela 1.11 Średnie miesięczne wysokości warstwy opadu i odpływu w roku suchym i mokrym w wybranych wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy [mm]

Miesiąc	rz. Kanał Rudzki, w. Przechody						rz. Biebrza, w. Burzyn					
	rok suchy (1969)			rok mokry (1981)			rok suchy (1969)			rok mokry (1975)		
	Opad	Odpływ	α	Opad	Odpływ	α	Opad	Odpływ	α	Opad	Odpływ	α
XI	39,1	6,6	0,17	34,6	45,0	1,3	36,4	6,3	0,17	41,6	71,3	1,71
XII	6,6	5,6	0,85	51,4	43,3	0,84	9,1	5,2	0,57	77,5	49,3	0,64
I	13,1	6,4	0,49	31,1	47,9	1,54	12,2	2,7	0,22	36,2	60,1	1,66
II	19,0	8,5	0,45	25,0	41,8	1,67	19,2	2,5	0,13	11,5	30,3	2,63
III	7,3	11,2	1,53	37,6	43,1	1,15	8,0	4,0	0,50	25,2	23,0	0,91
IV	49,0	11,0	0,22	19,9	29,4	1,48	46,3	10,8	0,23	47,7	19,9	0,42
V	62,1	13,0	0,21	59,0	20,7	0,35	54,9	9,6	0,17	37,6	20,8	0,55
VI	35,7	7,7	0,22	98,7	14,2	0,14	41,6	5,5	0,13	88,6	10,8	0,12
VII	31,0	5,7	0,18	108,8	15,0	0,14	32,1	3,3	0,10	141,7	9,2	0,06
VIII	73,6	4,8	0,07	86,8	19,4	0,22	81,7	2,4	0,03	20,9	17,5	0,84
IX	36,4	4,5	0,12	39,2	23,0	0,59	34,9	3,2	0,09	44,7	7,1	0,16
X	49,2	3,9	0,08	51,2	23,8	0,46	46,4	3,2	0,07	35,4	7,9	0,22

Źródło danych: (Byczkowski i in. 2000). Opracowanie własne.

ocieplania się klimatu) pokrywa śnieżna w zlewni Biebrzy jest z roku na rok coraz cieńsza. W efekcie, w ciągu ostatnich kilku dekad zmniejszył się zasięg oraz wielkość corocznych zalewów, co wraz ze wspomnianymi melioracjami w dolinie Biebrzy spowodowało stopniowe wysychanie oraz degradację (mineralizację) pokładów torfu. Z drugiej strony jednak przeprowadzone analizy czasu trwania powodzi mierzonego ilością dni z wodostanem powodziowym na wodowskazie Burzyn oraz wielkości powodzi mierzonej zmianami w poziomie lustra wody w ciągu ostatnich 50 lat nie potwierdziły tego negatywnego procesu (Okruszko T. et al. 2002). Obecnie uważa się, że zjawisku wiosennych zalewów na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy może jedynie zaszkodzić gwałtowne ocieplenie się klimatu lub też niekorzystne zmiany w sieci hydrograficznej przeprowadzone na wielką skalę w całej zlewni Biebrzy, natomiast obserwowane wysychanie niektórych części basenu najprawdopodobniej ma przyczyny nie związane z przepływem wody w Biebrzy (Okruszko T. et al. 2002).

1.6 Zasilanie Basenu Dolnego Biebrzy wodami podziemnymi

Basen Dolny Biebrzy, ze względu na ukształtowanie terenu oraz specyfikę budowy geologicznej podłoża, przypomina ogromną nieckę gromadzącą w sobie wody powierzchniowe (pochodzące z wylewów Biebrzy) oraz podpowierzchniowe przesiąkające z otaczających ją wysoczyzn. System wodonośny całej zlewni podziemnej ma charakter wielopoziomowego zbiornika wód podziemnych, w którym można wyróżnić dwa główne poziomy wodonośne rozdzielone warstwą utworów nieprzepuszczalnych (iły, gliny) o miąższości ok. 20 m (Pajnowska, Poźniak 1991; Bleuten et al. 2002):

- **poziom przypowierzchniowy** występujący od samej powierzchni ziemi miejscami aż do głębokości ok. 40 m i wypełniający całą dolinę, zbudowany z utworów

przepuszczalnych (głównie drobne piaski) oraz pokryty cienką, nieciągłą warstwą torfów; poziom ten pozbawiony jest izolacji powierzchniowej i występują tu wody gruntowe, z których część to wody zaskórne; szacuje się, że zasilanie Basenu Dolnego wodami z tego poziomu wynosi ok. 3500 m³/dobę, z czego ok. 80% dopływa z wysoczyzny wschodniej (Mioduszeński i in. 2001).

- **poziom śródmorenowy** o kilkumetrowej miąższości, występujący od głębokości ok. 60 m, zbudowany z utworów przepuszczalnych (piaski, żwiry), zawiera wody wgłębne o najwyższej jakości; szacuje się, że zasilanie Basenu Dolnego wodami z tego poziomu wynosi ponad 15000 m³/dobę, z czego ok. 80% dopływa z wysoczyzny wschodniej (Mioduszeński i in. 2001); uważa się, że poziom ten ze względu na swoje rozprzestrzenienie oraz parametry hydrogeologiczne odgrywa zasadniczą rolę w zasilaniu całej doliny Biebrzy (Pajnowska, Poźniak 1991).

Wody podziemne zasilające torfowiska charakteryzują się wysoką zawartością żelaza, manganu, glinu oraz wapnia, co wynika z obecności tych pierwiastków w podłożu mineralnym zalegającym pod torfami (Wassen 1990). Średnie stężenia w wodach gruntowych (w zależności fragmentu basenu) wynoszą: wapń od 3,33 do 138 mg·dm⁻³, żelazo od 1,72 do 98,8 mg·dm⁻³ (Bleuten et al. 2002). Wody podziemne spływają, tzn. powoli przesączają się przez piaszczyste warstwy wodonośne w kierunku Basenu Dolnego z otaczających go ze wschodu i zachodu wysoczyzn (moren) wznoszących się ok. 15-20 m powyżej płaskiego dna basenu (Żurek 1991; Bleuten et al. 2002). Czas przepływu tych wód wynosi ponad 100 lat (Mioduszeński et al. 2002b). Zalegające w morenach wody podziemne występują łącznie w 2-3 warstwach wodonośnych o miąższości kilku metrów każda.

Płytke warstwy wodonośne (wody gruntowe znajdujące się na głębokości od kilku do kilkunastu metrów) są zasilane poprzez infiltrację w głąb gruntu opadów atmosferycznych, natomiast głębiej położone warstwy wodonośne (wody wgłębne należące do poziomu śródmorenowego) są zasilane wodami podziemnymi dopływającymi tu z obszarów położonych daleko od doliny Biebrzy (najprawdopodobniej z regionu Mazur i Suwałk) (Bleuten et al. 2002). Kierunek przepływu wód podziemnych jest prostopadły do koryta Biebrzy (Mioduszeński et al. 2002b). Zwierciadło zbiornika wód gruntowych Basenu Dolnego ma niewielki spadek w kierunku koryta Biebrzy oraz spadek zgodny ze spadkiem tej rzeki w kierunku Narwi. Przepływ wód gruntowych jest stabilny i znaczny pod względem ilości przepływającej wody, dzięki czemu zwierciadło wód gruntowych Basenu Dolnego jest w dużym stopniu niezależne od takich czynników jak niedobór opadów atmosferycznych czy też obniżenie się zwierciadła wody w Biebrzy (Bleuten et al. 2002).

Badania naukowe wykazały, że wody gruntowe Basenu Dolnego zasadniczo nie są zasilane przez opady atmosferyczne, gdyż sumaryczna ilość wody emitowanej do atmosfery w wyniku ewapotranspiracji jest na torfowiskach większa od ilości wody dostarczanej do nich poprzez opady atmosferyczne (Mioduszeński et al. 2002b). Utrzymywanie się warunków trwałego uwodnienia na rozległych obszarach Basenu Dolnego, pomimo drenującego

działania rzeki, świadczy o dominującej roli wód gruntowych w jego zabagnieniu (Wassen 1990; Oświt 1991a), zwłaszcza, że intensywne zasilanie wodami podziemnymi nie jest równoważone odpływem wody z basenu (Pajnowska, Poźniak 1991). Ta część wód gruntowych, która przedostała się do przypowierzchniowej warstwy gruntu i została zmagazynowana w torfach nie zasila wód powierzchniowych basenu (Bleuten et al. 2002).

Badania naukowe wykazały, że wahania zwierciadła wód gruntowych na obszarze Basenu Dolnego nie wpływają w sposób istotny na wartość odpływu wody z basenu (liczoną jako przepływ wody na wodowskaziu Burzyn) (Mioduszeński et al. 2002b), tak więc wpływ wód podziemnych na wody powierzchniowe ma znaczenie przede wszystkim jakościowe, a nie ilościowe. Wody powierzchniowe Basenu Dolnego cechują się bowiem specyficznym tłem geochemicznym, a sama Biebrza oraz jej dopływy posiadają naturalne, wysokie stężenia żelaza, manganu, glinu oraz wapnia. Uważa się, że pomimo dużego znaczenia płytkich wód podziemnych dominującą rolę w zasilaniu Basenu Dolnego odgrywają wody powierzchniowe (Chormański et al. 2000b).

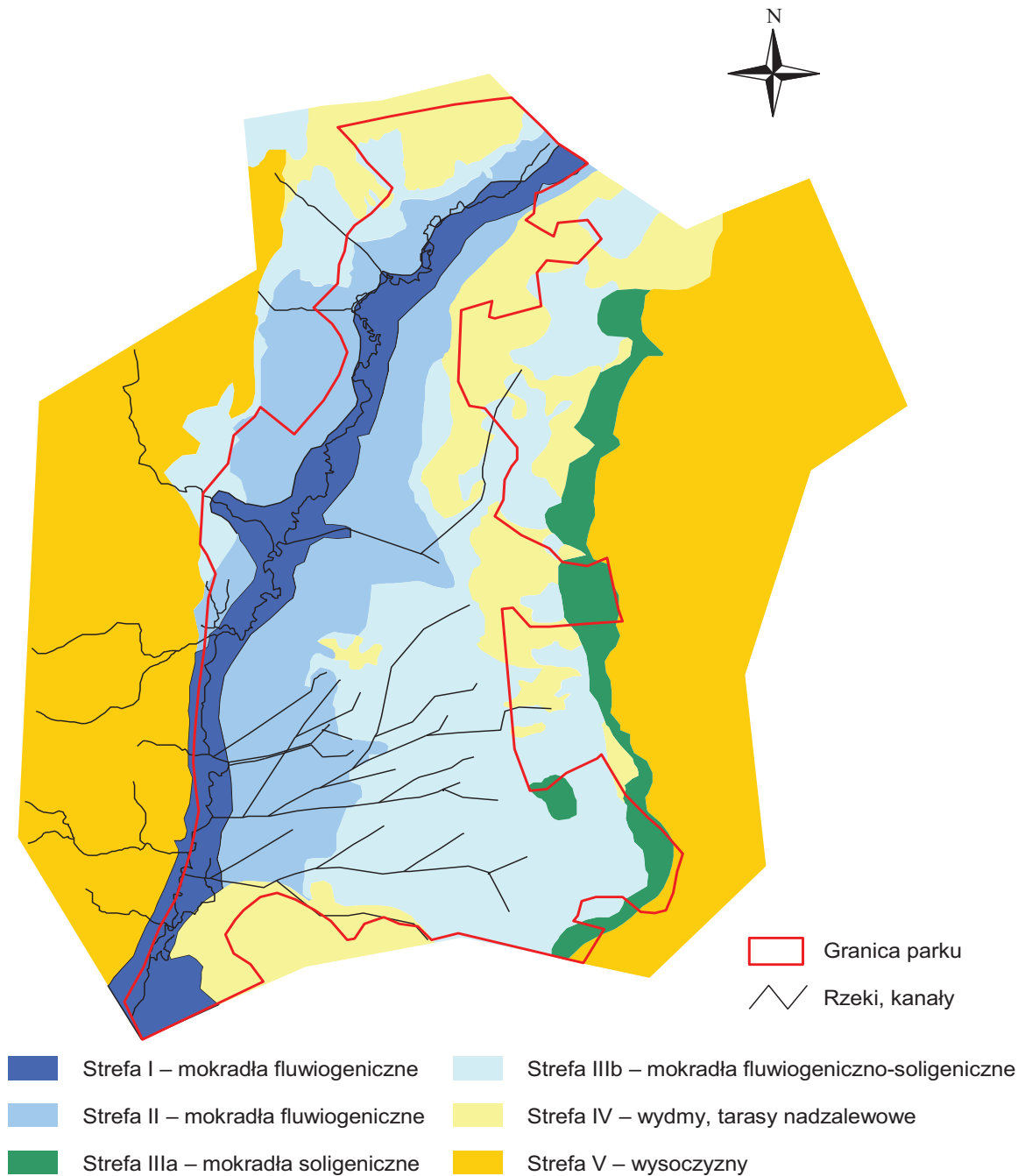
1.7 Strefy zasilania Basenu Dolnego Biebrzy w wodę

Mokradła Basenu Dolnego Biebrzy są zasilane w wodę na trzy odrębne sposoby (Okruszko H. 1991c, Okruszko T. et al. 2002):

- a) wodami powierzchniowymi pochodzącymi z Biebrzy, przelewającymi się poza jej koryto w czasie wiosennych zalewów;
- b) wodami podziemnymi, w tym wodami gruntowymi oraz wodami wgłębnymi, których wychodnie znajdują się na znacznej części obszaru basenu, wody te przesiąkają do basenu z otaczających go wysoczyzn;
- c) opadami atmosferycznymi.

W wyniku istnienia mieszanego układu hydrologicznego, tzn. zasilania Basenu Dolnego Biebrzy zarówno wodami powierzchniowymi jak i też wodami podziemnymi wykształciła się tu specyficzna strefowość ekosystemów roślinnych oraz hydrogenicznych utworów glebowych, niespotykana nigdzie indziej w dolinach mokradłowych Polski (Sieńko, Grygoruk 2003). Kolejno ułożone po sobie, równoległe do Biebrzy pasy terenu są zajęte przez różne utwory glebowe, patrząc od strony rzeki są to w kolejności: namuły, muły, torfy i utwory torfiaste. Gleby te są pokryte odmiennymi zbiorowiskami roślin, odpowiednio: trzcinowiskami, turzycowiskami, podmokłymi łąkami oraz lasami (Oświt 1968). W zależności od dominującego sposobu zasilania w wodę w obrębie Basenu Dolnego Biebrzy można wyróżnić pięć stref (Mioduszeński et al. 2002a).

Strefa I to wąski pas terenu położony wzdłuż koryta Biebrzy, zbudowany głównie z piaszczystych gleb aluwialnych (madów) użytkowanych jako łąki i pastwiska, zazwyczaj lekko wzniesionych ponad otaczający je teren. Strefa ta, zwana strefą mułową (Żurek 1991), jest rokrocznie zasilana wodami powierzchniowymi pochodzącymi z wylewów Biebrzy (Oświt 1991a; Mioduszeński et al. 2002a), a zwierciadło wód gruntowych jest bezpośrednio



Rys. 1.2 Strefy zasilania Basenu Dolnego Biebrzy w wodę (Mioduszeński et al. 2002b)

uzależnione od stanu wody w rzece. Strefa I to typowe mokradła fluwiogeniczne, porastają je zbiorowiska roślinne charakterystyczne dla łągów rozlewiskowych, tzn. szuwar mannowy oraz szuwar mozgowy, gdzie popularnym gatunkiem jest m. in. turzyca zastrzona (Oświt 1991b). W górnej części basenu występują przeważnie szuwały trzcinowe związku *Phragmition* (z takimi gatunkami roślin jak: oczeret jeziorny, pałka wąskolistna, tatarak zwyczajny) natomiast w południowej części dominują turzycowiska związku *Magnocaricion* (m. in. turzyca zastrzona, turzyca sztywna, mozga trzcinowata, wiechlina błotna) (Oświt 1991b). **Strefa II** obejmuje środkową część Basenu Dolnego, czyli tereny o największym

uwilgotnieniu gruntu. Ponieważ warunki wilgotnościowe panujące w wierzchniej warstwie tutejszych gleb zależą (podobnie jak w strefie I) w dużym stopniu od wiosennych zalewów strefa II to również obszar mokradeł fuwiogenicznych (Oświt 1991a). W przypadku braku wiosennych zalewów lub zbyt krótkiego czasu ich trwania zwierciadło wód gruntowych znacznie obniża się w okresie letnim prowadząc do niepożądanych zmian w roślinności (Mioduszeński et al. 2002a). Występujące tu zbiorowiska roślinne są charakterystyczne dla łągów zastoiskowych i są to głównie turzycowiska związków *Magnocaricion* oraz *Caricion fuscae* (m. in. turzyca siwa, turzyca dzióbkwata, turzyca darniowa, trzcinnik prosty) (Oświt 1991b). **Strefa III** to obszar zasilany w głównej mierze wodami podziemnymi, dotyczy to zwłaszcza znajdującej się w jej obrębie **strefy IIIa** cechującej się intensywnym wysiękiem wód gruntowych. Strefa ta, zlokalizowana wzdłuż wschodniej wysoczyzny Basenu Dolnego, to obszar mokradeł soligenicznych.

Obszarem przejściowym pomiędzy strefą IIIa intensywnie zasilaną wodami gruntowymi a częścią Basenu Dolnego systematycznie zalewaną wodami powierzchniowymi z Biebrzy (strefy I i II) jest **strefa IIIb**. Tutaj również dopływają wody powierzchniowe, ale w nieznacznej ilości, gdyż obszar ten jest zalewany tylko w niektóre lata i to wyłącznie przez krótki okres czasu. W strefie IIIb dochodzi do mieszania się wód powierzchniowych z gruntowymi, dlatego też obszar ten uznaje się za mokradła mieszane, czyli fluwiogeniczno-soligeniczne (Okruszko H. 1991c). Wykazał to skład chemiczny próbek wody pobranych bezpośrednio z cieków powierzchniowych oraz z zainstalowanych w torfowiskach piezometrów (Mioduszeński et al. 2002a). Badania dynamiki wód gruntowych wykazały, że zwierciadło tych wód podnosi się zimą i pozostaje powyżej poziomu powierzchni gruntu na obszarach zalewanych w trakcie wiosennych powodzi (Bleuten et al. 2002).

Częstym zjawiskiem w strefie IIIb są zastoiska wodne o głębokości kilku centymetrów będące efektem dopływu wód gruntowych oraz stagnacji wody pozostałej po wiosennych roztopach, niezależnie od stanu wody w Biebrzy (Mioduszeński et al. 2002a). Nieznaczna depresja na tym obszarze powoduje, że woda powstała po stopnieniu śniegu spływa stąd bardzo wolno. W strefie IIIb zaznacza się większe zróżnicowanie roślinności, występują tu mechowiska związku *Caricion lasiocarpe* (m. in. turzyca nitkowata, mchy brunatne), łąki zmiennowilgotne *Molinietalia* (m. in. trzęślica modra, goryczka wąskolistna) oraz zarośla i lasy, tj. brzezina moczarowa, ols właściwy, biel oraz bór mechowiskowy (Czerwiński 1991). **Strefa V**, czyli obszar wysoczyzn otaczających Basen Dolny oraz **strefa IV** (wydmy i tarasy nadzalewowe) to tereny zasilane wyłącznie opadami atmosferycznymi, na których nie wykształciła się roślinność mokradłowa.

1.8 Główne cele ochrony środowiska naturalnego Basenu Dolnego Biebrzy

Przeprowadzone niegdyś prace regulacyjne koryta Narwi oraz wybudowanie sieci rowów melioracyjnych odwadniających Bagna Biebrzańskie spowodowały nieodwracalne szkody w tutejszym środowisku naturalnym. Znaczna część torfowisk, na skutek

nadmiernego ich odwodnienia uległa procesowi degradacji, polegającej na utlenianiu przesuszonych pokładów torfu i ich powolnemu zanikowi (Bleuten et al. 2002). Zmniejszyła się bioróżnorodność biebrzańskich ekosystemów mokradłowych oraz przyspieszeniu uległa sukcesja naturalna drzew i krzewów w miejsce odwodnionych otwartych łąk (Dembek i in. 2000). Proces spadku biologicznej różnorodności oraz ekspansji zakrzaczeń jest szczególnie widoczny na terenie Basenu Dolnego Biebrzy (Piórkowski 2003). Badania porównawcze przeprowadzone na podstawie zdjęć lotniczych wskazują, że w okresie 1962-1990 na obszarze równiny zalewowej Basenu Dolnego udział zbiorowisk reprezentujących najwcześniejsze etapy sukcesji naturalnej wzrósł o ponad 160% (Piórkowski, Rycharski 1999). Szacunkowe dane wskazują, że w ciągu ostatnich 40 lat w całej dolinie nastąpiło zwiększenie udziału powierzchni pokrytej różnymi formami zakrzaczeń o ok. 10-15% (Schmidt et al. 2000).

Bogactwo przyrodnicze pradoliny Biebrzy, w szczególności Basenu Dolnego uzależnione jest od dużego i stałego w czasie dostępu organizmów wodnych, roślin oraz torfowisk do wody o właściwym składzie fizyko-chemicznym. Tymczasem Polska jest zaliczana do krajów o ubogich zasobach wodnych, a woda o odpowiedniej jakości staje się powoli towarem deficytowym. Zasoby wodne Polski (wyrażone przeciętnym rocznym odpływem rzek) przypadające na jednego mieszkańca są mniejsze niż w krajach sąsiednich i znacznie niższe niż przeciętne w Europie (stanowią zaledwie ok. 36% średniej europejskiej) (IOŚ 2003; IOŚ 2006). Dodatkowo zasoby wodne dorzecza Biebrzy są niższe o ok. 10% od średnich wartości w dorzeczu Wisły oraz całego kraju (Byczkowski, Kiciński 1991; Byczkowski, Fal 2004). W obliczu występujących globalnych zmian klimatycznych oraz zauważalnego gołym okiem niedoboru opadów atmosferycznych w Polsce (zwłaszcza w okresie letnim) szczególnego znaczenia nabiera jakość wody.

Ochrona środowiska przyrodniczego Basenu Dolnego Biebrzy sprowadza się do czterech zasadniczych postulatów:

- a) utrzymanie odpowiedniego poziomu nasycenia wodą gleb hydrogeniczných, co umożliwi prawidłowe funkcjonowanie ekosystemów mokradłowych oraz rozwój charakterystycznej roślinności;
- b) niedopuszczenie do zarastania otwartych, podmokłych łąk ziołoroślowych będących najatrakcyjniejszym siedliskiem i obszarem lęgowym dla większości gatunków ptaków wodno-błotnych;
- c) utrzymanie przepływu wody w Biebrzy i jej dopływach na odpowiednim poziomie oraz utrzymywania jak najdłużej trwających zalewów wiosennych, co zabezpiecza torfowiska przed wysychaniem i degradacją;
- d) osiągnięcie odpowiedniej jakości wód Biebrzy i jej dopływów, co umożliwi utrzymanie jak największej bioróżnorodności ekosystemów wodnych oraz wodno-łąkowych i niedopuszczenie do ich degradacji na skutek zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

Rozdział 2

Problematyka zanieczyszczenia środowiska wodnego

Woda, będąca podstawą życia oraz najważniejszym komponentem ekosystemów wodnych i wodno-łądowych, odgrywa szczególną rolę w problematyce zanieczyszczenia środowiska, bowiem jako bardzo dobry rozpuszczalnik zawiera w sobie większość substancji i związków chemicznych występujących w skorupie ziemskiej. Jej fizyko-chemiczne właściwości jako ośrodka, w którym rozgrywa się większość naturalnych procesów kształtujących wspomniane ekosystemy pozwalają substancjom chemicznym na swobodną migrację w środowisku wodnym i wodno-łądowym, a tym samym na oddziaływanie na jego poszczególne składniki, w szczególności na organizmy roślin i zwierząt.

Znaczna część tych związków chemicznych to zanieczyszczenia antropogeniczne, czyli substancje wprowadzone do wód powierzchniowych na skutek działalności człowieka, które najczęściej nie występują w sposób naturalny w przyrodzie bądź też są w niej obecne w znacznie mniejszych ilościach (lub stężeniach). Skład chemiczny wód powierzchniowych jest uzależniony od szeregu zachodzących w nich procesów biologicznych, fizycznych oraz chemicznych. Szczególnie dużą rolę odgrywają tu procesy chemiczne, takie jak: reakcje „kwas-zasada”, wymiana składników pomiędzy powietrzem atmosferycznym a wodą, rozpuszczanie substancji, wytrącanie się osadów, reakcje utleniająco-redukujące, tworzenie się kompleksów czy też procesy adsorpcji-desorpcji (Dojlido 1995). Duży wpływ na skład chemiczny wód powierzchniowych mają również opady atmosferyczne.

W zależności od stężeń, w jakich dane substancje występują w wodach powierzchniowych możemy wyróżnić w nich następujące składniki (Dojlido 1995):

- składniki podstawowe (od kilkunastu do kilkuset $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), w tym: krzemionka (SiO_2), wodór (H^+), wapń (Ca^{2+}), sód (Na^+), magnez (Mg^{2+}), chlor (Cl^-), siarka (głównie jako SO_4^{2-}) oraz jon wodorowęglanowy (HCO_3^-);
- makroskładniki (od kilkuset $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ do kilkunastu $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), w tym: tlen (O_2), węgiel, fosfor (głównie jako PO_4^{3-}), potas (K^+), azot (głównie jako NH_4^+ i azotany NO_3^-);
- mikroskładniki, określane też jako substancje śladowe (poniżej kilkuset $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$), m. in. cynk (Zn^{2+}), jod (I^-), kobalt (Co^{2+}), stront (Sr^{2+}), wanad (VO_4^{3-}) i inne.

W zależności od wielkości budujących je cząstek substancje rozpuszczalne w wodzie mogą występować w niej w formie (Dojlido 1995):

- zawiesiny (wielkość cząstki powyżej $0,5\ \mu\text{m}$),
- koloidów (wielkość cząstki od $1\ \text{nm}$ do $0,5\ \mu\text{m}$),
- roztworu (wielkość cząstki poniżej $1\ \text{nm}$, cząstki substancji ulegają rozpuszczeniu w wodzie, w wyniku czego pojawiają się jony o odpowiedniej wartościowości).

Przemiany fizyko-chemiczne zachodzące w wodach powierzchniowych cechują się sprzężeniem zwrotnym z procesami zachodzącymi w sąsiednich komponentach środowiska, tj. w osadach dennych oraz w wodach gruntowych, dlatego też analizując problematykę zanieczyszczenia środowiska wodnego Basenu Dolnego Biebrzy należy uwzględnić w niej wszystkie trzy współzależne elementy, tj. wody powierzchniowe, osady dennie oraz płytkie wody podziemne.

2.1 Zanieczyszczenia wód powierzchniowych

Zanieczyszczenia wód powierzchniowych to najczęściej czynniki fizyko-chemiczne lub biologiczne obniżające walory jakościowe i użytkowe wody, a tym samym doprowadzające do pogorszenia czystości środowiska wodnego (IOŚ 2003). Część tych czynników pochodzi z samej przyrody, są to bowiem związki chemiczne lub substancje, które powstają w procesach naturalnych, takich jak erozja skał, wymywanie substancji humusowych z gleb czy też rozkład obumierającej masy roślinnej. Choć ich źródłem jest sama natura to jednak ze względu na występowanie w nadmiernych ilościach mogą być w szczególnych przypadkach traktowane jako zanieczyszczenia wpływające na pogorszenie parametrów jakościowych wody.

Nie ulega jednak najmniejszej wątpliwości, że źródłem największych ilości zanieczyszczeń występujących w środowisku wodnym jest działalność człowieka, w szczególności gospodarka, rolnictwo oraz mieszkalnictwo. Powstałe zanieczyszczenia antropogeniczne prowadzą do wielu negatywnych zjawisk zachodzących w ekosystemach wodnych, takich jak skażenie metalami ciężkimi czy drobnoustrojami chorobotwórczymi (bakterie, wirusy) oraz uruchamiają niekorzystne procesy, m. in. eutrofizację i zakwaszenie wód, które powoli, ale skutecznie doprowadzają środowisko wodne do jego degradacji objawiającej się spadkiem bioróżnorodności, a następnie powolnym zanikiem życia. Skład chemiczny wód powierzchniowych, ich właściwości fizyczne (m. in. mętność, temperatura, zapach) oraz obecność drobnoustrojów chorobotwórczych w dużym stopniu odzwierciedlają stan środowiska wodnego. Zanieczyszczenia występujące w wodzie, ze względu na ich trwałość, można podzielić na trzy grupy (Dobrzański i in. 1996):

- zanieczyszczenia rozkładalne, do których zalicza się substancje organiczne (przeważnie pochodzące ze ścieków komunalnych) ulegające przemianom biologiczno-chemicznym do prostych związków nieorganicznych, tempo przemian jest uzależnione głównie od temperatury oraz prędkości przepływu wody;
- zanieczyszczenia trwałe, należą do nich substancje ulegające tylko w niewielkim stopniu rozkładowi biologicznemu (np. pestycydy, fenole, produkty destylacji ropy naftowej);
- zanieczyszczenia nierozkładalne, na które składają się substancje nie ulegające zasadniczym przemianom chemicznym i nie podlegające degradacji na drodze biochemicznej lub biologicznej (np. sole metali ciężkich).

2.1.1 Zanieczyszczenia eutrofizacyjne

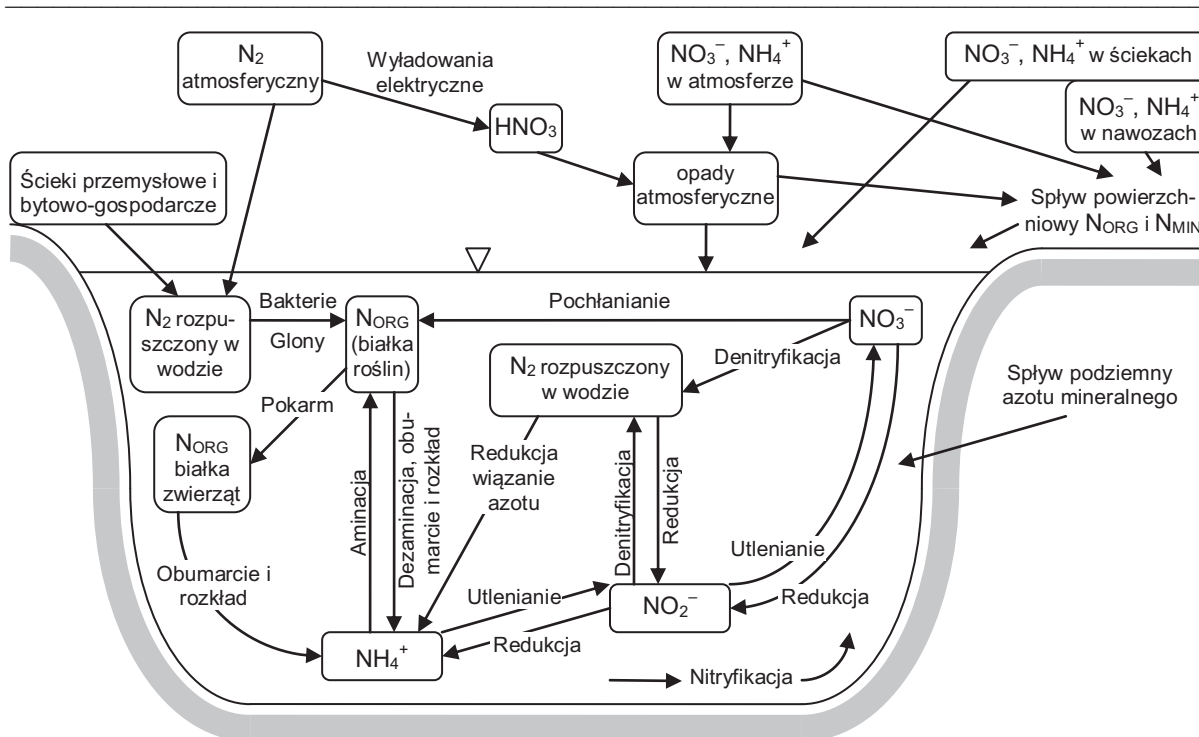
Jednym z najpoważniejszych w skutkach procesów zachodzących w wodach powierzchniowych, wywołanym ich nadmiernym użyczeniem biogenami jest eutrofizacja, przy czym za biogeny uważa się pierwiastki niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmów (m. in. węgiel, azot, fosfor oraz potas). Proces ten polega na stałym zwiększaniu się w wodzie ilości substancji pokarmowych, co w pierwszej kolejności wywołuje masowy rozwój fitoplanktonu (objawiający się charakterystycznym „zakwitom” glonów), by ostatecznie doprowadzić do wtórnego zanieczyszczenia wód obumarłymi szczątkami roślin oraz wystąpienia znacznego deficytu tlenu rozpuszczonego w wodzie, zużywanego w procesie rozkładu materii organicznej.

Wody powierzchniowe, w zależności od ilości zawartych w nich substancji pokarmowych, dzielimy na (Dojlido 1995):

- oligotroficzne (wody o małej zasobności w biogeny, dobrze natlenione, przezroczyste),
- mezotroficzne (średnio zasobne),
- eutroficzne (żyźne, zasobne w biogeny, bogata flora i fauna wodna, dynamiczny rozwój planktonu i bentosu, zróżnicowane natlenienie),
- hipertroficzne (nadmiernie użyźnione).

Największe znaczenie w procesie eutrofizacji wód powierzchniowych mają takie pierwiastki jak azot, fosfor oraz potas, jednak ze względu na fakt, iż potas występuje na glebach torfowych zazwyczaj w niedoborze (Okruszko H. 1991b) istotny wpływ na użyźnianie wód powierzchniowych na obszarach mokradłowych mają tylko azot i fosfor. **Azot** jest podstawowym składnikiem budulcowym roślin, które na drodze biosyntezy (asymilacji) tworzą z azotu amonowego oraz azotanowego własne białko. Uważa się, że to właśnie azot jest najważniejszym pierwiastkiem decydującym o wzroście roślin na obszarze równiny zalewowej doliny Biebrzy (Wassen et al. 2006), zatem jego duża dostępność może być głównym czynnikiem wpływającym zarówno na szybkość wzrostu roślin, ekspansję niektórych gatunków oraz wynikającą z tego zmianę składu gatunkowego poszczególnych siedlisk. Azot występuje w wodzie w następujących formach:

- 1) **Azot organiczny** (N_{ORG}) (głównie białko, aminokwasy, mocznik, kwas moczowy) – w wodach nie zanieczyszczonych stężenia azotu organicznego nie przekraczają zazwyczaj kilku $mg\ N \cdot dm^{-3}$, w dużych ilościach (od kilkunastu do kilkudziesięciu $mg\ N \cdot dm^{-3}$) występuje głównie w wodach świeżo zanieczyszczonych ściekami bytowymi (Dojlido 1995). W wodach powierzchniowych azot organiczny, na skutek rozkładu białka, ulega szybkiemu przekształceniu w amoniak.
- 2) **Azot nieorganiczny (mineralny)** (N_{MIN}), w tym:
 - a) **azot amonowy** ($N-NH_4$) – występuje w wodzie w formie jonu NH_4^+ lub jako amoniak (NH_3) w proporcjach uzależnionych od odczynu wody, przy czym wzrost wartości



Rys. 2.1 Obieg azotu w środowisku wodnym (Dojlido 1995)

odczynu zwiększa udział procentowy amoniaku. Do wartości $pH=7,5$ niemal 100% azotu amonowego obecnego w wodzie występuje w postaci jonu NH_4^+ , przy $pH=9,2$ udział jonu NH_4^+ oraz amoniaku wynosi po 50%, a przy $pH=11$ prawie 100% azotu amonowego zawartego w wodzie występuje w postaci amoniaku. W wodach nie zanieczyszczonych stężenia azotu amonowego zazwyczaj nie przekraczają kilku $mg \cdot dm^{-3}$, natomiast w ściekach miejskich wynoszą nawet kilkadziesiąt $mg \cdot dm^{-3}$ (Dojlido 1995). Stężenie azotu amonowego w wodach powierzchniowych ulega znacznym wahaniom w ciągu roku, w okresie wzrostu roślinności spada na skutek poboru przez fitoplankton i rośliny oraz dzięki postępującemu procesowi nityfikacji, natomiast poza sezonem wegetacyjnym rośnie ze względu na zanik aktywności roślin oraz zahamowanie procesu nityfikacji (najwyższe stężenia azotu amonowego obserwuje się w okresach występowania pokrywy lodowej). Część azotu amonowego zawartego w wodzie ulega, pod wpływem bakterii *Nitrosomonas*, *Nitrosospira* i *Nitrosocystis* utlenieniu do azotu azotanowego(III), co jest pierwszym etapem procesu nityfikacji. Amoniak jest uważany za substancję szczególnie szkodliwą dla środowiska wodnego, gdyż wpływa ujemnie na bilans tlenu w wodzie (Rozporządzenie 2006).

- b) **azot azotanowy(III)** ($N-NO_2$) – występuje w wodzie w postaci jonu NO_2^- powstałego w wyniku rozpuszczenia w środowisku wodnym azotanów(III), czyli pochodnych kwasu azotowego(III) (HNO_2). Azotany(III) to związki przejściowe w cyklu biologicznym, które powstają w wyniku biochemicznego utleniania amoniaku. W czystych wodach stężenia azotanów(III) wynoszą zaledwie tysięczne części mg

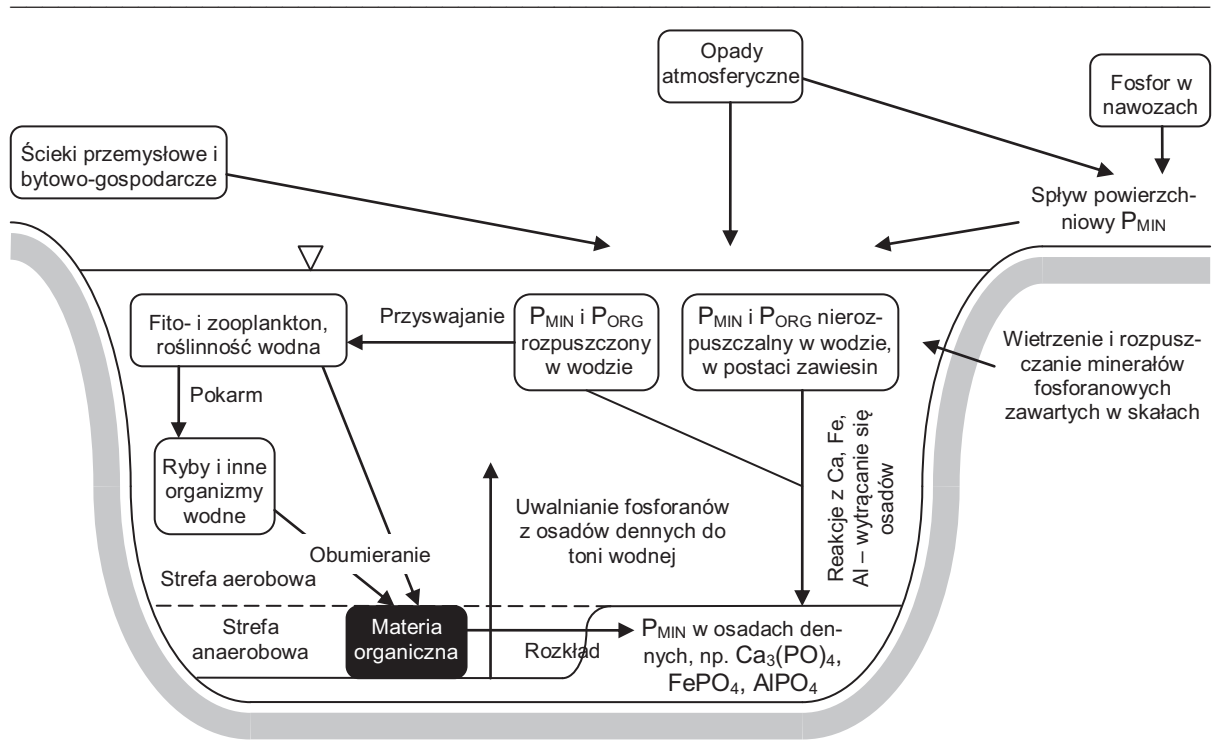
$\text{N} \cdot \text{dm}^{-3}$, nieco wyższe stężenia mogą występować w wodach zanieczyszczonych lub spływających z terenów zabagnionych (Dojlido 1995). Azotany(III) są nietrwałe i w środowisku tlenowym, w obecności bakterii *Nitrobacter*, *Nitrocystis* i *Bactoderma* szybko ulegają przekształceniu w azotany(V), co jest drugim etapem procesu nityfikacji. Azotany(III) są uważane za substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego, gdyż wpływają ujemnie na bilans tlenu w wodzie (Rozporządzenie 2006).

- c) **azot azotanowy(V)** (N-NO_3) – występuje w wodzie w postaci jonu NO_3^- powstałego w wyniku rozpuszczenia w środowisku wodnym azotanów(V), czyli pochodnych kwasu azotowego(V) (HNO_3). Azotany(V) należą do substancji pokarmowych niezbędnych do życia roślin wodnych, dlatego też ich stężenie maleje wraz ze wzrostem biomasy roślin w zbiorniku wodnym. Podobnie jak w przypadku azotu amonowego stężenia azotanów(V) spadają w okresie wzrostu roślinności do niskich wartości, natomiast wzrastają poza sezonem wegetacyjnym.

Drugim podstawowym składnikiem budulcowym komórek roślinnych jest **fosfor**. Uważa się, że pierwiastek ten – obok azotu i potasu – to biogen, którego dostępność wpływa znacząco na kompozycję roślinności mokradłowej (Wassen 1990), bowiem w środowisku nie zanieczyszczonym występuje w stosunkowo niewielkich ilościach. Fosfor jest obecny w środowisku wodnym w postaci fosforanów, czyli pochodnych kwasu fosforowego (H_3PO_4). Wyróżnia się następującego jego formy:

- 1) **Fosfor mineralny** (P_{MIN}), w tym:
 - a) fosforany rozpuszczalne w wodzie – pochodzący z nich fosfor występuje najczęściej w postaci jonu PO_4^{3-} i stanowi ok. 10% ogólnej ilości fosforu zawartego w wodzie (Januszkiewicz 1975); fosforany PO_4^{3-} są najczęściej występującą formą fosforu mineralnego obecnego w wodach powierzchniowych.
 - b) fosforany nierozpuszczalne w wodzie – zawarte w zawiesinach unoszących się w toni wodnej lub występujące w osadach dennych. Ze względu na duże powinowactwo do wapnia, żelaza i glinu fosfor tworzy z tymi pierwiastkami trudno rozpuszczalne związki wytrącające się z wody i opadające na dno cieków wodnych w postaci osadu, np. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, FePO_4 .
- 2) **Fosfor organiczny** (P_{ORG}), w tym:
 - a) fosforany rozpuszczalne w wodzie – np. glicerofosforan, fosfokreatyna, pochodzący z nich fosfor stanowi ok. 25% ilości fosforu ogólnego (Januszkiewicz 1975).
 - b) fosforany nierozpuszczalne w wodzie – zawarte w zawiesinach unoszących się w toni wodnej lub występujące w osadach dennych.

Stężenia fosforanów w wodach nie zanieczyszczonych wynoszą zazwyczaj setne części $\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Dojlido 1995), przy czym fosfor zawarty w fosforanach nierozpuszczalnych (zarówno mineralnych jak i organicznych) stanowi ok. 65% ilości fosforu ogólnego (Januszkiewicz 1975). Stężenia fosforanów rozpuszczalnych ulegają w ciągu roku



Rys. 2.2 Obieg fosforu w środowisku wodnym

znacznym wahaniom, podobnie jak ma to miejsce w przypadku azotu amonowego oraz azotu azotanowego(V). Najniższe stężenia notuje się w sezonie wegetacyjnym, gdy fosforany są intensywnie przyswajane przez fitoplankton oraz rośliny. Nieorganiczne związki fosforu oraz fosfor niezwiązany są uważane za substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego (Rozporządzenie 2006).

Jesienią fosfor gromadzi się na dnie cieków wodnych w wyniku rozkładu obumarłej materii organicznej (głównie fitoplankton i rośliny) jednak po pewnym czasie przechodzi z powrotem do toni wodnej. Zaobserwowano, że im wyższa jest temperatura przydennej warstwy wody, im niższy jej odczyn oraz im mniej jest tlenu rozpuszczonego tym fosforany szybciej opuszczają osady denne. W warunkach beztlenowych następuje 3-krotnie szybszy powrót fosforanów do toni wodnej niż w warunkach tlenowych, przy czym sorpcja fosforanów jest wyższa przez osady mineralne niż przez osady organiczne (Dojlido 1995). Najwyższe stężenia fosforanów rozpuszczalnych obserwuje się zimą, gdy w środowisku wodnym niemal całkowicie zanika aktywność procesów biologicznych. Fosforany w momencie przedostania się do wód powierzchniowych są stosunkowo szybko kumulowane w osadach dennych, ale potem powoli przechodzą z powrotem do toni wodnej powodując, że osady denne stają się wtórnym źródłem zanieczyszczeń wód powierzchniowych.

2.1.2 Pozostałe zanieczyszczenia wód powierzchniowych

Eutrofizacja to nie jedyne negatywne zjawisko związane z zanieczyszczeniem wód powierzchniowych, równie ważną kwestią jest obecność w wodzie **związków organicznych**, czyli związków chemicznych, których podstawowym składnikiem jest węgiel. Związki

organiczne można podzielić na dwie grupy (Dojlido 1995):

- **związki organiczne naturalne** – wytwarzane przez rośliny i organizmy wodne ze związków mineralnych lub powstałe w procesach naturalnych, takich jak rozkład obumarłych materii organicznej czy procesy glebotwórcze, np. białka, aminokwasy, tłuszcze, witaminy, substancje humusowe, kwasy organiczne; związki te w warunkach tlenowych ulegają stopniowemu rozkładowi do związków nieorganicznych;
- **związki organiczne sztuczne** – wytwarzane przez człowieka na drodze syntezy, np. substancje powierzchniowo czynne (m. in. detergenty i mydła), alkohole, węglowodory (m. in. WWA – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne), fenole, pestycydy chloroorganiczne, polichlorowane bifenylole (PCB) i inne.

Obecnie istnieje na świecie kilka milionów różnego rodzaju związków organicznych, z których większość jest pochodzenia naturalnego (Dojlido 1995). W wodzie występują w postaci zawiesin unoszących się w toni wodnej bądź też są w niej rozpuszczone i podlegają rozkładowi pod wpływem procesów biologicznych i biochemicznych – jest to tzw. biodegradacja, w czasie której zużywany jest tlen rozpuszczony w wodzie. Poziom **tłenu rozpuszczonego** jest jednym z najważniejszych parametrów określających jakość wody, np. dla ryb stężenie letalne tego pierwiastka wynosi $2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. W środowisku wodnym związki organiczne są ciągle rozkładane do związków nieorganicznych, a związki nieorganiczne stale przekształcane w związki organiczne (Dojlido 1995).

Niektóre związki organiczne, zwłaszcza syntetyczne jak np. WWA, są szczególnie niebezpieczne w środowisku wodnym, bowiem wykazują właściwości kancerogenne i wywołują w zamieszkujących go organizmach zmiany nowotworowe prowadzące do śmierci. Część związków organicznych obecnych w wodach powierzchniowych występuje w postaci zawiesin, które z czasem opadają na dno tworząc osad denny (w osadach dennych gromadzą się na ogół znaczne ilości związków organicznych). Zanieczyszczenia organiczne to zatem wszelkiego rodzaju związki organiczne (pochodzenia naturalnego bądź sztucznego), które swoją obecnością lub nadmierną ilością negatywnie oddziałują na jakość wody. Ze względu na obecność w pobliżu cieków wodnych skupisk ludności w wielu wodach powierzchniowych poważnym problemem jest obecność **bakterii, wirusów** oraz innych **drobnoustrojów chorobotwórczych**. Zanieczyszczenia bakteryjne to przede wszystkim bakterie *Coli* typu fekalnego pochodzące z surowych lub nie całkowicie oczyszczonych ścieków komunalnych, w mniejszym stopniu ich źródłem jest obecność w pobliżu cieków hodowli zwierząt gospodarskich. Drobnoustroje chorobotwórcze wpływają negatywnie na kondycję i zdrowotność fauny, w szczególności dotyczy to gatunków, dla których środowisko wodne jest naturalnym siedliskiem, ale w równym stopniu zagrożone są zwierzęta korzystające z zanieczyszczonych wód jako naturalnych wodopojów.

Tam, gdzie w zlewni rzek znajdują się zakłady przemysłowe zrzucające do wód ścieki pojawia się problem zanieczyszczenia **metalami**. Niektóre metale, zwłaszcza metale ciężkie

takie jak ołów czy kadm, są bardzo niebezpieczne w środowisku wodnym, bowiem wykazują tendencję do kumulacji w organizmach, podobnie jak syntetyczne związki organiczne (np. DDT). Im dany organizm znajduje się wyżej w łańcuchu pokarmowym tym gromadzi w sobie większe ilości metali, które oddziałują na rośliny i zwierzęta w różny sposób, najczęściej hamując ich wzrost, wywołując choroby lub doprowadzając do śmierci w wyniku zatrucia organizmu. Bardzo często ma miejsce sytuacja, w której obecność w wodzie śladowych ilości danego metalu (np. miedzi, cynku) jest pożądana do prawidłowego funkcjonowania organizmów, jednak w większych ilościach ten sam metal staje się już toksyczny.

Metale występują w wodzie zazwyczaj w postaci elementarnej lub jako jony (np. Hg^{2+} , Cd^{2+}), które ze względu na swoją łatwo przyswajalną formę są szczególnie niebezpieczne dla organizmów, bowiem mogą zostać łatwo wkomponowane w tkanki. W wodach powierzchniowych zawierających ligandy nieorganiczne (np. H_2O , OH^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) lub organiczne (np. substancje humusowe) znaczna część metali może występować w postaci kompleksów. Ma to szczególne znaczenie dla przemian biologicznych, ponieważ od formy metali zależy ich działanie na organizmy roślin i zwierząt, przy czym bardziej toksyczne są wolne jony metalu niż jego kompleksy (Dojlido 1995). Metale często zawarte są w zawiesinach unoszących się w toni wodnej oraz kumulują się w osadach dennych.

Do pozostałych zanieczyszczeń antropogenicznych oddziałujących na jakość wód powierzchniowych zaliczane są m. in. nadmierne ilości **siarczanów** (SO_4^{2-}) wpływających na zakwaszenie wód, **chlorków** (Cl^-) zwiększających zasolenie wód oraz **zawiesiny** pogarszające przejrzystość wód, a tym samym przenikanie promieniowania słonecznego w głąb wody. Ważnym parametrem określającym stan środowiska wodnego jest również **odczyn wody**, bowiem jej kwasowość wpływa na skład gatunkowy ekosystemów wodnych i wodno-łądowych. Czynnikiem ten nabiera w obecnych czasach coraz większego znaczenia ze względu na zanieczyszczenie atmosfery związkami siarki i azotu, co generuje zjawisko kwaśnych deszczów występujących na coraz większych obszarach. Większość wód powierzchniowych charakteryzuje się odczynem w granicach od lekko kwaśnego ($\text{pH}=6,5$) do lekko zasadowego ($\text{pH}=7,5$), a jego zmiany w niewielkich przedziałach powodują eliminację wielu gatunków roślin i zwierząt (Zimny 2002).

Równie ważnym czynnikiem wpływającym na funkcjonowanie ekosystemów wodnych oraz przebieg procesów biochemicznych w wodzie jest jej **temperatura**. W klimacie umiarkowanym naturalna temperatura wód powierzchniowych waha się od 0°C do niewiele ponad 30°C , a jej zmiany (choć znaczne w skali roku) zachodzą powoli. Różne organizmy wodne mają własny zakres temperatur, w ramach którego prawidłowo funkcjonują, np. w obrębie fitoplanktonu będą to: okrzemki ($20\text{-}25^\circ\text{C}$), zielenice ($30\text{-}35^\circ\text{C}$) i sinice (powyżej 35°C) (Dojlido 1995). Podwyższona temperatura wody wpływa niekorzystnie na organizmy wodne, a zwłaszcza na ryby, zwiększa toksyczność wielu substancji, np. metali ciężkich i pestycydów, obniżania zdolność rozpuszczania się w wodzie tlenu oraz przyspiesza uwalnianie fosforanów z osadów dennych do toni wodnej.

2.2 Źródła zanieczyszczeń wód powierzchniowych

Wyróżnia się trzy główne źródła zanieczyszczeń antropogenicznych przedostających się do wód powierzchniowych (IOŚ 2003):

- 1) **Źródła punktowe** – to przede wszystkim zakłady przemysłowe oraz większe skupiska ludności odprowadzające ścieki do odbiorników systemami kanalizacyjnymi, w ramach źródeł punktowych wyróżnić można:
 - a) **źródła komunalne**, tj. miejskie i wiejskie systemy kanalizacyjne odprowadzające mieszaninę ścieków z gospodarstw domowych oraz z zakładów przemysłowych podłączonych do kanalizacji miejskich (tzw. ścieki bytowo-gospodarcze). Źródła komunalne wytwarzają 84% wszystkich ścieków powstałych na terenie województwa podlaskiego odprowadzanych kanalizacją (IOŚ 2007a). Ścieki bytowo-gospodarcze są najważniejszym źródłem różnych form fosforu obecnego w wodach powierzchniowych, bowiem w najczęściej użytkowanych mechaniczno-biologicznych oczyszczalniach pierwiastek ten jest usuwany zaledwie w ok. 15% (Dojlido 1995). Wstępnie oczyszczone ścieki komunalne wywołują głównie niedotlenienie wód oraz ich eutrofizację (Kardel 2001), gdyż stężenia obecnych w nich związków azotu wynoszą od 10 do 100 mg N·dm⁻³, natomiast związków fosforu od 5 do 50 mg P·dm⁻³ (Dojlido 1995).
 - b) **źródła przemysłowe**, tj. zakłady przemysłowe odprowadzające ścieki bezpośrednio do wód za pośrednictwem własnych systemów kanalizacyjnych. Źródła przemysłowe wytwarzają 16% wszystkich ścieków powstałych na terenie województwa podlaskiego odprowadzanych kanalizacją (IOŚ 2007a). Niektóre ścieki przemysłowe mogą zawierać duże ilości związków azotu i fosforu, nawet kilkaset mg N·dm⁻³ i 1000 mg P·dm⁻³ (Dojlido 1995). Ścieki przemysłowe mają największy wpływ na jakość wód powierzchniowych, ponieważ niejednokrotnie zawierają substancje toksyczne, których obecność w krótkim czasie doprowadza do całkowitego zaniku życia biologicznego (syntetyczne związki organiczne, metale ciężkie itp.).
 - c) **wiejskie jednostki osadnicze**, tj. niewielkie skupiska ludności wiejskiej nie posiadające systemów kanalizacyjnych i odprowadzające bez jakiegokolwiek oczyszczenia ścieki bytowe oraz z hodowli zwierząt (tzw. gnojowica) bezpośrednio do cieków powierzchniowych. Surowe ścieki domowe zawierają średnio ok. 1000 mg·dm⁻³ węgla organicznego.
- 2) **Źródła powierzchniowe (obszarowe)**, tj. tereny zurbanizowane nie posiadające systemów kanalizacyjnych oraz obszary rolne. Bardzo często zalicza się do nich źródła punktowe oraz liniowe występujące w dużym zagęszczeniu na pewnym obszarze. Charakteryzują się one niekontrolowanym dopływem zanieczyszczeń zależnym od charakterystyk fizycznych zlewni oraz warunków atmosferycznych (Kardel 2001), a najczęstszym zjawiskiem, jakie tu zachodzi jest splukiwanie przez

Tabela 2.1 Źródła wybranych zanieczyszczeń antropogenicznych i substancji naturalnych w wodach powierzchniowych

		Charakterystyka	Pochodzenie	
Właściwości fizyczne		Zapach (gnilny, fekalny etc.)	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, rozkład wód ściekowych	
		Barwa (nienaturalna)	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, naturalne przemiany materii organicznej	
		Mętność (nadmiar zawiesin)	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, erozja gleb, spływ z terenów zurbanizowanych	
		Temperatura (podwyższona)	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, wody technologiczne	
Składniki chemiczne	Organiczne	Środki powierzchniowo czynne	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe	
		Pestycydy chloroorganiczne	Spływy z terenów rolniczych	
		Tłuszcze, smary i oleje	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe	
		Fenole	Ścieki przemysłowe	
		Białka	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, obieg materii organicznej w ekosystemach wodnych	
		Węglowodany	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe	
		Lotne składniki organiczne	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe	
		Substancje humusowe	Naturalne przemiany materii organicznej gleb, wody gruntowe torfowisk	
	Nieorganiczne	Biogeny	Azot	Ścieki bytowo-gospodarcze, ścieki pochodzenia rolniczego, spływ powierzchniowy z terenów rolniczych, wody gruntowe zmineralizowanych torfowisk, opady atmosferyczne
			Fosfor	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, spływ powierzchniowy z terenów rolniczych, wietrzenie i rozpuszczanie minerałów fosforanowych, osady denne, opady atmosferyczne, erozja gleb
			Potas	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, spływ powierzchniowy z terenów rolniczych
			Siarka	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, gospodarcze ujęcia wodne, opady atmosferyczne
			Żelazo, mangan, glin	Infiltracja wód podziemnych, wymywanie skał i gleb, wody kopalniane, ścieki przemysłowe
			Chlorki	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, wody kopalniane, opady atmosferyczne
			Metale ciężkie (np. rtęć, ołów, chrom, kadm)	Ścieki przemysłowe, opady atmosferyczne, spływ z terenów zurbanizowanych
			Odczyn	Ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, infiltracja wód podziemnych, opady atmosferyczne
	Gazy		Siarkowodór	Rozkład ścieków bytowo-gospodarczych
			Metan	Rozkład ścieków bytowo-gospodarczych
	Składniki biologiczne		Bakterie i wirusy	Ścieki bytowo-gospodarcze, spływ powierzchniowy z terenów rolniczych i pastwisk, naturalne procesy biologiczne fauny i flory wodnej, spływ z terenów zurbanizowanych
		Materia pochodzenia zwierzęcego	Spływ powierzchniowy z pastwisk, naturalne procesy biologiczne fauny wodnej	
		Materia pochodzenia roślinnego	Naturalne procesy biologiczne flory wodnej	

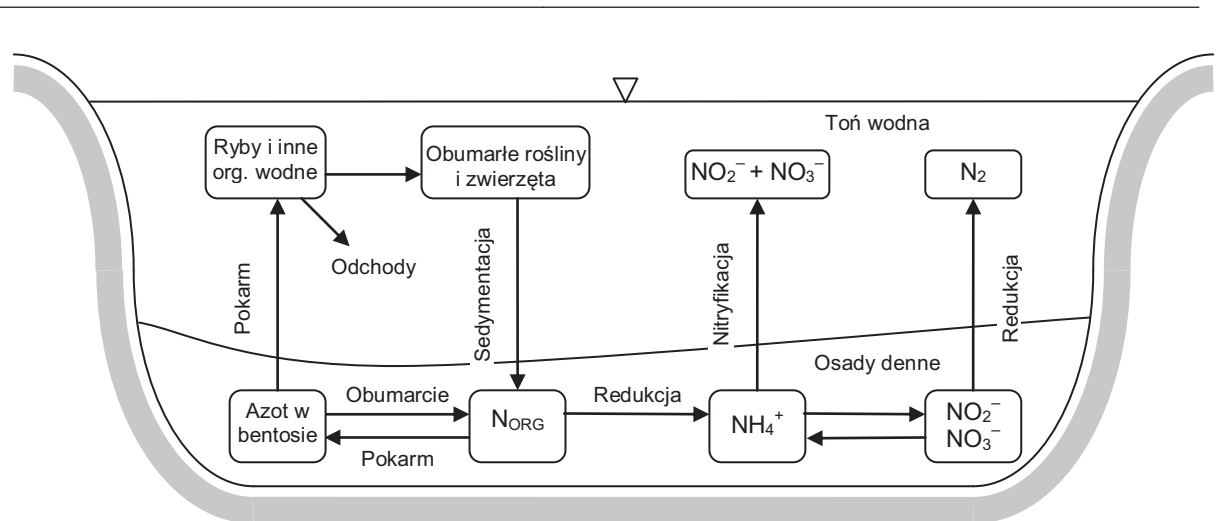
Źródło danych: (Dojlido 1995; Allan 1998; Kardel 2001). Opracowanie własne.

opady atmosferyczne zanieczyszczeń zgromadzonych w powierzchniowej warstwie gleby oraz ich transport do najbliższych cieków powierzchniowych. Na terenach nizinnych zachodzi też przenikanie zanieczyszczeń w głąb gruntu (wraz z deszczem i topniejącym śniegiem), co powoduje zanieczyszczanie wód gruntowych, a w dalszej perspektywie również wód powierzchniowych. Na terenach rolnych największe znaczenie mają wymywane z pól uprawnych, nawożonych łąk i pastwisk składniki nawozów mineralnych i organicznych (obornik, gnojowica), pozostałości chemicznych środków ochrony roślin, a także ścieki oraz osady ściekowe wykorzystywane do celów rolniczych, natomiast na terenach silnie zurbanizowanych zanieczyszczenia to głównie związki chemiczne wymywane z pyłów unoszących się w atmosferze. Spływy powierzchniowe z pól uprawnych zasilanych sztucznymi nawozami mogą wprowadzać do wód powierzchniowych znaczne ilości biogenów, np. w zlewniach rolniczych Polski jest to przeciętnie od 1 do 30 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ azotu przy stężeniu w wodzie spływającej do 10 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz od 0,1 do 2 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ fosforu przy stężeniu w wodzie spływającej do 2 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Dojlido 1995). Istotnym źródłem azotu i fosforu mogą być również opady atmosferyczne albo bezpośrednio zasilające cieki powierzchniowe albo pośrednio poprzez spływ powierzchniowy z terenów otaczających. Opady atmosferyczne mogą zawierać do 10 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ azotu amonowego, do 5 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ azotu azotanowego(V) oraz do 2 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ fosforu (Dojlido 1995).

- 3) **Źródła liniowe (pasmowe)**, tj. drogi komunikacyjne, torowiska, rurociągi, gazociągi, kanały ściekowe i osadowe oraz kanały odprowadzające wody słone. Dominującą rolę odgrywają tu zanieczyszczenia pochodzące z transportu drogowego, które są splukiwane przez opady atmosferyczne z nawierzchni dróg oraz poboczy. Wpływ źródeł liniowych był jeszcze dekadę temu niedoceniany, jednak w wyniku gwałtownego rozwoju motoryzacji w Polsce zapoczątkowanego w latach 90. XX w. komunikacja stała się podstawowym źródłem zanieczyszczeń środowiska (Bielak, Bykov 2000; Bielak, Dworak 2000). W wyniku niecałkowitego spalania paliw do atmosfery przedostają się takie związki chemiczne jak: tlenek węgla (CO), tlenki siarki (SO_2 , SO_3), tlenki azotu (NO, NO_2 , N_2O , N_2O_4), węglowodory (HC), w tym wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), aldehydy oraz cząstki stałe (sadza i drobny pył) zawierające między innymi metale ciężkie, które poprzez opady atmosferyczne przedostają się ostatecznie do wód powierzchniowych.

2.3 Osady dennie jako wtórne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych

Osady dennie powstają w wyniku sedymentacji na dnie cieków wodnych rozdrobnionego materiału skalnego (żwir, piasek), obumarłych organizmów roślin i zwierząt, cząstek gleb wypłukanych z wyżej położonych terenów, niesionych z nurtem rzeki substancji nierozpuszczalnych w wodzie lub niecałkowicie rozpuszczalnych (zawiesin) oraz z



Rys. 2.3 Znaczenie osadów dennych w obiegu azotu w środowisku wodnym (Dojlido 1995)

wytrącających się z wody organicznych lub nieorganicznych związków chemicznych, takich jak kalcyt (CaCO_3), wodorotlenek żelaza ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), wodorotlenek manganu ($\text{Mn}(\text{OH})_2$) czy związki fosforu, np. CaHPO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Osady dennie, jako miejsce bytowania wielu gatunków roślin i zwierząt są istotnym ogniwem w procesie krążenia pierwiastków w środowisku wodnym, bowiem pomiędzy wodami powierzchniowymi a występującymi w nich osadami dennymi zachodzi ciągła wymiana materii. Poszczególne substancje przechodzą z jednego ośrodka do drugiego zmieniając przy tym swoją postać, czym przyczyniają się do prawidłowego funkcjonowania ekosystemów wodnych.

Skład geochemiczny osadów dennych jest uzależniony od czynników naturalnych (budowy geologicznej zlewni) oraz antropogenicznych (obecności źródeł zanieczyszczeń), przy czym jest on zmienny i w pewnym zakresie zależy również od miąższości samych osadów (Dojlido 1995). Szacuje się, że ok. 7% materiału osadowego niesionego z wodami rzek stanowi wapń i jest go 100-krotnie więcej niż fosforu (Zimny 2002). Znaczna część zanieczyszczeń przenikających do wód powierzchniowych przechodzi do osadów dennych w wyniku procesów samooczyszczania się wód (IOŚ 2003), dlatego też skład chemiczny osadów dennych oraz skład chemiczny wód powierzchniowych są od siebie zależne. Zjawisko to jest najbardziej widoczne w przypadku zanieczyszczeń charakteryzujących się małą rozpuszczalnością oraz trudno ulegających biodegradacji (np. sole metali ciężkich oraz trwałe związki organiczne).

Osady dennie odgrywają bardzo ważną rolę w procesie krążenia azotu w środowisku wodnym. Obumarłe organizmy wodne (głównie makrofity oraz fitoplankton) po opadnięciu na dno ciek ulegają rozkładowi, w warunkach aerobowych zawarty w nich azot organiczny ulega przekształceniu w azot amonowy, a ten z kolei pod wpływem bakterii ulega przeobrażeniu w azot azotanowy(III) i azotanowy(V). Następnie związki te unoszą się do toni wodnej lub też, pozostając w głębszych partiach osadów (gdzie zazwyczaj panują warunki beztlenowe), podlegają procesowi denitryfikacji z udziałem bakterii (m. in. *Bacillus*

denitrificans, *Chromobacter denitrificans*). Azotany obecne w osadach dennych mogą również ulegać procesowi redukcji, w wyniku której poprzez wody znajdujące się ponad nimi unosi się do atmosfery wolny azot. Stężenie azotanów(V) w wodzie znajdującej się powyżej osadów dennych wpływa również na szybkość wydobywania się z dna cieku fosforu. Zaobserwowano, że gdy nie przekracza ono wartości $0,1 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ to przenikanie fosforanów mineralnych z osadów do toni wodnej przebiega bardzo intensywnie, natomiast prawie całkowicie zanika przy stężeniu ok. $1 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Bojakowska 2001).

Fosfor gromadzi się na dnie cieków i zbiorników wodnych zarówno w postaci obumarłej materii organicznej, zawiesin mineralnych jak i też w wyniku wytrącania się z wody trudno rozpuszczalnych soli (m. in. $\text{Ca}_3(\text{PO})_4$, FePO_4 , AlPO_4). Im wyższa jest w wodzie zawartość wapnia, żelaza i glinu tym szybciej fosfor przechodzi z toni wodnej do osadów dennych. Zgromadzony na dnie fosfor organiczny ulega rozkładowi, a następnie (w warunkach beztlenowych) znaczna jego część, w postaci fosforanów mineralnych, wraca z powrotem do toni wodnej. W głębiej położonych warstwach osadów następuje również beztlenowy rozkład zgromadzonych na dnie cieku związków organicznych, w wyniku czego wody powierzchniowe są zasilane różnego rodzaju związkami chemicznymi. Taki „strumień zanieczyszczeń” składa się zazwyczaj ze związków azotu (69% udziału), metanu (17%) oraz dwutlenku węgla (14%) (Chapra 1997). Często powstaje wtedy siarkowodór lub inne gazy, które nie tylko są odpowiedzialne za nieprzyjemne zapachy, ale również powodują unoszenie się drobin osadów dennych do toni wodnej. Zjawisko to wywołuje spadek zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie do tego stopnia, że w niektórych odcinkach cieku (tam gdzie przepływ wody jest niewielki) nad osadami dennymi mogą występować znaczne niedobory tlenu, a nawet całkowity jego brak.

Skład geochemiczny osadów gromadzących się na dnie cieków i zbiorników wodnych jest bardzo dobrym wskaźnikiem stanu czystości wód powierzchniowych, dotyczy to zwłaszcza zawartości metali ciężkich, które występują w osadach dennych w znacznie większych ilościach niż w otaczającej je wodzie (Bojakowska 2001). Podczas powodzi osady denne są transportowane w dół rzek, po czym odkładane w miejscach, gdzie dotychczas nie stwierdzano ich obecności lub też zostają osadzone na glebach tarasów zalewowych. Takie nieprzewidywalne, okazjonalne przemieszczanie się osadów dennych stwarza dodatkowe zagrożenia dla ekosystemów wodnych (w przypadku, gdy osady są zanieczyszczone), bowiem żyjące w wodzie organizmy zostają narażone na wchłonięcie substancji, które dotychczas były unieruchomione na dnie cieku. Uważa się, że szkodliwe oddziaływanie zanieczyszczonych osadów na żyjące w nich lub w pobliżu dna organizmy wodne może zachodzić nawet wtedy, gdy woda znajdująca się ponad osadami nie wykazuje nadmiernego zanieczyszczenia.

Osadzanie się na dnie cieków zanieczyszczeń obecnych w wodzie zmniejsza bezpośrednie zagrożenie dla organizmów żyjących w toni, ale równocześnie stwarza większe ryzyko oddziaływania na organizmy żerujące przy dnie (np. ryby karpowate) oraz na

rośliny zakorzenione w osadach. Zjawisko to ma szczególne znaczenie na zalewanych przez wody rzeczne obszarach mokradłowych, gdzie niewielkie nachylenie terenu oraz znacznie ograniczony przepływ wody minimalizują możliwości samooczyszczania się wód powierzchniowych. Ponadto zanieczyszczone osady skutecznie eliminują z ekosystemów wodnych organizmy wymagające czystego środowiska naturalnego (np. szlachetne gatunki ryb, takie jak pstrąg, troć czy łosoś) oraz powodują nadmierny rozwój gatunków odpornych na zanieczyszczenia (np. amur, karaś srebrzysty). Jedynym bezpośrednim źródłem zanieczyszczeń osadów dennych są wody powierzchniowe. Wysokie zawartości szkodliwych substancji wykrywane są w pobliżu punktowych, antropogenicznych źródeł zanieczyszczenia, tj. miejsc zrzutu ścieków, np. powstałych podczas wydobywania rud metali lub ich przeróbki, pochodzących z zakładów chemicznych (produkcja barwników, chloru, tworzyw sztucznych), zakładów elektronicznych i obróbki metali, a także z garbarni oraz zakładów włókienniczych (IOŚ 2003).

Rozdział 3

Analiza zmian jakości środowiska wodnego Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007

Wody powierzchniowe są uważane za jeden z najbardziej zanieczyszczonych elementów środowiska naturalnego w Polsce (IOŚ 2003). Podstawową tego przyczyną był gwałtowny rozwój przemysłu ciężkiego w czasach PRL-u, kiedy to głównie liczyła się planowa produkcja w zakładach przemysłowych, natomiast środowisko naturalne traktowane było jako najtańszy i najwygodniejszy „w użyciu” odbiornik ścieków oraz składowisko odpadów. Przeszarżałe, mało wydajne, ale przede wszystkim antyśrodowiskowe technologie produkcyjne w szybkim czasie przekształciły największe polskie rzeki niemal w ścieki, w których do dziś zalegają substancje z tamtych lat (np. DDT, metale ciężkie). Pod tym względem dopiero ostatnie dziesięciolecie XX wieku przyniosło istotną poprawę jakości wód powierzchniowych, bowiem zdecydowanie zmalała ilość produkowanych ścieków przemysłowych oraz wzrosła ogólna ilość ścieków oczyszczanych (IOŚ 2003; IOŚ 2006). Stało się tak na skutek upadku nierentownego przemysłu oraz w wyniku zamknięcia wielu kopalni zrzucających zasolone wody podziemne wprost do rzek.

Obecnie, biorąc pod uwagę wybrane parametry fizyczne, takie jak np. temperatura wód czy obecność zawiesin oraz niektóre parametry chemiczne (m. in. zasolenie, zakwaszenie, obecność metali ciężkich) czystość polskich rzek w porównaniu do lat 80. i 90. XX w. wyraźnie wzrosła (IOŚ 2003; IOŚ 2004; IOŚ 2006). Jednak pomimo tych pozytywnych zmian krajowe rzeki wciąż pozostają zanieczyszczone a czynnikami, które o tym najczęściej decydują są biogeny (azot i fosfor) oraz obecność drobnoustrojów chorobotwórczych (IOŚ 2004). Z powodu tych ostatnich żadna z polskich rzek nie należy od 1991 r. do I klasy czystości (wody o bardzo dobrej jakości). Na obszarze województwa podlaskiego zaobserwowano w ciągu ostatnich kilku lat systematyczny wzrost ładunku azotu ogólnego odprowadzanego do wód powierzchniowych, co jest związane z wytwarzaniem różnych form tego biogenu w procesie oczyszczania ścieków (IOŚ 2007a). Dominacja zanieczyszczeń bakteryjnych oraz znaczący udział substancji pokarmowych wyraźnie wskazuje, że głównym źródłem kontaminacji wód powierzchniowych jest obecnie gospodarka komunalna, która produkuje ok. 60% ogólnej objętości ścieków powstających w Polsce, dopiero w następnej kolejności jest przemysł oraz rolnictwo (IOŚ 2003; IOŚ 2004).

Wyniki monitoringu jakości wód powierzchniowych prowadzonego przez państwową Inspekcję Ochrony Środowiska wskazują, że to, co w poprawie czystości wód powierzchniowych Polski udało się osiągnąć w wyniku likwidacji przemysłowych źródeł zanieczyszczeń jest powoli konsumowane przez wzrost ilości komunalnych źródeł zanieczyszczeń oraz nieskanalizowanych, wiejskich jednostek osadniczych. Zjawisko

wzrostu ilości zanieczyszczeń bytowo-gospodarczych w stosunku do przemysłowych zostało zapoczątkowane jeszcze w latach 90. XX w., kiedy to na skutek przemian politycznych w Europie środkowo-wschodniej Polska weszła na drogę przyspieszonego rozwoju gospodarczego. Wzrost stopy życiowej Polaków, większa dostępność środków chemii gospodarczej (m. in. proszki, detergenty) oraz sprzętu AGD, rozbudowa starych i budowa nowych sieci wodociągowych spowodowały znaczny przyrost produkcji ścieków komunalnych pochodzących z gospodarstw domowych.

Podziwiając piękno przyrody Biebrzańskiego Parku Narodowego oraz niebywałą wręcz różnorodność występujących tu gatunków roślin i zwierząt wydawać by się mogło, że ta ostoja przyrody jest swoistą enklawą wolną od zanieczyszczeń emitowanych do środowiska przez człowieka. Okazuje się jednak, że problemy środowiskowe jakie występują w innych, bardziej rozwiniętych gospodarczo częściach naszego kraju dotyczą również obszaru „Zielonych Płuc Polski”, a obecna sytuacja na obszarze województwa podlaskiego całkowicie odzwierciedla zmiany zachodzące w skali całego kraju (IOŚ 2007a; IOŚ 2007b). Chociaż powszechnie uważa się, że pod względem gospodarczym region ten rozwija się powoli, to jednak nie należy zapominać, że w ciągu ostatnich 15 lat w infrastrukturę techniczną powstałą na terenie „Zielonych Płuc Polski” zainwestowano co najmniej 1,5 mld USD w formie środków podmiotów gospodarczych i samorządów, funduszy celowych, dotacji w ramach programów przedakcesyjnych Unii Europejskiej, takich jak PHARE czy SAPARD (Rakiel-Czarnecka 2005), a obecnie w wyniku dofinansowania ze środków UE na cele rolnicze oraz rozwój obszarów wiejskich.

3.1 Źródła zanieczyszczeń środowiska wodnego Basenu Dolnego Biebrzy

Jednym z najważniejszych źródeł zanieczyszczeń wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy jest **osadnictwo** rozproszone w bezpośredniej zlewni basenu. Pomimo tego, iż pod ochroną znajduje się 92% długości Biebrzy obszar parku narodowego obejmuje zaledwie 8% powierzchni zlewni tej rzeki. W efekcie tego do Basenu Dolnego przedostają się drogą wodną zanieczyszczenia, których źródła leżą poza jego granicami. Na jakość wód powierzchniowych mają znaczący wpływ niedostatecznie oczyszczone ścieki komunalne odprowadzane do Biebrzy i jej dopływów (Byczkowski i in. 2000; IOŚ 2007b). Poważnym problemem są związki biogenne, których głównym źródłem, oprócz ścieków komunalnych, są spływy powierzchniowe z obszarów nieskanalizowanych, wiejskich jednostek osadniczych (Siłakowski 1996; Anaszko, Grodzki 2001). W ciągu ostatniej dekady obserwuje się istotny wzrost ilości ścieków bytowo-gospodarczych wytwarzanych na obszarach wiejskich położonych w zlewni Basenu Dolnego Biebrzy, głównie za sprawą budowy nowych sieci wodociągowych (Byczkowski i in. 2000).

Inwestycje te najczęściej nie są realizowane równocześnie z budową sieci kanalizacyjnych ze względu na dużo wyższe koszty tych ostatnich, dlatego też dość powszechnym zjawiskiem jest wyciekanie ścieków z nieszczelnych szamb wprost do gruntu,

spływ powierzchniowy nieczystości w kierunku najbliższych cieków wodnych lub też, w skrajnych przypadkach, wywożenie zawartości szamb beczkowozami w celu nielegalnego jej wypompowywania do cieków powierzchniowych bądź rozlania po okolicznych łąkach. Na 15 gmin znajdujących się w dolinie Biebrzy w okresie 1994-2000 wybudowano 31 sieci wodociągowych realizując jednocześnie tylko 17 odcinków lub sieci kanalizacyjnych (Anaszko, Grodzki 2001; Mioduszeński i in. 2001). Zjawisko to, uważane za coraz większy problem natury ekologicznej, gwałtownie narasta i występuje na obszarze całej Polski, np. w 2004 r. statystycznie na 100 mieszkańców wsi 18,6 osób skorzystało z podłączenia do nowych sieci wodociągowych, podczas gdy tylko 3,9 podłączyło się do nowych sieci kanalizacyjnych (IOŚ 2006). Paradoksalnie, na pogorszenie jakości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy mają również wpływ oczyszczalnie ścieków (Byczkowski i in. 2000), gdyż przeważnie są to obiekty mechaniczne lub mechaniczno-biologiczne i jako takie nie w pełni oczyszczają ścieki pozostawiając w nich m. in. znaczne ilości związków fosforu, azotu oraz bakterie i wirusy. W okresie 1994-2000 na terenie gmin biebrzańskich wybudowano 9 nowych oczyszczalni ścieków, wszystkie mechaniczno-biologiczne (Anaszko, Grodzki 2001), w których ze względów finansowych i logistycznych (powstawanie trudnych do utylizacji osadów ściekowych) zrezygnowano z drugiego, chemicznego etapu oczyszczania.

Zazwyczaj na obszarach wiejskich istotnym źródłem zanieczyszczeń obszarowych jest również **rolnictwo**, zwłaszcza poprzez spływ powierzchniowy z terenów uprawnych. Tymczasem w ciągu ostatnich dziesięcioleci na całym obszarze doliny Biebrzy, w tym w granicach Basenu Dolnego, postępował proces wyludniania i ubożenia tutejszej ludności, zmniejszania się zasobów siły roboczej oraz wynikający z tego spadek powierzchni upraw (Serwin 1991). Proces ten trwa do dzisiaj (Sieńko, Grygoruk 2003) a coraz mniejsza aktywność rolnicza ludzi, przejawiająca się między innymi zaniechaniem koszenia łąk oraz wypasu bydła, z jednej strony przyspieszyła pewne negatywne procesy, takie jak np. zarastanie otwartych łąk, ale z drugiej strony nie dopuściła do nadmiernej chemizacji tutejszych gleb.

Przeciętna wielkość zużycia nawozów mineralnych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy wynosiła przed kilku laty $69 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ NPK i była niższa od średniej krajowej (Bołtromiuk 2001). Podobnie było ze stosowaniem chemicznych środków ochrony roślin, w granicach Basenu Dolnego stosowano dawkę $0,12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ substancji aktywnej, podczas gdy średnia krajowa wynosiła wówczas $0,46 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Bołtromiuk 2001). W chwili obecnej nie należy spodziewać się wzrostu w/w wskaźników, głównie ze względu na niskie dochody mieszkańców regionu oraz wynikające z tego skromne środki przeznaczane na bieżące wydatki związane z gospodarką rolną. Biorąc pod uwagę fakt, iż w bezpośredniej zlewni Biebrzy na obszarze Basenu Dolnego dominują mokradła i torfowiska należy przyjąć, że rolnictwo może być źródłem zanieczyszczeń obszarowych tylko w niektórych miejscach – tam, gdzie pastwiska lub pola uprawne znajdują się w bliskim sąsiedztwie rzeki (od miejscowości Brzostowo w dół rzeki).

3.2 Mineralizacja torfowisk jako potencjalne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy

Na skutek nadmiernego odwodnienia, będącego efektem wieloletniego funkcjonowania na obszarze parku sieci rowów melioracyjnych oraz regulacji Narwi, znaczna część torfowisk Biebrzańskiego Parku Narodowego uległa przesuszeniu. W ten sposób zapoczątkowany został proces mineralizacji wierzchniej warstwy torfów, polegający na utlenianiu przesuszonych pokładów torfu oraz ich powolnemu zanikowi, czyli degradacji (Bleuten et al. 2002). Procesowi mineralizacji materii organicznej tworzącej torfy towarzyszy zjawisko uwalniania się z niej znacznych ilości związków azotu, zwłaszcza azotu azotanowego(V). Badania naukowe wykazały, że w warstwie korzeniowej (0-20 cm) gleb torfowych znajduje się od 5 do 20 t/ha azotu zawartego w związkach organicznych (Okruszko H. 1997), natomiast w formach mineralnych azot w warunkach Doliny Biebrzy występuje w torfach w ilości od 30 do 500 kg/ha (Mioduszeński et al. 2000; Mioduszeński, Ślesicka 2004).

Na skutek postępującej degradacji wierzchnia warstwa przesuszonych torfów staje się źródłem znacznych ilości azotu mineralnego wymywanego potem do środowiska wodnego. Potwierdziły to badania jakości wód gruntowych odwadnianych łąk biebrzańskich, które wykazały, że pod względem stężeń zawartych w nich azotanów(V) i azotu amonowego była ona porównywalna do jakości wód gruntowych zalegających pod łąkami nawożonymi wysokimi dawkami azotu (Kajak i in. 1991). Badania składu chemicznego wód gruntowych Basenu Dolnego Biebrzy wykazały, że wody płytkie (od 0,5 do 0,8 m poniżej powierzchni terenu) zawierały więcej azotanów(III), azotanów(V) i azotu amonowego niż wody głębsze zalegające od 1,5 do 2 m poniżej powierzchni terenu (Bleuten et al. 2002). Stwierdzono tu pewną prawidłowość polegającą na tym, że z im większą intensywnością odwadniane są torfy tym szybciej postępuje proces mineralizacji i tym większe ilości azotanów(III) oraz azotanów(V) pojawiają się w płytkich wodach gruntowych.

Istnieją uzasadnione obawy, że uwalniający się z przesuszonych torfowisk azot może, za pośrednictwem wód gruntowych, przyczyniać się do zanieczyszczania wód powierzchniowych. Obserwuje się bowiem, zwłaszcza w okresie wiosennych powodzi, ponadnormatywne stężenia azotu amonowego, azotanów(III) i azotanów(V) w ciekach odwadniających mokradła Biebrzańskiego Parku Narodowego (Byczkowski i in. 2000) oraz w wodach gruntowych (Mioduszeński et al. 2000). Nadmierna ilość wody, jaka się w tym okresie pojawia na bagnach nie zostaje całkowicie wchłonięta przez torfowiska, lecz następuje przepłukanie wierzchniej warstwy torfów oraz wymycie z nich znacznych ilości azotu mineralnego. Analogiczne zjawisko zachodzi w momencie intensywnych opadów atmosferycznych, kiedy to w krótkim okresie czasu torfowiska są intensywnie przemywane wodą, a jej nadmiar spływa powierzchniowo w kierunku cieków wodnych i za ich pośrednictwem do Biebrzy (Kardel 2001).

Wynikom tym przeczą jednak inne badania naukowe, które wykazały, że torfowiska Basenu Dolnego Biebrzy zasadniczo nie oddają zmagazynowanej w sobie wody, nie tylko pochłaniają znaczne ilości wód gruntowych infiltrujących ku powierzchni, ale również wchłaniają opady atmosferyczne (Bleuten et al. 2002), a zatem teoretycznie nie powinny zasilać wód powierzchniowych. Dotyczy to zwłaszcza sezonu wegetacyjnego roślin, kiedy to w płytkich wodach gruntowych torfowisk występują niskie stężenia azotanów(V) spowodowane ich poborem przez rośliny oraz procesem denitryfikacji (Mioduszewski et al. 2000). Podobnie nie wykazano zależności pomiędzy zawartością biogenów w ciekach powierzchniowych przepływających przez torfowiska a intensywnością ich odwadniania (Górniak 1996). Odwadniane torfowiska są również źródłem związków organicznych pochodzenia naturalnego. Zgromadzona w torfach woda, ze względu na wysokie stężenia kwasów organicznych ma odczyn kwaśny (od pH=3 do pH=6), co spowalnia rozkład bakteryjny dając w efekcie wysokie stężenia ($10-30 \text{ mg C}\cdot\text{dm}^{-3}$) rozpuszczonego węgla organicznego (Dojlido 1995). Choć dotychczasowe badania nad wzajemną zależnością pomiędzy mineralizacją torfowisk Basenu Dolnego a jakością wód powierzchniowych Biebrzy i jej dopływów nie pozwalają na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków to jednak należy brać pod rozwagę założenie, że torfowiska są na tym terenie istotnym, obszarowym źródłem zanieczyszczeń wód powierzchniowych związkami azotu oraz związkami organicznymi. Dotyczy to zwłaszcza okresu zalewów wiosennych oraz okresu długotrwałych i intensywnych opadów atmosferycznych.

3.3 Wskaźniki zanieczyszczenia środowiska wodnego

Wyróżnia się następujące wskaźniki zanieczyszczenia środowiska wodnego:

A) Wskaźniki określające jakość wód powierzchniowych (Dojlido 1995; Rozporządzenie 2004a; Rozporządzenie 2008), w tym:

- 1) Wskaźniki fizyczne, w tym:
 - a) temperatura wody [$^{\circ}\text{C}$],
 - b) zapach,
 - c) barwa [$\text{mg Pt}\cdot\text{dm}^{-3}$],
 - d) zawiesiny ogólne [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$].
- 2) Wskaźnik tlenowy – tlen rozpuszczony [$\text{mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$].
- 3) Wskaźniki ogólnego zanieczyszczenia substancjami organicznymi, w tym:
 - a) BZT (Biochemiczne Zapotrzebowanie Tlenu) [$\text{mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$] – określa biochemiczny rozkład związków organicznych przez mikroorganizmy w obecności tlenu, czyli opisuje proces samooczyszczania się wód powierzchniowych. Najczęściej stosuje się wskaźnik BZT₅, który określa zużycie tlenu przez okres 5 dób w temperaturze 20°C . BZT₅ to metoda przybliżona, gdyż określa tylko zawartość związków organicznych łatwo rozpuszczalnych w wodzie.

-
- b) ChZT (Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu) [$\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$] – określa ilość związków organicznych, które podlegają rozkładowi w obecności silnego utleniacza i w podwyższonej temperaturze. ChZT to również metoda przybliżona, gdyż określa zawartość tylko tych związków organicznych, które utleniają się w zadanych warunkach. ChZT wykazuje na ogół wyższe wartości niż BZT₅, wyróżnia się tutaj dwie metody:
- ChZT-Mn (tzw. utlenialność), z zastosowaniem nadmanganianu potasu,
 - ChZT-Cr, z zastosowaniem dwuchromianu potasu.
- c) OWO (Ogólny Węgiel Organiczny) [$\text{mg C} \cdot \text{dm}^{-3}$] – określa ilość wszystkich związków organicznych obecnych w wodzie.
- 3) Wskaźniki indywidualnych związków organicznych, np. WWA.
- 4) Wskaźniki biogenne, w tym:
- a) amoniak [$\text{mg NH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - b) azot Kjeldahla, tj. azot organiczny po oddestylowaniu amoniaku [$\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - c) azotany(V) [$\text{mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - d) azotany(III) [$\text{mg NO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - e) azot ogólny, tj. suma wszystkich form azotu [$\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - f) fosforany(V), tj. rozpuszczalne w wodzie mineralne formy fosforu [$\text{mg PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - g) fosfor ogólny, tj. suma wszystkich form fosforu [$\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$].
- 5) Wskaźniki zakwaszenia, tj. odczyn (pH) oraz siarczany [$\text{mg SO}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$].
- 6) Wskaźnik zasolenia – chlorki [$\text{mg Cl} \cdot \text{dm}^{-3}$].
- 7) Wskaźnik zanieczyszczenia metalami, w tym metalami ciężkimi [$\text{mg metalu} \cdot \text{dm}^{-3}$].
- 8) Wskaźniki zanieczyszczeń przemysłowych, w tym:
- a) cyjanki wolne [$\text{mg CN} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - b) fenole (indeks fenolowy) [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - c) pestycydy [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - d) substancje powierzchniowo czynne anionowe [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - e) oleje mineralne (indeks oleju mineralnego) [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - f) wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$].
- 9) Pozostałe wskaźniki chemiczne, w tym:
- a) zasadowość ogólna [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - b) substancje rozpuszczone [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - c) przewodność elektrolityczna w 20°C [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$],
 - d) fluorki [$\text{mg F} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - e) wapń [$\text{mg Ca} \cdot \text{dm}^{-3}$],
 - f) magnez [$\text{mg Mg} \cdot \text{dm}^{-3}$].
- 10) Wskaźniki biologiczne, w tym:
- a) chlorofil „a” [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$], czyli wskaźnik eutrofizacji wód,
 - b) saprobowość fitoplanktonu [indeks saprobowości],

- c) saprobowość peryfitonu [indeks saprobowości],
- d) makrobezkręgowce bentosowe [indeks bioróżnorodności, indeks biotyczny].

11) Wskaźniki mikrobiologiczne, w tym:

- a) liczba bakterii grupy *Coli* typu fekalnego [w 100 ml],
- b) liczba bakterii grupy *Coli* [w 100 ml].

B) Wskaźniki określające jakość osadów wodnych, w tym (Bojakowska 2001):

- 1) Zawartość pierwiastków, w tym: arsen, kadm, chrom, miedź, ołów, rtęć, nikiel i cynk [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$],
- 2) Zawartość polichlorowanych bifenyli, w tym: PCBs, PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153, PCB180 [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$],
- 3) Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, w tym: suma WWA, acenaften, acenaftylen, fenantren, fluoranten, fluoren, antracen, piren, chryzen, benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)antracen, dibenzo(a,h)antracen, benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-c,d)ipren [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$],
- 4) Zawartość pestycydów chloroorganicznych, w tym: dieldrina, endrina, DDT, DDE, DDD, heptachlor, γ -HCH (lindan) [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$].

C) Wskaźniki określające jakość wód podziemnych (Rozporządzenie 2004a), w tym:

- 1) wszystkie wskaźniki wymienione dla wód powierzchniowych z wyłączeniem punktów: 1d, 3a, 3b, 4b, 4e, 4g, 9a, 9b, 10a-d i 11a-b .
- 2) Ponadto: wodorowęglany [$\text{mg HCO}_3\cdot\text{dm}^{-3}$], krzemionka [$\text{mg SiO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$], sól [$\text{mg Na}\cdot\text{dm}^{-3}$] oraz potas [$\text{mg K}\cdot\text{dm}^{-3}$].

3.4 Stan czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007

Stan czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy został opracowany na podstawie danych uzyskanych z monitoringu jakości wód powierzchniowych (działającego w ramach sieci krajowej) prowadzonego przez państwową Inspekcję Ochrony Środowiska (inspektorat wojewódzki w Białymstoku) na obszarze Biebrzańskiego Parku Narodowego. Monitoring prowadzony był na: Biebrzy (2 punkty pomiarowe: Osowiec i Burzyn), Kanale Rudzkim (p. p. Osowiec), Wissie (p. p. Czachy), Klimaszewnicy (p. p. Klimaszewnica) oraz na Kosódce (p. p. Dobarz). Próbkę wody pobierane były w każdym punkcie pomiarowym z częstotliwością raz na miesiąc (w sumie 12 próbek w danym roku), a oznaczone parametry jakości opracowano dla całego roku w oparciu o metodę statystyczną stężeń gwarantowanych. Metoda ta uwzględnia obliczenie podstawowych parametrów rozkładu normalnego i logarytmiczno-normalnego, tj. wartości średniej, wariancji, odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności próby. Następnie dokonuje się wyboru jednego z rozkładów w zależności od wartości współczynnika zmienności próby, gdy jest ona większa od 0,2 wówczas zmiany parametrów nie są opisane rozkładem normalnym.

Stężenia parametrów jakości wód powierzchniowych (za cały rok pomiarowy) odpowiadające 95% gwarancji nieprzekraczalności (czyli o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=90\%$) obliczane są wg wzoru:

$$C_{95} = C_{\text{SR}} \pm 1,645 \cdot \sigma \quad (3.1)$$

gdzie:

- C_{95} – stężenie odpowiadające percentylowi 95,
- C_{SR} – stężenie średnie (wartość oczekiwana),
- σ – odchylenie standardowe próby.

O czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego decyduje ilość oraz jakość zasobów wodnych całej jego zlewni (Bleuten et al. 2002), dlatego też analizując stan czystości Biebrzy należy również uwzględnić stan czystości jej dopływów. Przyjmuje się istnienie następujących klas czystości wód powierzchniowych (Rozporządzenie 2004a; Rozporządzenie 2008):

- I klasa – wody bardzo dobrej jakości, w których wartości wskaźników jakości nie wskazują na żadne oddziaływania antropogeniczne;
- II klasa – wody dobrej jakości, w których wartości wskaźników jakości wykazują na niewielki wpływ oddziaływań antropogenicznych;
- III klasa – wody zadowalającej jakości, w których wartości wskaźników jakości wykazują umiarkowany wpływ oddziaływań antropogenicznych;
- IV klasa – wody niezadowalającej jakości, w których wartości wskaźników jakości wykazują, na skutek oddziaływań antropogenicznych, zmiany ilościowe i jakościowe w populacjach biologicznych;
- V klasa – wody złej jakości, w których wartości wskaźników jakości wykazują, na skutek oddziaływań antropogenicznych, zmiany polegające na zaniku występowania znacznej części populacji biologicznych.

Najnowsze przepisy regulujące ocenę stanu wód powierzchniowych zgodnie z wymaganiami Unii Europejskiej (Rozporządzenie 2008), wprowadzone w życie jesienią 2008 r., w sposób drastyczny złagodziły podejście do oceny jakości wód płynących. Po pierwsze usunięto kilka ważnych wskaźników jakości stosowanych w Polsce od wielu lat, tj. fosforany(V), azotany(III), zasadowość ogólną, ilość bakterii *Coli* oraz ilość bakterii *Coli* typu fekalnego. Zrezygnowano ze stosowania wskaźników mikrobiologicznych (bakterie *Coli*) oraz wskaźników określających obecność w wodzie substancji uważanych w myśl odrębnych przepisów (Rozporządzenie 2006) za szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego, tj. azotany(III).

Po drugie obniżono wartości progowe klasy I oraz II dla większości wskaźników jakości, tj. dla: BZT₅, ChZT-Mn, tlen rozpuszczony, azot amonowy, azot Kjeldahla, azot azotanowy(V), azot ogólny powodując, że próbki wody, które według wcześniejszych przepisów (Rozporządzenie 2004) zostały zaklasyfikowane do II klasy obecnie kwalifikują się do klasy I. Po trzecie, dla wszystkich parametrów fizyko-chemicznych nie wprowadzono

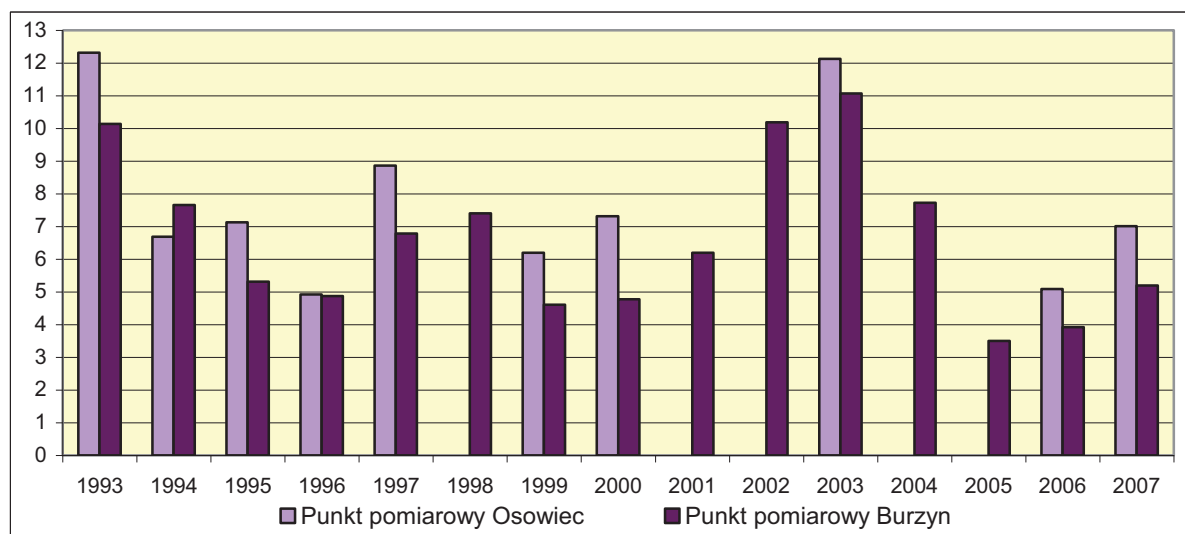
wartości progowych wskaźników jakości dla klas III, IV oraz V, tym samym uniemożliwiając zakwalifikowanie danej próbki wody (o niskiej lub bardzo niskiej jakości) to żadnej z klas, co w praktyce sprowadza się do określenia takiej próbki jedynie jako „gorszej niż II klasa jakości”.

Wprowadzenie w życie przepisów bardzo złagodzonych, ogólnikowych i sprzecznych z dotychczasowym doświadczeniem w naszym kraju jest skutkiem dostosowania dość rygorystycznych przepisów polskich do bardzo ogólnych i mało konkretnych przepisów unijnych zawartych w Dyrektywie 2000/60/EC. W praktyce działania te zmierzają do osiągnięcia celów środowiskowych zapisanych w Dyrektywie Wodnej nie poprzez rzeczywistą poprawę jakości środowiska wodnego, ale na drodze stopniowego łagodzenia przepisów oraz osiągania coraz lepszego stanu środowiska „na papierze”.

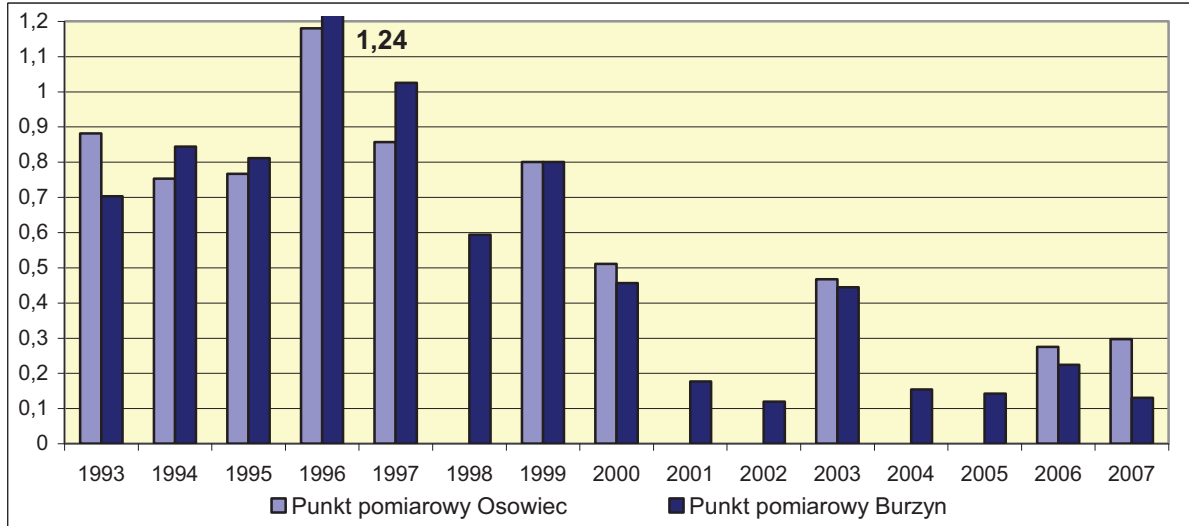
Mając na uwadze powyższe spostrzeżenia stan czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007 zaprezentowano w oparciu o obowiązujące przepisy (Rozporządzenie 2008), niemniej jednak tam gdzie było to konieczne, np. w przypadku zlikwidowanych wskaźników jakości, posilkowano się przepisami wcześniejszymi (Rozporządzenie 2004). Dla porównania podane zostały klasy jakości próbek wody wg obydwu rozporządzeń (jeżeli klasy te były różne).

3.4.1 Analiza i ocena wyników monitoringu jakości wód Biebrzy

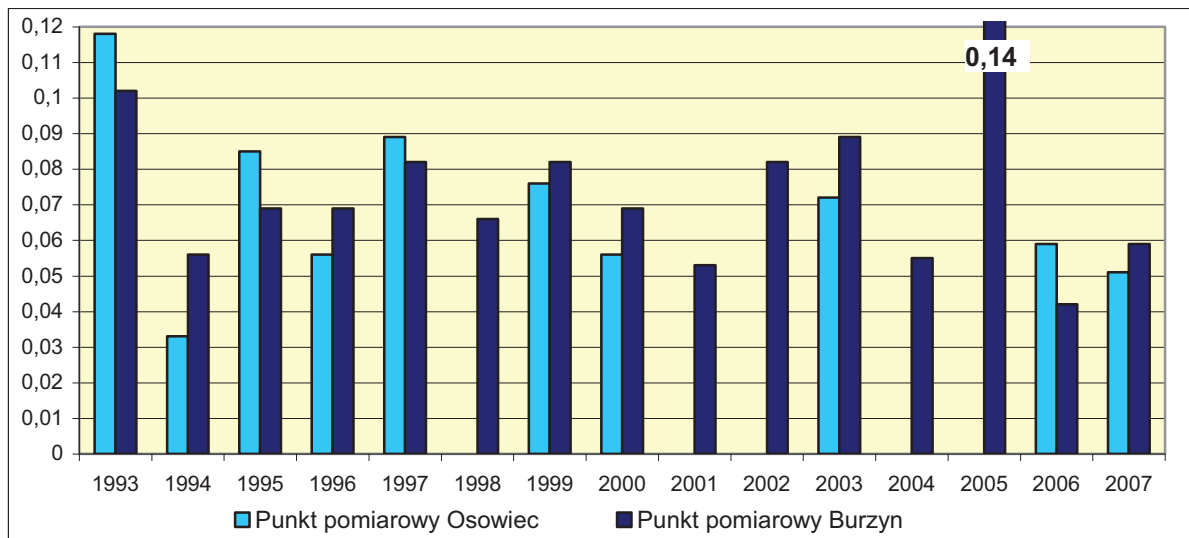
Stężenia **azotanów(V)** w latach 1993-2007 wykazywały sinusoidalną zmienność bez wyraźnych, długoterminowych tendencji. W okresie 1999-2003 nastąpił znaczny wzrost wartości tego parametru skutkujący w 2003 r. jednym z najwyższych stężeń zanotowanych w Biebrzy Dolnej w ciągu ostatnich 15 lat (punkt pomiarowy Osowiec 12,13 mg NO₃·dm⁻³; p. p. Burzyn 11,07 mg NO₃·dm⁻³, w obydwu przypadkach II klasa czystości). Po 2003 r. nastąpił gwałtowny spadek stężeń, jednakże od 2005 r. notuje się kolejny ich wzrost.



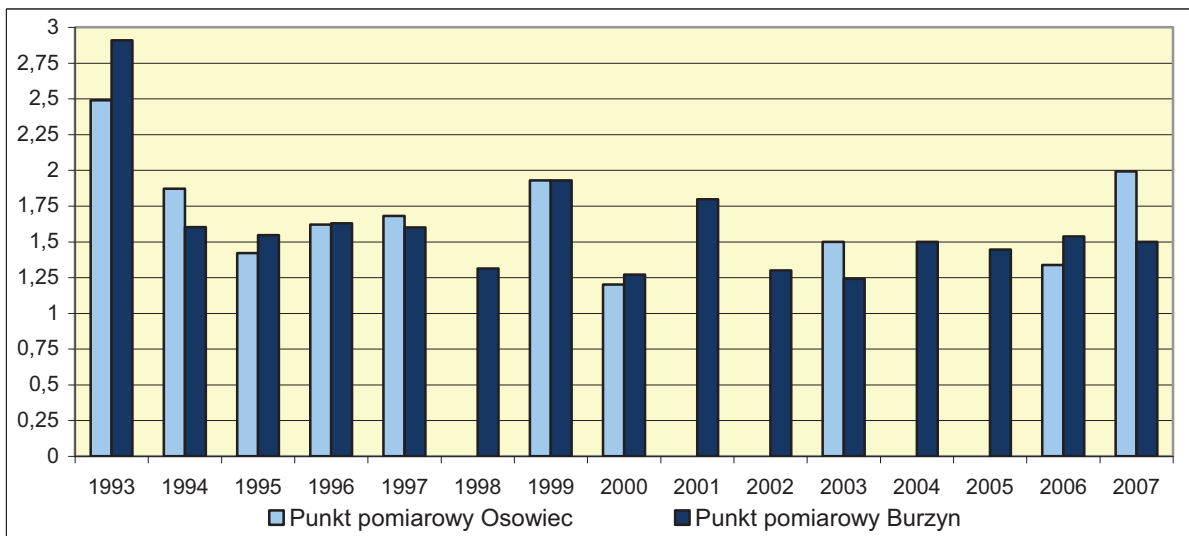
Rys. 3.1 Stężenia azotanów(V) w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg NO₃·dm⁻³]



Rys. 3.2 Stężenia amoniaku w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg NH₄·dm⁻³]



Rys. 3.3 Stężenia azotanów(III) w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg NO₂·dm⁻³]

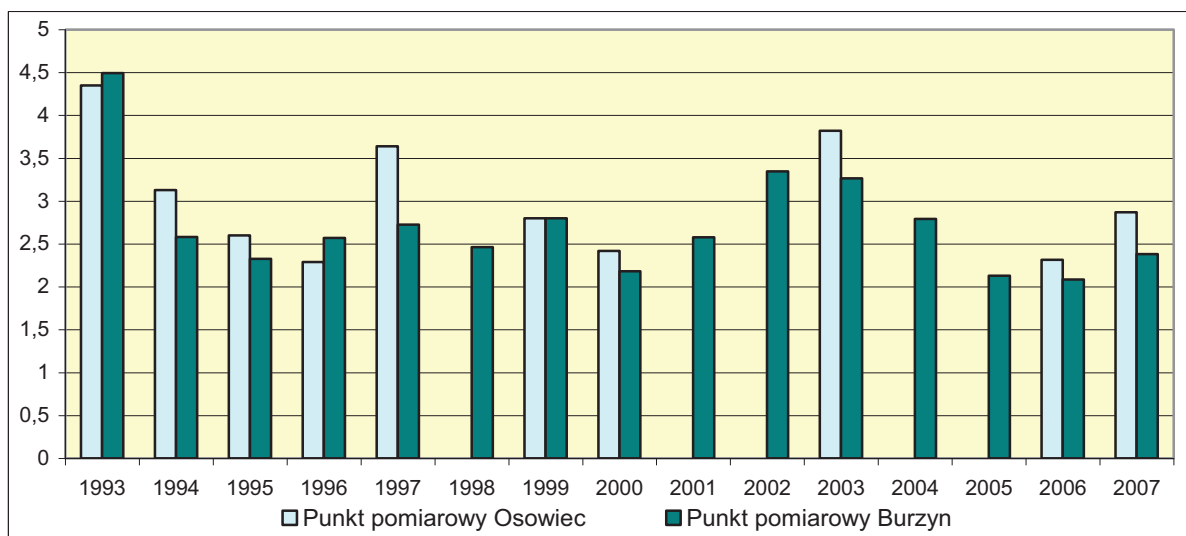


Rys. 3.4 Stężenia azotu Kjeldahla w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg N·dm⁻³]

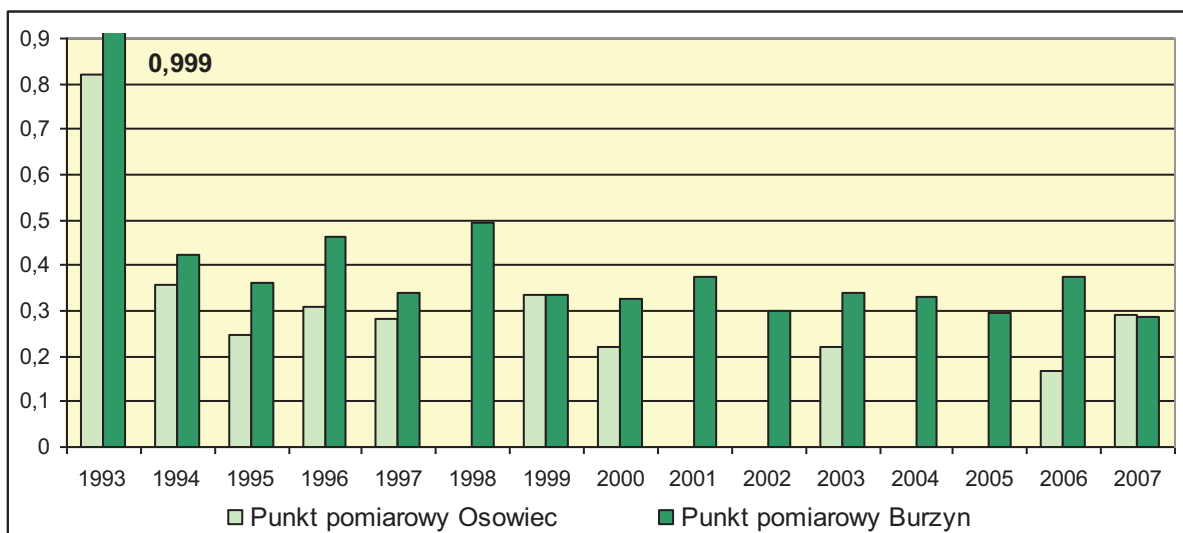
Stężenia azotanów(V) w latach 2006-2007 r. klasyfikowały wody Biebrzy do I klasy czystości (II klasy wg Rozp. z 2004 r.), przy czym zauważyć można, iż wartości tego parametru notowane w p. p. Osowiec są niemal zawsze wyższe niż w p. p. Burzyn. Począwszy od 1996 r. stężenia **amoniaku** wyraźnie malały w obydwu punktach pomiarowych osiągając w 2000 r. stabilizację w I klasie czystości, która trwa aż do 2007 r. W 1996 r., gdy parametr ten osiągnął najwyższą wartość na przestrzeni całego okresu 1993-2007, wody Biebrzy pogorszyły się do II klasy czystości (III klasy wg Rozp. z 2004 r.).

Stężenia **azotanów(III)** w Biebrzy Dolnej wykazywały w latach 1993-2007 zmiany zachodzące w dwóch, przeciwstawnych kierunkach, podczas gdy w p. p. Osowiec powoli malały w tym samym czasie w p. p. Burzyn systematycznie wzrastały, co świadczy o tym, że decydujący wpływ na obecność tych związków w Biebrzy Dolnej mają jej dopływy, a nie Basen Środkowy. W latach 1993-2007 stężenia azotanów(III) zasadniczo nie pogarszały jakości Biebrzy poniżej II klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.), jednak niepokojącym faktem może być jednorazowe, wysokie ($0,14 \text{ mg NO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, najwyższe w ciągu ostatnich 15 lat) stężenie tego parametru zanotowane w 2005 r. w p. p. Burzyn (III klasa czystości wg Rozp. z 2004 r.). W latach 2006-2007 stężenia azotanów(III) klasyfikowały wody Biebrzy do II klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.). Jeżeli chodzi o pozostałe parametry określające wpływ substancji pokarmowych na jakość wody, tj. **azot Kjeldahla**, **azot ogólny**, **fosforany(V)** oraz **fosfor ogólny** to trudno jest mówić o wyraźnych trendach zmian, bowiem stężenia tych parametrów wzrastały lub zmniejszały się w zależności od danego roku.

Pod względem stężeń azotu Kjeldahla jakość Biebrzy w latach 1993-2007 nigdy nie była lepsza niż II klasa czystości (III klasa wg Rozp. z 2004 r.), natomiast pod względem zawartości azotu ogólnego mieściła się w I klasie czystości (II klasie wg Rozp. z 2004 r.). Na ocenę jakości wód powierzchniowych Biebrzy w latach 2006-2007 największy (negatywny) wpływ miał azot Kjeldahla (w 2007 r. stężenie w p. p. Osowiec wynosiło $1,99 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$



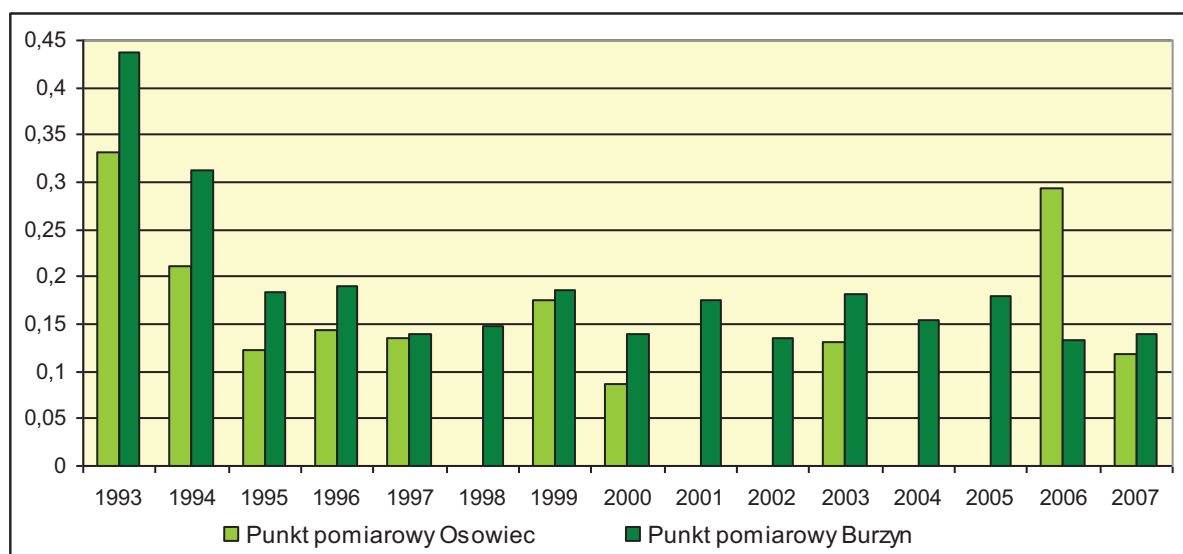
Rys. 3.5 Stężenia azotu ogólnego w Biebrzy w latach 1993-2007 [$\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$]



Rys. 3.6 Stężenia fosforanów(V) w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg PO₄·dm⁻³]

w p. p. Burzyn 1,5 mg N·dm⁻³), natomiast pozostałe parametry, tj. azot ogólny, fosforany(V) oraz fosfor ogólny klasyfikowały wody Biebrzy do I klasy czystości (I lub II klasy wg Rozp. z 2004 r.). Zauważalna jest jednak wyraźna poprawa w stosunku do 1993 r., zwłaszcza dotyczy to fosforanów(V), które w latach 1999-2007 nie pogarszały jakości Biebrzy poniżej II klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.). Wyraźnie też widać, że w przypadku fosforanów(V) oraz fosforu ogólnego stężenia notowane w p. p. Burzyn są niemal zawsze wyższe niż w p. p. Osowiec, co świadczy o tym, że głównym źródłem związków fosforu w Biebrzy Dolnej są jej dopływy, a nie Biebrza Środkowa.

W okresie 1995-2007 stężenia fosforu ogólnego nie pogarszały jakości Biebrzy poniżej I klasy czystości za wyjątkiem 2006 r., kiedy to zanotowano dwukrotnie wyższe niż zazwyczaj (0,29 mg P·dm⁻³, najwyższe w ciągu ostatnich 14 lat) stężenie tego parametru w p. p. Osowiec (II klasa czystości). Należy tutaj podkreślić, że obowiązujące do 2003 r.

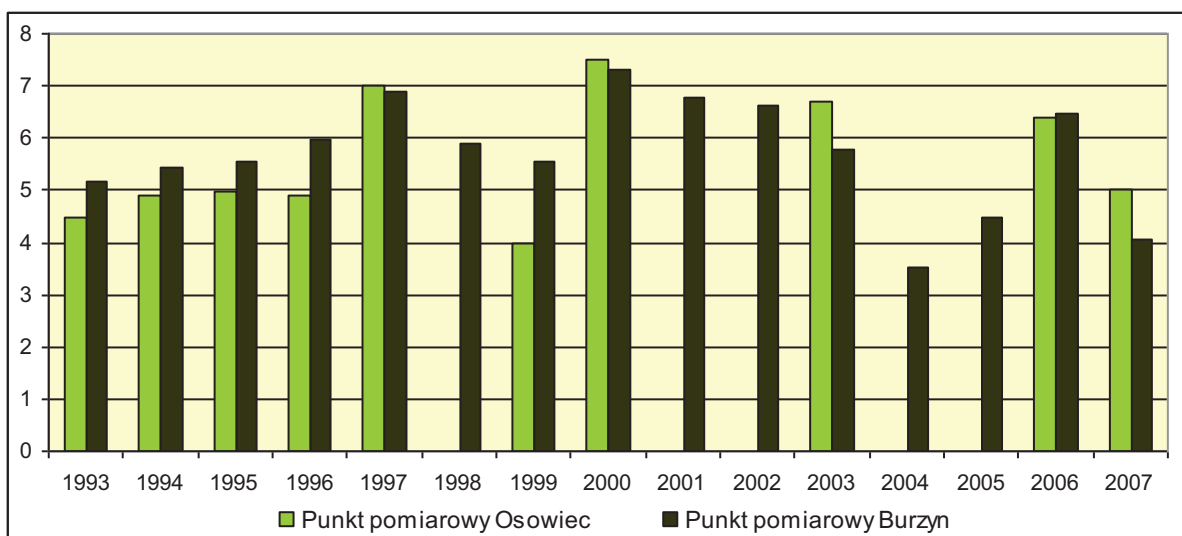


Rys. 3.7 Stężenia fosforu ogólnego w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg P·dm⁻³]

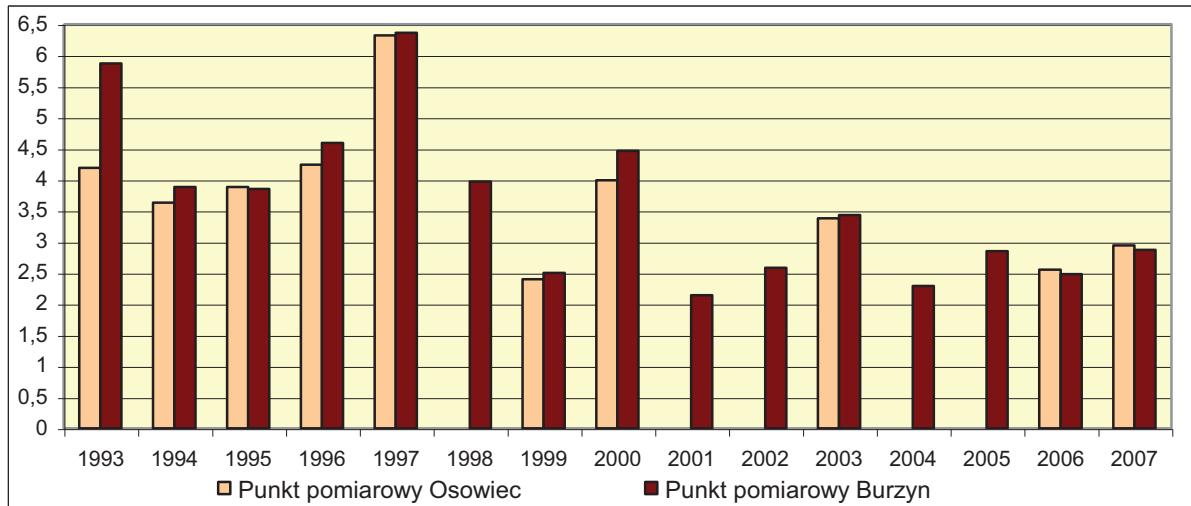
przepisy regulujące ocenę stanu wód powierzchniowych (Rozporządzenie 1991) były pod względem obecności w wodzie związków fosforu znacznie bardziej restrykcyjne niż przepisy wprowadzone w 2004 r. (Rozporządzenie 2004a). Nowe rozporządzenie znacznie przesunęło dopuszczalne, maksymalne wartości stężeń fosforu ogólnego dla poszczególnych klas jakości wody, tj. dla wód o wysokiej jakości z dotychczasowego dopuszczalnego stężenia $0,1 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ przesunięto granicę na $0,2 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ (o 100%), natomiast dla wód o niskiej jakości z dopuszczalnego dotychczas stężenia $0,4 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ przesunięto granicę na $1 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ P (o 150%).

W efekcie zabieg ten w prosty sposób pozwolił uzyskać „poprawę” stanu środowiska, która w żaden sposób nie odzwierciedlała stanu faktycznego, np. na obszarze Basenu Dolnego w okresie 1992-2003 stężenia fosforu ogólnego kwalifikowały Biebrzę i jej dopływy (wg Rozporządzenia z 1991 r.) do wód o niskiej lub bardzo niskiej jakości, a tymczasem po wprowadzeniu w 2004 r. nowych przepisów te same stężenia fosforu ogólnego kwalifikowały Biebrzę i jej dopływy najczęściej jako wody dobrej lub zadowalającej jakości (II lub III klasa czystości wg Rozp. z 2004 r.). Rozporządzenie z 2008 r. wprowadziło jeszcze łagodniejszą ocenę jakości wód powierzchniowych usuwając z grupy wskaźników fosforany(V) oraz nie podając wartości granicznych wskaźników dla klas III-IV-V.

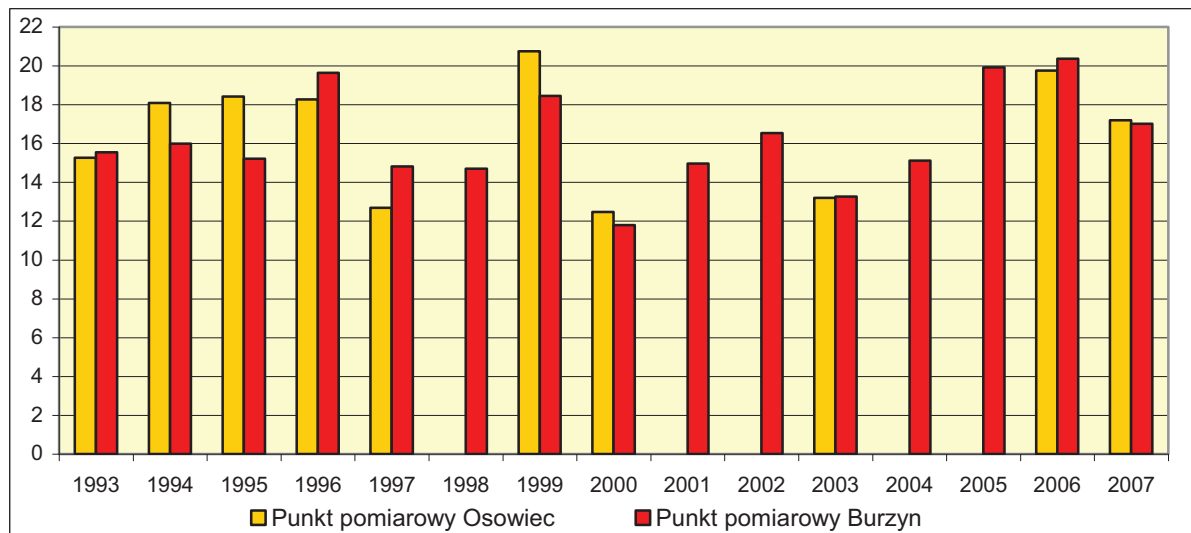
Stężenie **tlenu** rozpuszczonego w wodzie wykazało w Biebrzy tendencję spadkową zapoczątkowaną już w 2000 r., zarówno w p. p. Osowiec jak i też w p. p. Burzyn. Na skutek tego parametr ten klasyfikował wody Biebrzy w 2007 r. poniżej II klasy czystości, zarówno w p. p. Osowiec – stężenie $5,01 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ (III klasa wg Rozp. z 2004 r.) jak i też w p. p. Burzyn – stężenie $4,06 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ (IV klasa wg Rozp. z 2004 r.). Stężenia tlenu w Biebrzy obserwowane w latach 1993-2007 wykazywały znaczne wahania w zależności od danego roku klasyfikując jakość wód rzeki poniżej II klasy czystości: w latach 1993-1996, 1998-1999, 2003, 2005 i 2007 stężenia wynosiły od $4,00$ do $5,99 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ (III i IV klasa wg Rozp. z 2004 r.), w latach 1997, 2001-2002, 2006 stężenia wynosiły od $6,41$ do $6,89 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$



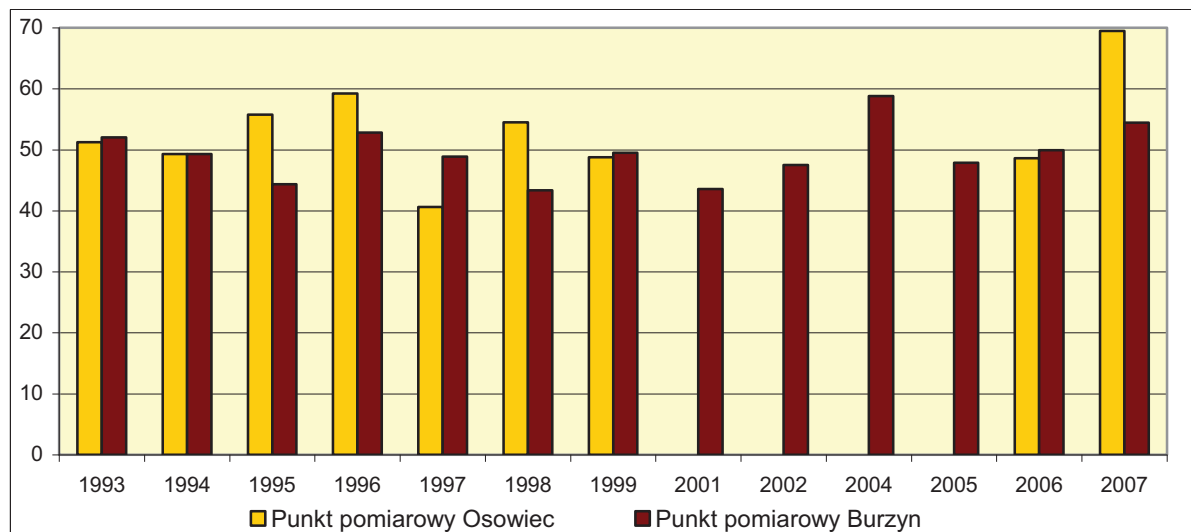
Rys. 3.8 Stężenia tlenu rozpuszczonego w Biebrzy w latach 1993-2007 [$\text{mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$]



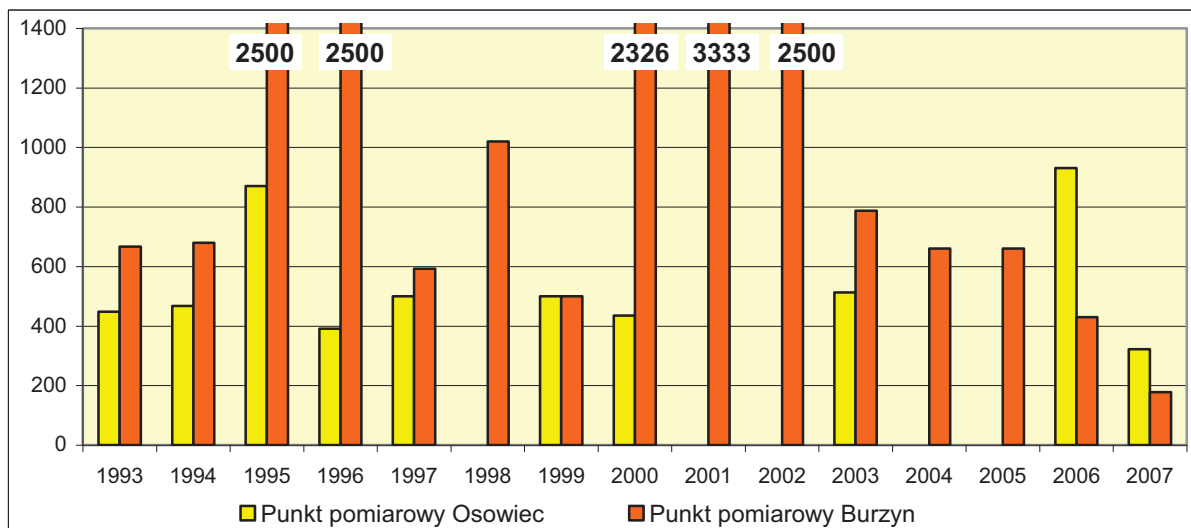
Rys. 3.9 Wartości BZT₅ w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg O₂·dm⁻³]



Rys. 3.10 Wartości ChZT-Mn w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg O₂·dm⁻³]



Rys. 3.11 Wartości ChZT-Cr w Biebrzy w latach 1993-2007 [mg O₂·dm⁻³]



Rys. 3.12 Ilość bakterii *Coli* typu fekalnego w Biebrzy w latach 1993-2007 [w 100 ml wody]

(II klasa wg Rozp. z 2004 r.), natomiast jednorazowo w 2004 r. zanotowano stężenie 3,52 mg O₂·dm⁻³ (V klasa wg Rozp. z 2004 r.) oraz w 2000 r. stężenia od 7,32 do 7,51 mg O₂·dm⁻³ (I klasa wg obydwu rozporządzeń).

Pozytywnym zjawiskiem jest wyraźny spadek wartości **BZT₅** od 1997 r., dzięki czemu parametr ten od 2004 r. klasyfikuje wody Biebrzy do I klasy czystości (II klasy wg Rozp. z 2004 r.), podczas gdy w latach 1993-1997 była to przeważnie II klasa – stężenia od 3,63 do 6,36 mg O₂·dm⁻³ (III i IV klasa wg Rozp. z 2004 r.). W przypadku parametrów określających w wodzie stężenia związków organicznych trudno rozpuszczalnych i wolno ulegających biodegradacji, tj. **ChZT-Mn** oraz **ChZT-Cr** przez cały okres 1993-2007 wody Biebrzy kwalifikowały się poniżej II klasy czystości – stężenia ChZT-Mn od 11,8 do 20,75 mg O₂·dm⁻³, stężenia ChZT-Cr od 40,60 do 59,21 mg O₂·dm⁻³ (IV klasa wg Rozp. z 2004 r.), a w 2007 r. zanotowano w p. p. Osowiec stężenie ChZT-Cr 69,5 mg O₂·dm⁻³ (V klasa wg Rozp. z 2004 r.). W ciągu ostatnich kilku lat zauważalny jest nieznaczny wzrost wartości zarówno ChZT-Mn jak i też ChZT-Cr.

Pod względem sanitarnym, czyli obecności **bakterii *Coli* typu fekalnego** wody Biebrzy w latach 1993-2006 nigdy nie były lepszej jakości niż III klasa czystości (wg Rozp. z 2004 r.), a w latach 1995-1996 oraz 2000-2002 pogorszyły się nawet do IV klasy (wg Rozp. z 2004 r.) osiągając od 2500 do 3333 sztuk bakterii w 100 ml wody. Dopiero w 2007 r. w p. p. Burzyn odnotowano spadek do poziomu 188 sztuk bakterii w 100 ml wody klasyfikujący wody Biebrzy do II klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.). Zaznaczają się tutaj duże wahania stężeń w zależności od danego roku, co mogłoby wskazywać na zrzuty ścieków odbywające się w okresie poboru próbek wody.

3.4.2 Analiza i ocena wyników monitoringu jakości wód dopływów Biebrzy

Monitoring jakości wód powierzchniowych dopływów Biebrzy Dolnej był w latach 1993-2007 systematycznie (rokrocznie) prowadzony tylko na Kanale Rudzkim oraz Wissie

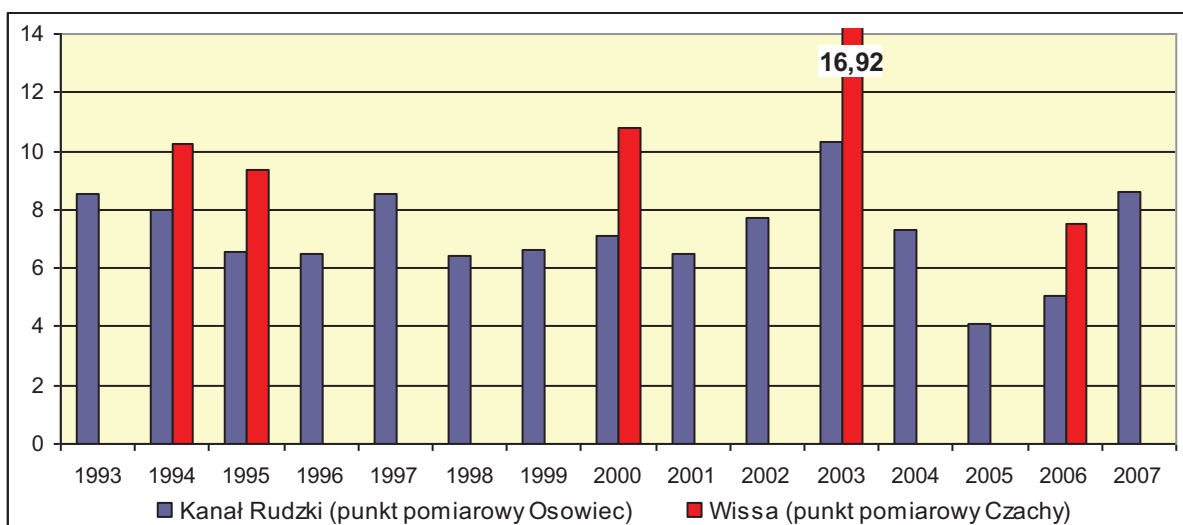
Tabela 3.1 Wyniki monitoringu czystości wód Klimaszewnicy oraz Kosódki pod względem zawartości biogenów, prowadzonego w latach 1994, 1995 i 2006

Parametr	Rzeka							
	Klimaszewnica				Kosódka			
	Rok pomiarowy							
	1994	1995	2006	Trend zmian	1994	1995	2006	Trend zmian
Amoniak [$\text{mg NH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$]	0,556	0,745	0,674	→	1,69	1,37	0,546	↓
Azotany(III) [$\text{mg NO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$]	0,066	0,095	0,244	↑	0,059	0,085	0,113	↑
Azotany(V) [$\text{mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$]	11,30	9,56	5,50	↓	7,44	11,47	6,73	↓
Azot Kjeldahla [$\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$]	1,53	1,41	2,29	↑	2,58	1,62	3,05	↑
Azot ogólny [$\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$]	3,56	3,17	3,20	→	3,48	3,36	3,60	→
Fosforany(V) [$\text{mg PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$]	0,268	0,461	0,420	→	0,231	0,173	0,235	→
Fosfor ogólny [$\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$]	0,202	0,129	0,209	→	0,159	0,118	0,123	→

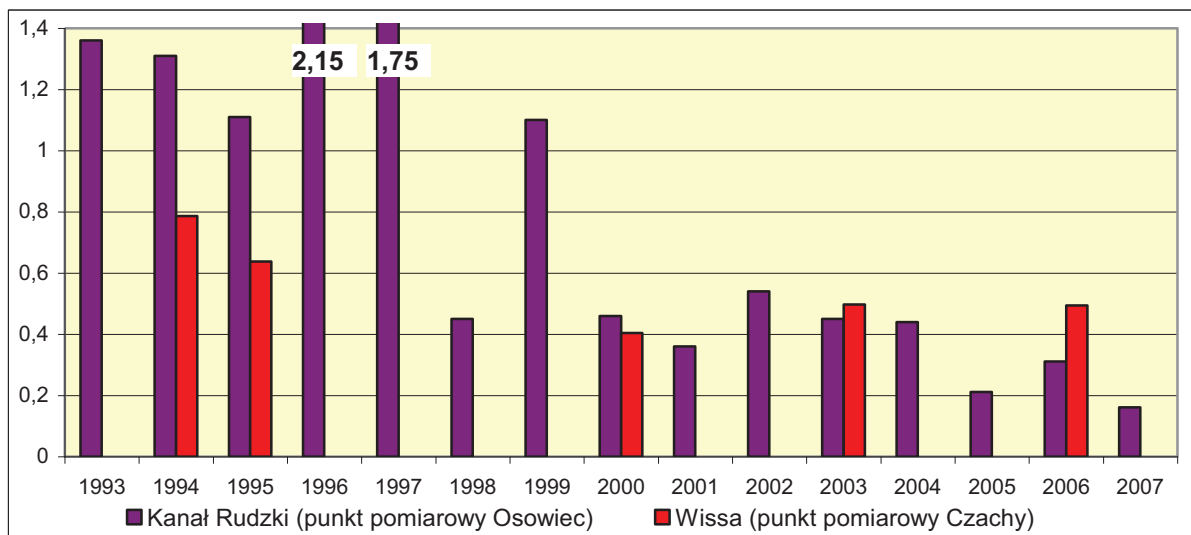
Źródło danych: Inspekcja Ochrony Środowiska. Opracowanie własne.

Oznaczenia kolorystyki: czerwony – zjawisko negatywne, żółty – neutralne, zielony – pozytywne; strzałka „w górę” = wzrost wartości, strzałka „w dół” = spadek wartości, strzałka „w poziomie” = bez zmian.

natomiast w przypadku Kosódki oraz Klimaszewnicy jakość wody była badana tylko w latach 1994, 1995 oraz 2006. Ze względu na niewielką ilość danych oraz niezbędną przejrzystość graficznej prezentacji wszystkie dostępne dane dotyczące czystości Klimaszewnicy oraz Kosódki zostały zamieszczone w tabelach nr 3.1 i 3.2, zamiast na wykresach. Stężenia **azotanów(V)** obserwowane w latach 1993-2007 w Kanale Rudzkim wykazywały sinusoidalną zmienność bez wyraźnych, długoterminowych tendencji. W okresie 2001-2003



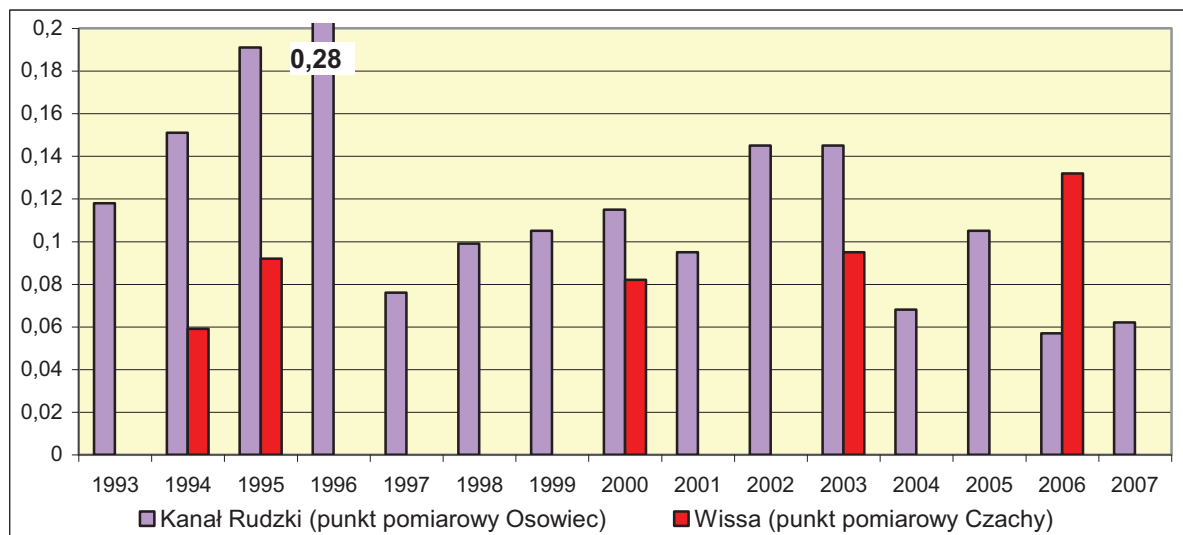
Rys. 3.13 Stężenia azotanów(V) w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [$\text{mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$]



Rys. 3.14 Stężenia amoniaku w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [$\text{mg NH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$]

nastąpił istotny wzrost wartości tego parametru skutkujący w 2003 r. najwyższym stężeniem zanotowanym w tym cieku w ciągu ostatnich 15 lat ($10,32 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, II klasa czystości). Po 2003 r. nastąpił znaczny spadek stężeń, jednakże od 2005 r. notuje się kolejny ich wzrost. Zupełnie inaczej przedstawia się sytuacja w Wissie, gdzie w okresie 1995-2003 zaznaczył się wyraźny trend wzrostowy, w efekcie czego w 2003 r. zanotowano najwyższe od 15 lat stężenie azotanów(V) w tej rzece $16,92 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, II klasa czystości (III klasa wg Rozp. z 2004 r.). Prawie w całym okresie pomiarowym 1993-2007 stężenia azotanów(V) klasyfikowały wody Kanału Rudzkiego i Wissy do I klasy czystości (II klasy wg Rozp. z 2004 r.), wyjątek: Wissa w 1994, 2000 i 2003 r. II klasa (III klasa wg Rozp. z 2004 r.), Kanał Rudzki w 2003 r. II klasa). W stosunku do średniej z lat 1994-1995 zarówno w Klimaszewnicy jak i też w Kosódce nastąpił w 2006 r. wyraźny spadek stężeń azotanów(V). Pod względem tego parametru najbardziej zanieczyszczonym dopływem Biebrzy w okresie 1993-2007 była Wissa, najmniej Kanał Rudzki. Stężenia azotanów(V) klasyfikowały w 2006 r. wody wszystkich czterech dopływów Biebrzy Dolnej do I klasy czystości (II klasy wg Rozporządzenia z 2004 r.).

Stężenia **amoniaku** w latach 1993-2007 wyraźnie zmalały w Kanale Rudzkim, Wissie oraz Kosódce, zjawisko to jest szczególnie widoczne w przypadku Kanału Rudzkiego, w którym wartości tego parametru notowane w latach 2005-2007 były kilkakrotnie mniejsze niż w połowie lat 90. XX w. Do 1999 r. stężenia amoniaku klasyfikowały wody wszystkich dopływów Biebrzy przeważnie do II klasy czystości (III klasy wg Rozp. z 2004 r.), od 2000 r. do I klasy (II klasy wg Rozp. z 2004 r.). Pod względem obecności amoniaku najbardziej zanieczyszczonymi dopływami Biebrzy w okresie 1993-2007 były: Kanał Rudzki (do 2002 r.) oraz Kosódka, obecnie są nimi Wissa oraz Kosódka. Stężenia amoniaku klasyfikowały w 2006 r. wody wszystkich czterech dopływów Biebrzy do I klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r. I klasa dla Kanału Rudzkiego i Wissy, natomiast II klasa dla Klimaszewnicy i Kosódki).

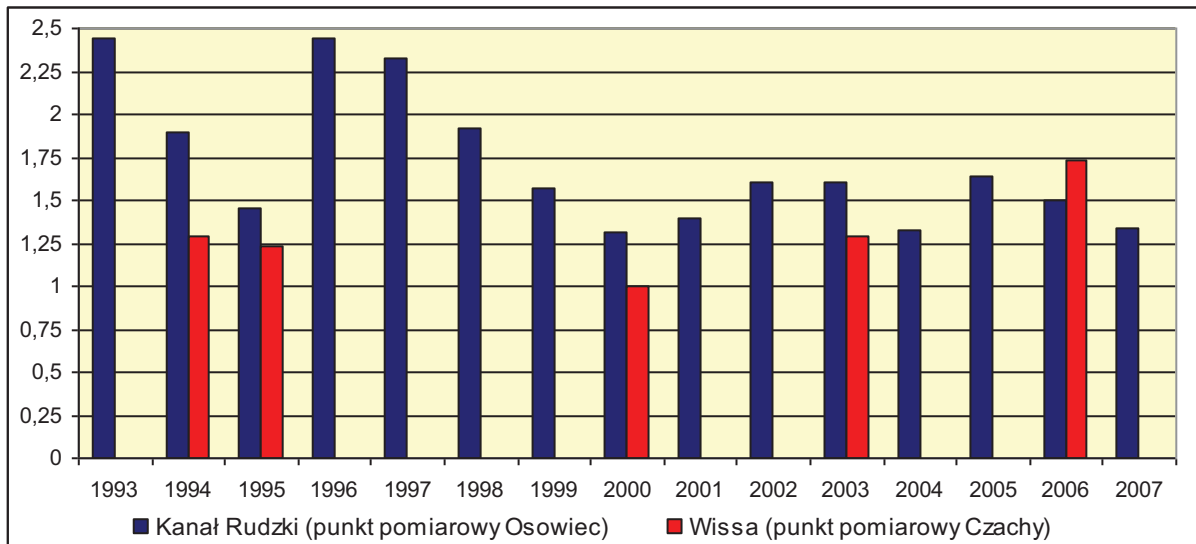


Rys. 3.15 Stężenia azotanów(III) w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg NO₂·dm⁻³]

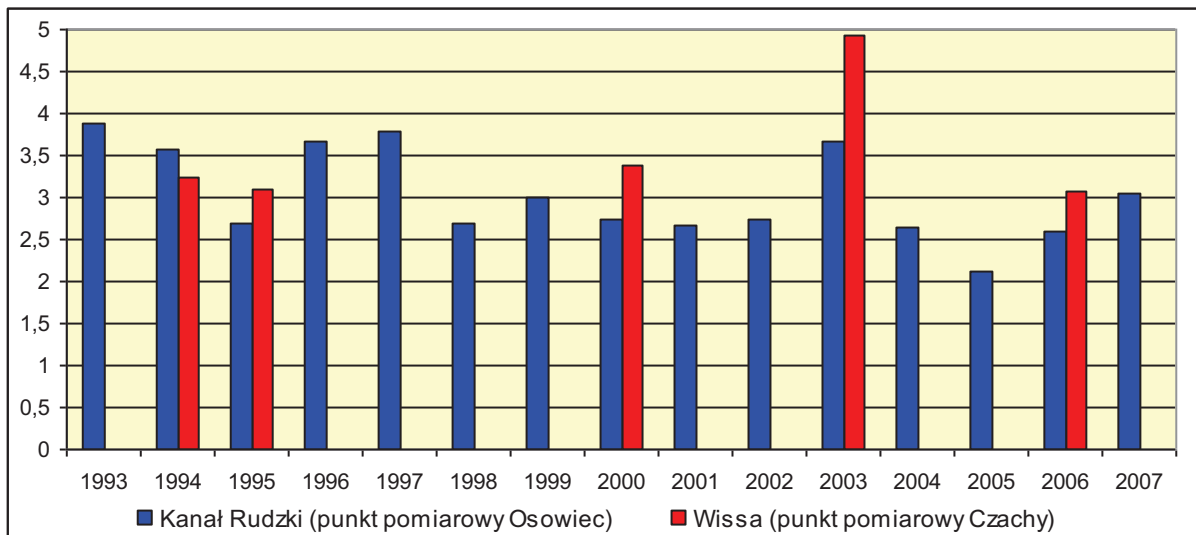
Stężenia **azotanów(III)** wykazują od 1994 r. wyraźną tendencję wzrostową w trzech spośród czterech dopływów Dolnej Biebrzy, tj. w Wissie, Klimaszewnicy oraz Kosódce, w efekcie czego parametr ten klasyfikował w 2006 r. wody wymienionych rzek do III klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.). W 2006 r. stężenia azotanów(III) zaobserwowane w Klimaszewnicy (0,244 mg NO₂·dm⁻³), Wissie (0,123 mg NO₂·dm⁻³) oraz Kosódce (0,113 mg NO₂·dm⁻³) były najwyższe w ciągu ostatnich 15 lat. Jedyna zauważalna poprawa w stosunku do I połowy lat 90. XX w. nastąpiła w Kanale Rudzkim, którego wody miały w 2006 r. II klasę czystości (wg Rozp. z 2004 r.). Pod względem obecności azotanów(III) najbardziej zanieczyszczonym dopływem Biebrzy był Kanał Rudzki (do 2005 r.), natomiast w 2006 r. jego miejsce zajęła Klimaszewnica. W latach 1993-2007 stężenia azotanów(III) klasyfikowały wody dopływów Biebrzy do II lub III klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.).

Podobnie jak w przypadku azotanów(III) również stężenia **azotu Kjeldahla** (azot organiczny) wykazują wyraźną tendencję wzrostową w trzech spośród czterech dopływów Biebrzy Dolnej, tj. w Wissie (od 2000 r.) oraz Klimaszewnicy i Kosódce (od 1994 r.). W efekcie parametr ten klasyfikował w 2006 r. wody wymienionych rzek do II klasy (III klasy dla Wissy oraz IV klasy dla Klimaszewnicy i Kosódki, wg Rozp. z 2004 r.). W 2006 r. stężenia azotu Kjeldahla oznaczone w Wissie (1,73 mg N·dm⁻³), Klimaszewnicy (2,29 mg N·dm⁻³) oraz Kosódce (3,05 mg N·dm⁻³) były najwyższe w ciągu ostatnich 15 lat. Jedyna zauważalna poprawa w stosunku do lat 90. XX w. nastąpiła w Kanale Rudzkim, którego wody miały w 2006 r. II klasę czystości (III klasę wg Rozp. z 2004 r.). Pod względem stężeń azotu Kjeldahla najbardziej zanieczyszczonymi dopływami Biebrzy w okresie 1993-2007 były Klimaszewnica i Kosódka. W latach 1993-2007 parametr ten klasyfikował wody dopływów Biebrzy do II klasy lub poniżej II klasy (odpowiednio III lub IV klasy wg Rozp. z 2004 r.).

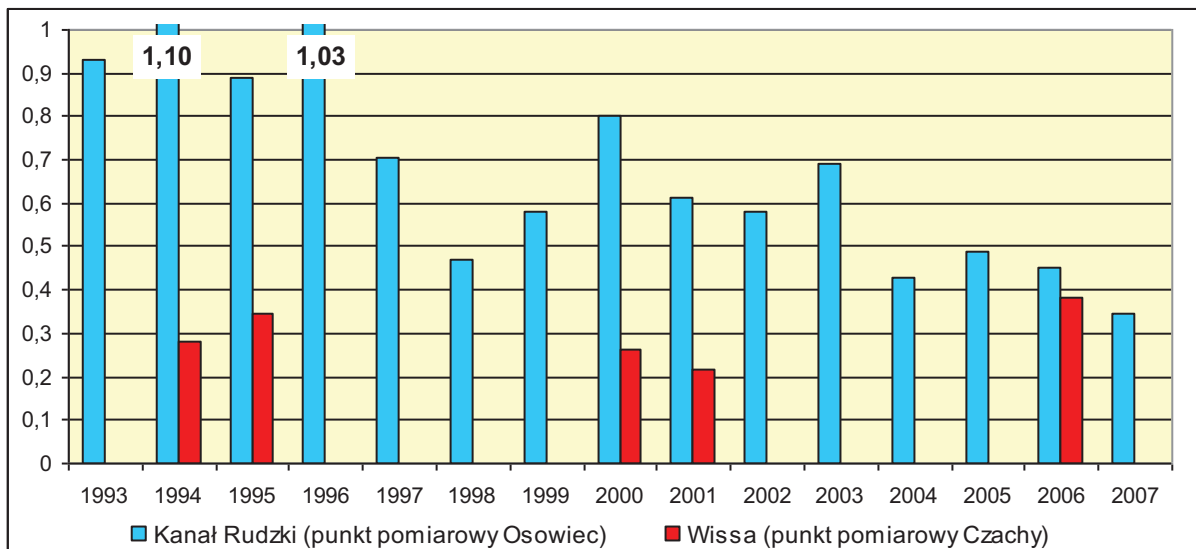
Stężenia **azotu ogólnego** w latach 1993-2007 wykazywały we wszystkich dopływach Biebrzy Dolnej pewną zmienność bez wyraźnych, długoterminowych tendencji. Z jednej



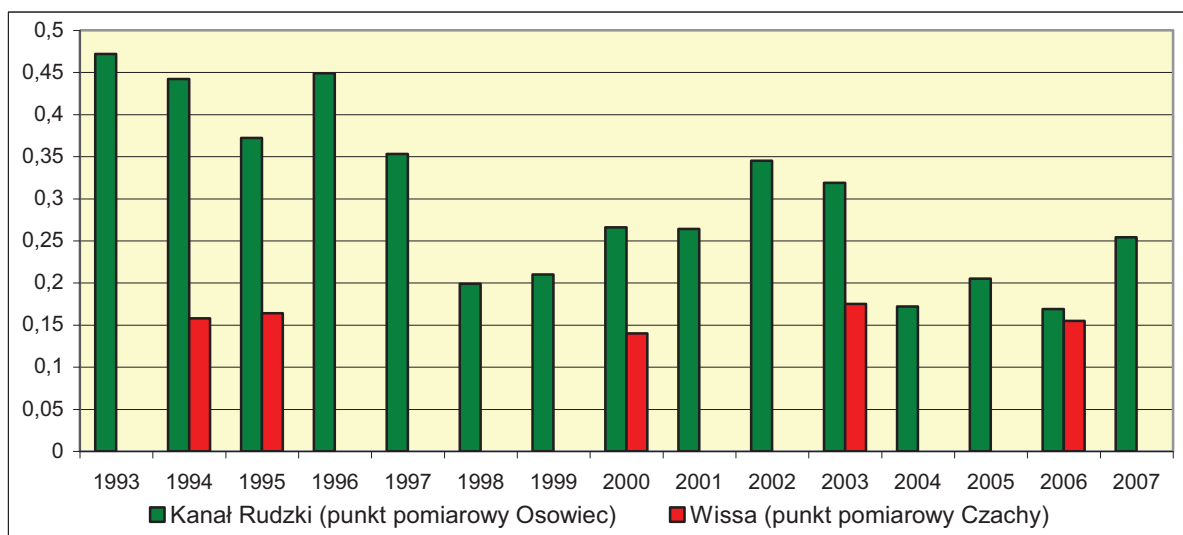
Rys. 3.16 Stężenia azotu Kjeldahla w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg N·dm⁻³]



Rys. 3.17 Stężenia azotu ogólnego w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg N·dm⁻³]



Rys. 3.18 Stężenia fosforanów(V) w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg PO₄·dm⁻³]



Rys. 3.19 Stężenia fosforu ogólnego w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg P·dm⁻³]

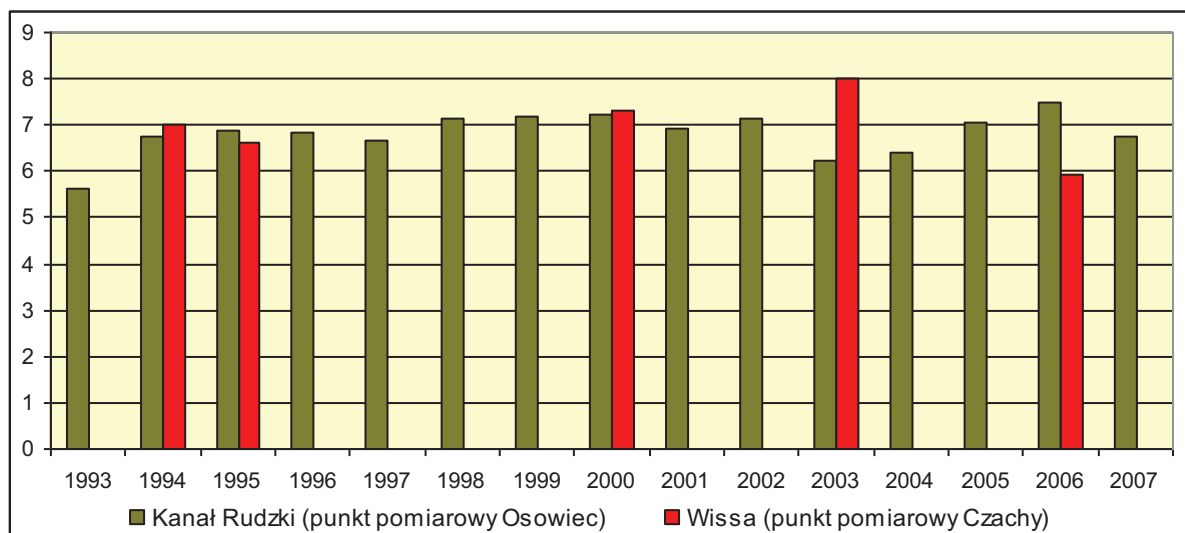
strony zauważyć można, że stężenia tego parametru w Kanale Rudzkim w ciągu ostatnich kilku lat (2004-2007) są niższe niż w połowie lat 90. XX w., z drugiej jednak strony w 2003 r. w Wissie zanotowano najwyższe stężenie azotu ogólnego w tym cieku w ciągu ostatnich 15 lat, tj. 4,92 mg N·dm⁻³, granica I i II klasy czystości (granica II i III klasy wg Rozp. z 2004 r.). Pod względem tego parametru najbardziej zanieczyszczonymi dopływami Biebrzy w okresie 1993-2007 były Klimaszewnica oraz Kosódka. W latach 1993-2007 stężenia azotu ogólnego klasyfikowały wody wszystkich dopływów Biebrzy do I klasy czystości (II klasy wg Rozp. z 2004 r. – wyjątek: Kanał Rudzki w 2005 r. I klasa czystości).

Stężenia **fosforanów(V)** oraz **fosforu ogólnego** w latach 1993-2007 wyraźnie zmalały tylko w Kanale Rudzkim, natomiast w pozostałych dopływach Biebrzy Dolnej były

Tabela 3.2 Wyniki monitoringu czystości wód Klimaszewnicy oraz Kosódki pod względem wskaźników tlenowych oraz mikrobiologicznych, prowadzonego w latach 1994, 1995 i 2006

Parametr		Rzeka							
		Klimaszewnica				Kosódka			
		Rok pomiarowy							
		1994	1995	2006	Trend zmian	1994	1995	2006	Trend zmian
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ ·dm ⁻³]		7,81	6,49	5,19	↓	5,12	7,01	4,05	↓
Związki organiczne	BZT ₅ [mg O ₂ ·dm ⁻³]	3,74	3,44	4,79	↑	4,07	4,87	4,03	→
	ChZT-Mn [mg O ₂ ·dm ⁻³]	13,08	16,50	30,53	↑	27,90	22,98	23,78	→
	ChZT-Cr [mg O ₂ ·dm ⁻³]	49,00	44,95	62,84	↑	70,61	62,80	70,73	→
Ilość bakterii <i>Coli</i> typu fekalnego [w 100 ml wody]		820	2083	11082	↑	2222	2857	430	↓

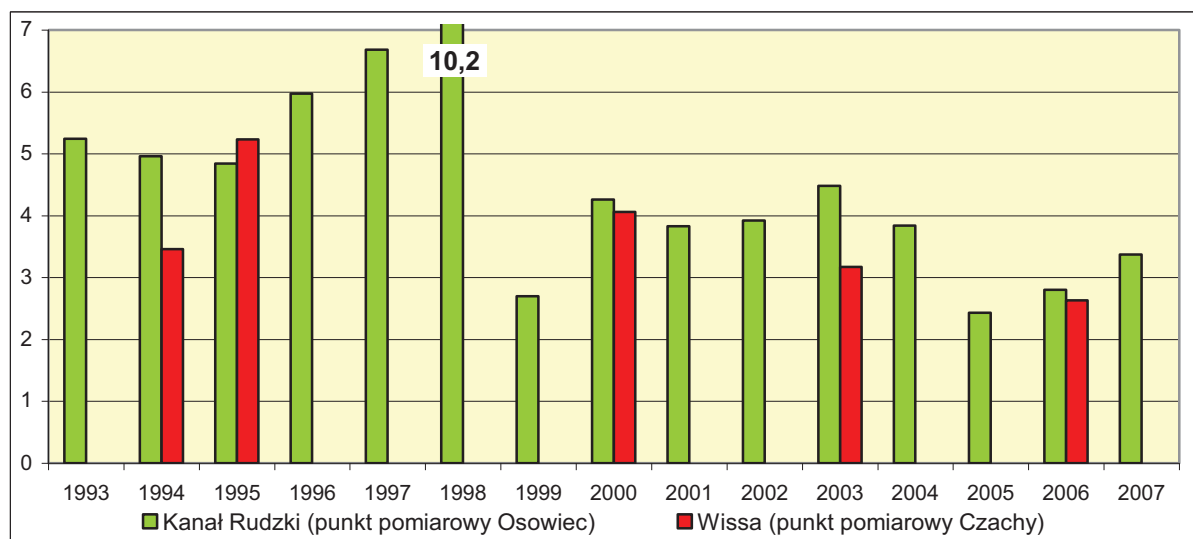
Źródło danych: Inspekcja Ochrony Środowiska. Opracowanie własne.



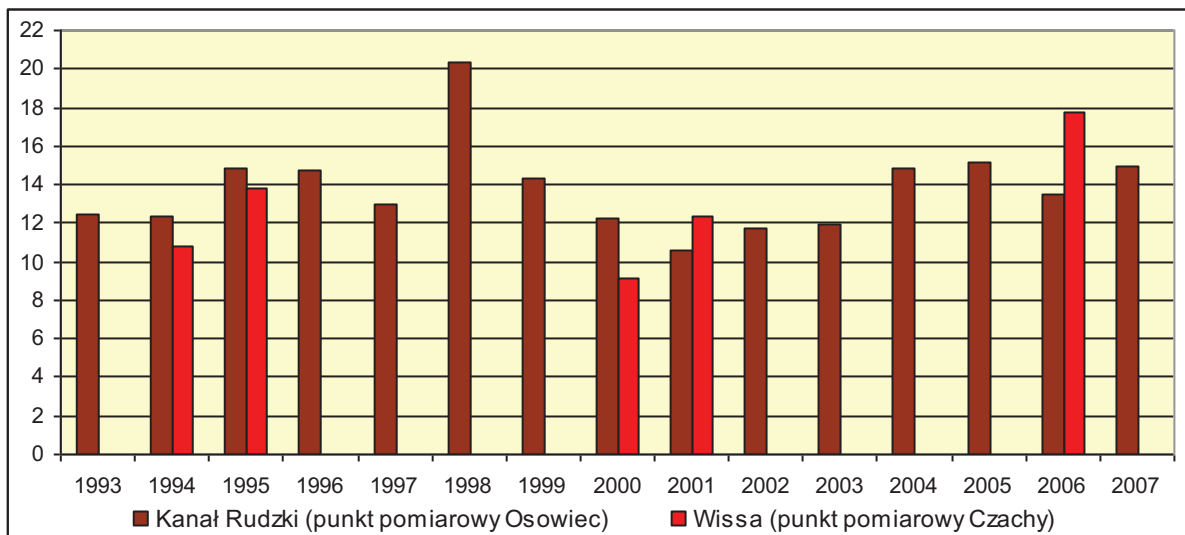
Rys. 3.20 Stężenia tlenu rozpuszczonego w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg O₂·dm⁻³]

w 2006 r. na tym samym poziomie, co w I połowie lat 90. XX w. W przypadku Wissy stężenia fosforanów(V) w 2006 r. były najwyższe od 15 lat (0,384 mg PO₄·dm⁻³, II klasa czystości wg Rozp. z 2004 r.). W latach 1993-2007 najbardziej zanieczyszczonym ciekim pod względem zawartości fosforanów(V) oraz fosforu ogólnego był Kanał Rudzki, który do 1996 r. toczył wody poniżej II klasy czystości (V klasa wg Rozp. z 2004 r.). W 2006 r. parametr ten klasyfikował dopływy Biebrzy do I lub II klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r. II klasa dla Wissy i Kosódki oraz III klasa w przypadku Kanału Rudzkiego i Klimaszewnicy).

Stężenie **tlenu** rozpuszczonego w wodzie, jednego z najważniejszych parametrów jakości wód powierzchniowych, wahało się w latach 1993-2007 w Kanale Rudzkim oraz Wissie w przedziale od ok. 6 do 8 mg O₂·dm⁻³ (I lub II klasa czystości) nie wykazując żadnych długoterminowych tendencji zmian. Tymczasem w Klimaszewnicy oraz Kosódce od 1994 r. zaobserwować można stały spadek wartości tego parametru, w efekcie czego



Rys. 3.21 Wartości BZT₅ w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg O₂·dm⁻³]

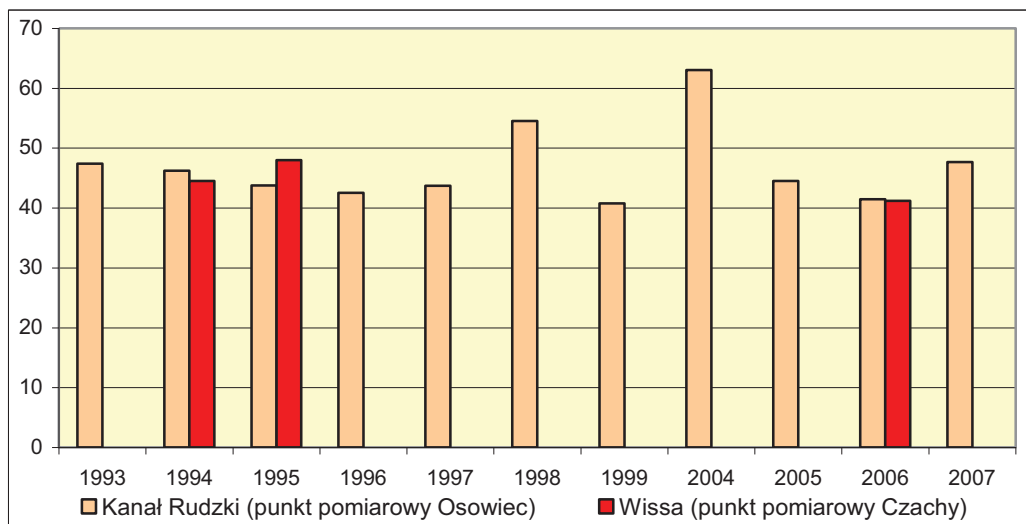


Rys. 3.22 Wartości ChZT-Mn w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg O₂·dm⁻³]

w 2006 r. w ciekach tych zanotowano najniższe od 15 lat stężenie tlenu, tj. w Kosódce 4,05 mg O₂·dm⁻³ – poniżej II klasy czystości (IV klasa wg Rozp. z 2004 r.), natomiast w Klimaszewnicy 5,19 mg O₂·dm⁻³ – II klasa czystości (III klasa wg Rozp. z 2004 r.). Pod względem tego parametru dopływem Biebrzy Dolnej o najniższej jakości w latach 1993-2007 była Kosódka, natomiast najlepiej natlenionym ciekim był Kanał Rudzki.

Pod względem obecności w wodzie związków organicznych łatwo ulegających biodegradacji (wskaźnik **BZT₅**) jakość wód Kanału Rudzkiego oraz Wissy uległa w latach 1993-2007 zdecydowanej poprawie, choć jednocześnie od 2005 r. wartość BZT₅ w Kanale Rudzkim stale wzrasta, w wyniku czego jakość jego wód w 2007 r. kwalifikowała się do II klasy czystości (III klasy wg Rozp. z 2004 r.). W okresie pomiarowym 1994-2006 stężenia BZT₅ zaobserwowane w Kosódce utrzymywały się na poziomie 4-5 mg O₂·dm⁻³, czyli II klasy czystości (III klasy wg Rozp. z 2004 r.), natomiast w Klimaszewnicy nastąpił wyraźny wzrost wartości tego parametru w stosunku do I połowy lat 90. XX w. Przez całe lata 90. XX w. najbardziej zanieczyszczonym dopływem Biebrzy pod względem stężeń BZT₅ był Kanał Rudzki, jednak w 2006 r. na prowadzenie wysunęła się Klimaszewnica. W 2006 r. stężenia BZT₅ klasyfikowały dopływy Biebrzy do I klasy (Kanał Rudzki, Wissa) lub do II klasy czystości (Klimaszewnica, Kosódka) (odpowiednio II i III klasy wg Rozp. z 2004 r.).

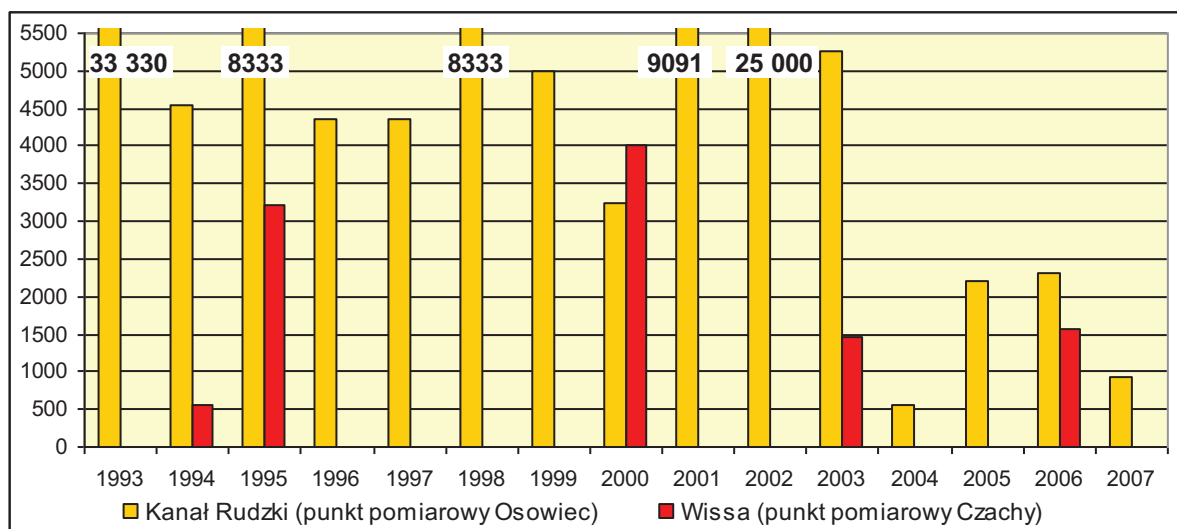
Stężenia związków organicznych trudno ulegających biodegradacji wykazują w latach 1993-2007 albo wyraźną tendencję wzrostową (wskaźnik **ChZT-Mn** dla Wissy i Klimaszewnicy oraz wskaźnik **ChZT-Cr** dla Klimaszewnicy) albo utrzymują się na stałym, wysokim poziomie (**ChZT-Mn** dla Kanału Rudzkiego, **ChZT-Cr** dla Kosódki, Wissy i Kanału Rudzkiego) klasyfikującym wody powierzchniowe dopływów Biebrzy Dolnej do niskiej jakości, tzn. poniżej II klasy czystości (IV-V klasa wg Rozp. z 2004 r.). Zaobserwowane w 2006 r. wartości ChZT-Mn w Klimaszewnicy (30,53 mg O₂·dm⁻³) i Wissie (17,78 mg O₂·dm⁻³) oraz wartości ChZT-Cr w Kosódce (70,73 mg O₂·dm⁻³) i Klimaszewnicy (62,84 mg O₂·dm⁻³) były najwyższe w ciągu ostatnich 15 lat, w efekcie czego parametr ten klasyfikował dopływy



Rys. 3.23 Wartości ChZT-Cr w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [mg O₂·dm⁻³]

Biebrzy poniżej II klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r. była to IV klasa w przypadku Kanału Rudzkiego i Wissy oraz V klasa w przypadku Klimaszewnicy i Kosódki). Pod względem zawartości związków organicznych trudno ulegających biodegradacji najbardziej zanieczyszczonymi dopływami Biebrzy w okresie 1993-2007 były Klimaszewnica oraz Kosódka.

Biorąc pod uwagę stan sanitarny (wskaźnik zanieczyszczenia **bakteriami *Coli* typu fekalnego**) czystość wód Kanału Rudzkiego, Wissy oraz Kosódki uległa w latach 2004-2007 wyraźnej poprawie w stosunku do wcześniejszego okresu, zjawisko to jest szczególnie widoczne w przypadku Kanału Rudzkiego, w którym wartości tego parametru notowane w latach 2004-2007 były kilka lub nawet kilkanaście razy mniejsze niż w latach 90. XX w. Mimo zdecydowanej poprawy parametry mikrobiologiczne nadal klasyfikują obydwie ciekę do III-IV klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.). W przypadku Klimaszewnicy obserwuje się od 1994 r.



Rys. 3.24 Ilość bakterii *Coli* typu fekalnego w dopływach Biebrzy w latach 1993-2007 [w 100 ml wody]

stały wzrost ilości bakterii *Coli*, w wyniku czego jakość jej wód spadła w 2006 r. do IV klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.) osiągając poziom 11 000 bakterii w 100 ml wody – najwyższe stężenie zanotowane w tym cieku od 15 lat. W latach 1993-2007 najbardziej zanieczyszczonym dopływem Biebrzy pod względem obecności bakterii *Coli* był Kanał Rudzki, który do 2003 r. toczył wody IV lub V klasy czystości (wg Rozp. z 2004 r.). W 2006 r. obecność bakterii *Coli* typu fekalnego klasyfikowała dopływy Biebrzy (wg Rozp. z 2004 r.) do III klasy (Wissa, Kosódka) lub do IV klasy czystości (Kanał Rudzki, Klimaszewnica).

3.4.3 Podsumowanie i wnioski

Analiza i ocena poszczególnych wskaźników jakości w latach 1993-2007 wskazuje, że na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy występuje problem zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Obserwując zmiany, jakie zaszły w Basenie Dolnym w ciągu ostatnich 15 lat należy obiektywnie stwierdzić, że pod wieloma względami czystość środowiska wodnego uległa poprawie, widoczny jest m. in. spadek stężeń:

- związków fosforu w Biebrzy,
- amoniaku w Biebrzy, Kanale Rudzkim, Kosódce i Wissie,
- azotanów(V) w Klimaszewnicy i Kosódce,
- zw. organicznych szybko ulegających biodegradacji w Biebrzy, Kanale Rudzkim i Wissie,
- zanieczyszczeń mikrobiologicznych w K. Rudzkim, Wissie i Kosódce.

Poprawa czystości wód jest najbardziej widoczna w przypadku Kanału Rudzkiego, którego obecna jakość, tj. II klasa czystości w latach 2006-2007 (III klasa wg Rozp. z 2004 r.) jest znacznie wyższa niż w latach 90. XX w. Równocześnie jednak zauważalne są negatywne zjawiska o poważnych dla środowiska wodnego konsekwencjach, z których część pojawiła się lub nasiliła w ciągu ostatnich lat, wymienić tu można m. in.:

- spadek stężenia tlenu rozpuszczonego w Biebrzy, Klimaszewnicy i Kosódce,
- wzrost stężeń azotanów(III) oraz azotu organicznego w Biebrzy, Wissie, Klimaszewnicy i Kosódce,
- wzrost stężeń związków fosforu i azotu w Wissie,
- wzrost stężeń związków organicznych wolno ulegających biodegradacji w Biebrzy, Kanale Rudzkim, Klimaszewnicy i Wissie.

Wyraźne pogorszenie czystości wód nastąpiło w trzech spośród czterech dopływów Biebrzy Dolnej, tj. w Klimaszewnicy, Kosódce oraz Wissie. Największy spadek jakości wód powierzchniowych w stosunku do lat 90. XX w. obserwuje się w Klimaszewnicy oraz w Kosódce zakwalifikowanych w 2006 r. poniżej II klasy czystości (IV klasa wg Rozp. z 2004 r.), ale równie negatywne procesy zachodzą też w Wissie przydzielonej w 2006 r. do II klasy czystości (III klasa wg Rozp. z 2004 r.). Pomimo bezspornego faktu poprawy wielu parametrów jakościowych (w stosunku do lat 90. XX w.) obecna czystość wód Biebrzy Dolnej na odcinku od miejscowości Osowiec aż po m. Burzyn nie napawa optymizmem, gdyż kwalifikuje się do II lub poniżej II klasy czystości (III lub IV klasa wg Rozp. z 2004 r.).

Decydujący wpływ na obniżenie jakości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy mają obecnie takie czynniki jak: niskie stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie, wzrastająca ilość związków azotu (głównie azotany(III), azot organiczny), nadmierna ilość związków organicznych (w szczególności wolno ulegających biodegradacji) oraz obecność bakterii *Coli* typu fekalnego. Jednym z najważniejszych czynników wpływających na jakość

Tabela 3.3 Charakterystyka zbiorcza zmian jakości wód powierzchniowych w poszczególnych ciekach Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007

Rzeka		Procesy zachodzące w rzece w okresie 1993-2007		Końcowa ocena rzeki
Biebrza	p. p. Osowiec	Pozytywne Spadek stężeń substancji biogennych, tj. amoniaku, azotanów(III), fosforanów(V) Spadek stężeń związków organicznych szybko ulegających biodegradacji	Negatywne Wzrost stężeń substancji biogennych, tj. azotu organicznego Spadek stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie Wzrost stężeń związków organicznych wolno ulegających biodegradacji	Poprawa/ pogorszenie jakości wód
	p. p. Burzyn	Pozytywne Spadek stężeń substancji biogennych, tj. amoniaku, fosforanów(V), fosforu ogólnego Spadek stężeń związków organicznych szybko ulegających biodegradacji Spadek stężeń zanieczyszczeń mikrobiologicznych	Negatywne Wzrost stężeń substancji biogennych, tj. azotanów(III) Spadek stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie Wzrost stężeń związków organicznych wolno ulegających biodegradacji	Poprawa/ pogorszenie jakości wód
Kanał Rudzki (Osowiec)		Pozytywne		Znaczna poprawa jakości wód
		Negatywne Spadek stężeń substancji biogennych, tj. amoniaku, azotanów(III), azotu organicznego, azotu ogólnego, fosforanów(V), fosforu ogólnego Spadek stężeń zw. organicznych szybko ulegających biodegradacji Spadek stężeń zanieczyszczeń mikrobiologicznych		
Klimaszewnica (Klimaszewnica)		Pozytywne Spadek stężeń substancji biogennych, tj. azotanów(V)	Negatywne Wzrost stężeń substancji biogennych, tj. azotanów(III), azotu organicznego Spadek stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie Wzrost stężeń związków organicznych szybko ulegających biodegradacji Wzrost stężeń związków organicznych wolno ulegających biodegradacji Wzrost stężeń zanieczyszczeń mikrobiologicznych	Znaczne pogorszenie jakości wód
Kosódka (Dobarz)		Pozytywne Spadek stężeń substancji biogennych, tj. azotanów(V), amoniaku Spadek stężeń zanieczyszczeń mikrobiologicznych	Negatywne Wzrost stężeń substancji biogennych, tj. azotanów(III), azotu organicznego Spadek stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie	Pogorszenie jakości wód
Wissa (Czachy)		Pozytywne Spadek stężeń substancji biogennych, tj. amoniaku Spadek stężeń zw. organicznych szybko ulegających biodegradacji Spadek stężeń zanieczyszczeń mikrobiologicznych	Negatywne Wzrost stężeń substancji biogennych, tj. azotanów(V), azotanów(III), azotu organicznego, azotu ogólnego, fosforanów(V) Wzrost stężeń związków organicznych wolno ulegających biodegradacji	Pogorszenie jakości wód

Źródło danych: Inspekcja Ochrony Środowiska. Opracowanie własne.

środowiska wodnego Basenu Dolnego jest spadek stężenia tlenu w Biebrzy i jej niektórych dopływach. W 2006 r. w Biebrzy (p. p. Burzyn) oraz Kosódce nie zostały spełnione wymagania tlenowe (w 50% próbek wody stężenie tlenu musi być $\geq 8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) dla wód śródlądowych będących środowiskiem życia ryb karpioatych oraz drapieżnych, takich jak szczupak, okoń czy węgorz (Rozporządzenie 2002a).

Niepokojący jest również rosnący wpływ na jakość wód powierzchniowych związków azotu, w szczególności azotanów(III) uważanych w świetle polskiego prawa za substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego (Rozporządzenie 2006). W latach 2006-2007 w Biebrzy Dolnej oraz jej wszystkich dopływach nie zostały spełnione wymagania co do maksymalnego, dopuszczalnego stężenia azotanów(III) ($0,03 \text{ mg NO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) dla wód śródlądowych będących środowiskiem życia ryb karpioatych (Rozporządzenie 2002a), w tym w Biebrzy i Kanale Rudzkim dopuszczalne stężenie zostało przekroczone dwukrotnie, natomiast w Klimaszewnicy, Wissie i Kosódce nawet cztero- i ośmiokrotnie. Podobnie w latach 2006-2007 w Biebrzy, Kanale Rudzkim, Wissie oraz Klimaszewnicy nie zostały

Tabela 3.4 Klasy czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 2006-2007 w pięciostopniowej skali od I do V (Rozporządzenie 2004a)

Parametr jakości		Rzeka (punkt pomiarowy)									
		Biebrza				K. Rudzki (Osowiec)	Klimaszewnica (Klimaszewnica)	Kosódka (Dobarz)	Wissa (Czachy)		
		Osowiec		Burzyn							
		Klasy jakości w roku									
		2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2006	2006	
Biogeny	Azotany(V)	II	II	I	II	II	II	II	II	II	
	Amoniak	I	I	I	I	I	I	II	II	I	
	Azotany(III)	II	II	II	II	II	II	III	III	III	
	Azot Kjeldahla	III	III	III	III	III	III	IV	IV	III	
	Azot ogólny	I	II	I	I	II	II	II	II	II	
	Fosforany(V)	I	II	II	II	III	II	III	II	II	
	Fosfor ogólny	II	I	I	I	I	II	II	I	I	
Tlen rozpuszczony		II	III	II	IV	I	II	III	IV	III	
Zw. organiczne	BZT ₅	II	II	II	II	II	III	III	III	II	
	ChZT-Mn	IV	IV	IV	IV	IV	IV	V	IV	IV	
	ChZT-Cr	IV	V	IV	IV	IV	IV	V	V	IV	
	Ogólny węgiel organiczny	–	IV	IV	IV	III	III	–	–	–	
Ilość bakterii <i>Coli</i> typu fekalnego		III	III	III	II	IV	III	IV	III	III	
Klasa jakości próbki		III	III	III	IV	III	III	IV	IV	III	

Źródło danych: Inspekcja Ochrony Środowiska. Opracowanie własne.

Tabela 3.5 Klasy czystości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 2006-2007 w pięciostopniowej (identycznej jak w tab. 3.4) skali od I do V (Rozporządzenie 2008)

Parametr jakości		Rzeka (punkt pomiarowy)								
		Biebrza				K. Rudzki (Osowiec)	Klimaszewnica (Klimaszewnica)	Kosódka (Dobarz)	Wissa (Czachy)	
		Osowiec		Burzyn						
		Klasy jakości w roku								
		2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2006	2006
Biogeny	Azotany(V)	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	Amoniak	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	Azotany(III)	Wg rozporządzenia wskaźnik nie uwzględniany w klasyfikacji								
	Azot Kjeldahla	II	II	II	II	II	II	PII	PII	II
	Azot ogólny	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	Fosforany(V)	Wg rozporządzenia wskaźnik nie uwzględniany w klasyfikacji								
	Fosfor ogólny	II	I	I	I	I	II	II	I	I
Tlen rozpuszczony		II	II	II	PII	I	II	II	PII	II
Zw. organiczne	BZT ₅	I	I	I	I	I	II	II	II	I
	ChZT-Mn	PII								
	ChZT-Cr	PII								
	Ogólny węgiel organiczny	-	PII	PII	PII	II	II	-	-	-
Ilość bakterii <i>Coli</i> typu fekalnego		Wg rozporządzenia wskaźnik nie uwzględniany w klasyfikacji								
Klasa jakości próbek		Poniżej II klasy (PII)								

Źródło danych: Inspekcja Ochrony Środowiska. Opracowanie własne.

UWAGA: Rozporządzenie nie podaje wartości progowych dla klas III, IV i V, więc klasa III, IV i V = „Poniżej II klasy” = **PII**

spełnione wymagania co do maksymalnego, dopuszczalnego stężenia w wodzie fosforu ogólnego (0,4 mg PO₄·dm⁻³) dla wód śródlądowych będących środowiskiem życia ryb karpowatych oraz drapieżnych (Rozporządzenie 2002a), w tym w Biebrzy (Osowiec, 2006 r.) oraz w Kanale Rudzkim (2007 r.) dopuszczalne stężenie zostało przekroczone niemal dwukrotnie.

Wnioski, jakie nasuwają się z powyższych analiz:

- wody powierzchniowe Basenu Dolnego są umiarkowanie zanieczyszczone, w największym stopniu Klimaszewnica i Kosódka, w następnej kolejności Kanał Rudzki, Biebrza i Wissa;
- największy wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego mają niskie stężenia tlenu rozpuszczonego, wysokie stężenia azotanów(III), azotu organicznego oraz fosforu ogólnego, z powodu których w latach 2006-2007 żadna z rzek Basenu Dolnego nie spełniała warunków niezbędnych dla życia ryb karpowatych oraz drapieżnych, takich jak szczupak, okoń czy węgorz;

- spadek stężeń związków organicznych szybko ulegających biodegradacji (BZT_5) oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych może świadczyć o coraz mniejszym zanieczyszczaniu Basenu Dolnego ściekami bytowymi, jednak przeczy temu wzrastająca ilość azotu organicznego oraz azotanów(III);
- gwałtowne zmiany jakości wody w poszczególnych punktach pomiarowych (dla kolejnych lat) mogą wskazywać na nielegalne zrzuty ścieków, nieprawidłową pracę oczyszczalni ścieków zlokalizowanych w zlewni Basenu Dolnego albo na pojawiające się okresowo dodatkowe, dotąd niezidentyfikowane źródła zanieczyszczeń, np. wiejskie jednostki osadnicze lub źródła obszarowe;
- malejące stężenie tlenu w Biebrzy i jej dopływach (pomimo spadku wartości BZT_5 odpowiedzialnego zazwyczaj za największe zużycie tlenu w wodzie) może być spowodowane wzrastającym stężeniem azotanów(III) (na skutek utleniania się tych związków do azotanów(V) w procesie nityfikacji), wzrastającym stężeniem związków organicznych wolno ulegających biodegradacji albo procesami konsumującymi tlen zachodzącymi w osadach dennych;
- wzrastająca ilość azotanów(III) w samej Biebrzy nie musi pochodzić ze źródeł antropogenicznych, może być skutkiem przyspieszenia w ciągu ostatnich lat procesu mineralizacji torfowisk, z których te związki przedostają się do rzeki za pośrednictwem wód gruntowych;
- pogarszające się warunki bytowania w Biebrzy ryb (w szczególności w okresie letnim) mogą prowadzić do zmian składu gatunkowego tutejszej ichtiofauny (dominacja gatunków odpornych na zanieczyszczenia i niskie stężenie tlenu, stopniowe wypieranie gatunków wrażliwych, spadek różnorodności gatunkowej) oraz spadku liczebności poszczególnych populacji;
- wzrastająca ilość związków azotu w Biebrzy i jej dopływach oraz związków fosforu w Wissie może wpływać na zmianę składu gatunkowego roślinności mokradłowej występującej wzdłuż Biebrzy (dominacja gatunków odpornych na zanieczyszczenia, stopniowe wypieranie gatunków wrażliwych, spadek różnorodności gatunkowej);
- wzrastająca ilość związków azotu w Biebrzy oraz jej dopływach, a także związków fosforu w Wissie może w przyszłości (przy utrzymaniu się obecnych tendencji) doprowadzić do nadmiernej eutrofizacji wód powierzchniowych Basenu Dolnego, dotyczy to w szczególności miejsc położonych poza głównym nurtem rzeczny, tj. starorzeczy oraz płytkich rozlewisk.

Wielką niewiadomą jest odpowiedź na pytanie, jakie zjawiska i procesy zachodzą w Biebrzy pomiędzy punktami monitoringowymi Inspekcji Ochrony Środowiska, czyli na całym odcinku od miejscowości Osowiec aż po m. Burzyn (ok. 50 km długości), w jakim stopniu poszczególne dopływy wpływają na stan czystości całej Biebrzy Dolnej oraz jaki jest rzeczywisty stan środowiska wodnego Basenu Dolnego. Najlepszą metodą na uzyskanie odpowiedzi na tak postawione pytania jest skonstruowanie modelu matematycznego Biebrzy

uwzględniającego zarówno przepływ wody jak i też transport zanieczyszczeń. Wprowadzając do takiego modelu dane rzeczywiste pochodzące z pomiarów terenowych można będzie przeprowadzić symulacje komputerowe imitujące funkcjonowanie ekosystemu Biebrzy Dolnej. Bez dokładnych badań modelowych mających na celu określenie dopuszczalnych ładunków zanieczyszczeń naturalnych i antropogenicznych, jakie z poszczególnych źródeł Biebrza może wchłonąć i zneutralizować bez istotnego pogorszenia jej jakości, Basen Dolny może w przyszłości ulec niekontrolowanemu zanieczyszczeniu i nadmiernemu użyczeniu.

3.5 Stan czystości osadów rzecznych Basenu Dolnego w latach 1993-2006

Ocenę jakości osadów rzecznych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy dokonano na podstawie kryteriów opracowanych dla warunków polskich w oparciu o standardy funkcjonujące w krajach Unii Europejskiej, Stanach Zjednoczonych oraz Kanadzie (Bojakowska 2001). Przyjmuje się istnienie następujących klas czystości osadów dennych:

- I klasa – osady naturalne,
- II klasa – osady umiarkowanie zanieczyszczone,
- III klasa – osady zanieczyszczone,
- IV klasa – osady bardzo zanieczyszczone.

Przedstawione dane pochodzą z monitoringu geochemicznego osadów dennych prowadzonego (w ramach sieci krajowej) przez Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie. Na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy znajduje się tylko jeden punkt pomiarowy (w miejscowości Wierciszewo znajdującej się tuż powyżej ujścia Biebrzy do Narwi), skąd próbki osadów pobierane są z częstotliwością raz w roku (w lipcu bądź w sierpniu). Dodatkowym źródłem danych są wyniki monitoringu geochemicznego osadów dennych prowadzonego na rzece Ełk (której przedłużeniem jest Kanał Rudzki) w punkcie pomiarowym Szymany, znajdującym się już poza granicami Biebrzańskiego Parku Narodowego.

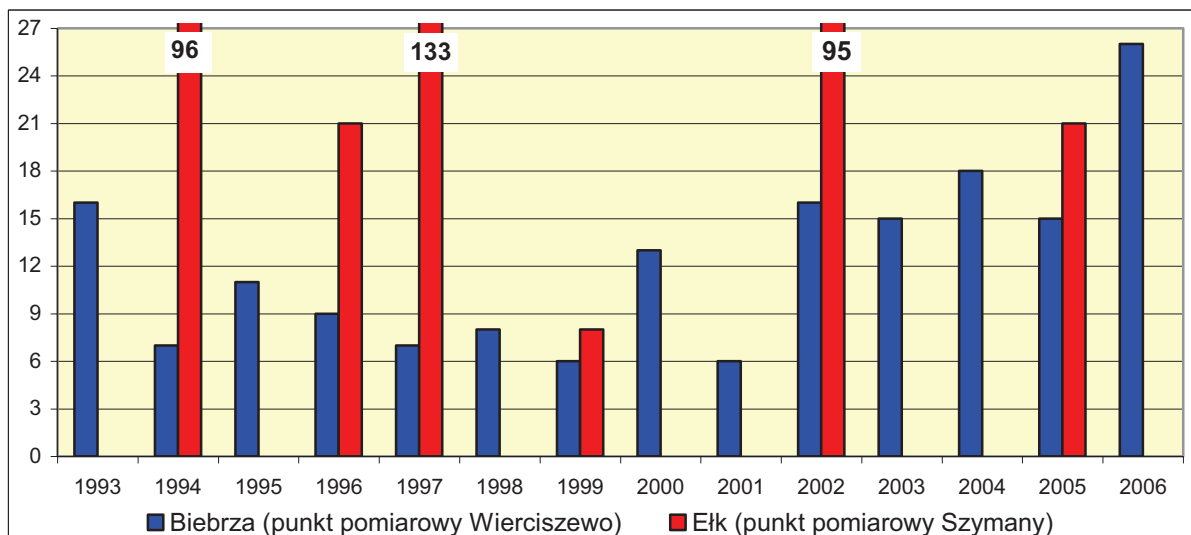
3.5.1 Analiza i ocena wyników monitoringu geochemicznego osadów rzecznych

Pod względem zawartości metali ciężkich, składników najbardziej niepożądanych, osady denne Biebrzy należy uznać za naturalne (I klasa czystości). Niepokojącym sygnałem może być jednak (zauważalny od 2000-2002 r.) wzrost zawartości niektórych metali ciężkich, np. cynku oraz chromu. Średnia zawartość chromu w osadach Biebrzy w latach 1993-1999 wynosiła 1 ppm, podczas gdy w latach 2000-2006 już 3,6 ppm (wzrost o 260%). Podobnie średnia zawartość cynku w osadach Biebrzy w latach 1993-2001 wynosiła 9 ppm, podczas gdy w latach 2002-2006 już 18 ppm, co daje wzrost o 100%. Głównym źródłem cynku w osadach Biebrzy wydaje się być Kanał Rudzki, bowiem zawartość tego pierwiastka w osadach Ełku we wszystkich latach pomiarów była zawsze kilkanaście razy większa niż w osadach Biebrzy. W nie zanieczyszczonych osadach dennych zawartość cynku na ogół nie przekracza kilkudziesięciu ppm (Bojakowska, Gliwicz 2003), dlatego też podwyższona zawartość tego pierwiastka w osadach Ełku (95-133 ppm) wskazuje na możliwość zanieczyszczenia w stopniu znacznie przekraczającym tło geochemiczne.

Tablica 3.6 Wyniki badań geochemicznych jakości osadów rzecznych Basenu Dolnego Biebrzy oraz jego otuliny w latach 1993-2006

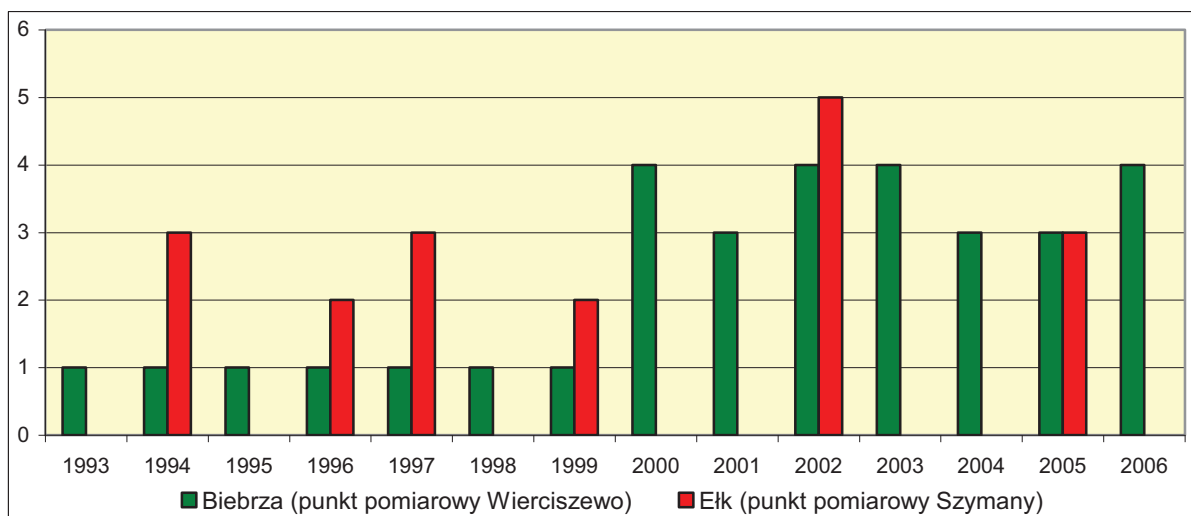
Rzeka	Punkt pomiarowy	Rok	Parametr																			
			ppm													%						
			Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	V	Zn	Mn	WWA	Fe	Ca	Mg	P	S
Biebrza	Wierciszewo	1993	<5	22	<0,5	1	1	2	0,02	2	<5	7	2	16	134		0,33	0,53	0,08	0,037	0,010	0,56
		1994	<5	16	<0,5	1	1	1	0,03	1	<5	7	1	7	230	0,420	0,26	0,48	0,08	0,030	0,010	0,39
		1995	<5	27	<0,5	1	1	1	0,03	1	<5	7	2	11	217		0,40	0,54	0,08	0,048	0,020	0,90
		1996	<5	18	<0,5	1	1	1	0,03	1	<5	6	1	9	149		0,31	0,50	0,07	0,034	0,010	0,48
		1997	<5	19	<0,5	1	1	1	0,03	1	<5	7	2	7	147		0,34	0,52	0,08	0,037	0,020	0,54
		1998	<5	14	<0,5	1	1	1	0,03	1	<5	7	2	8	151		0,30	0,46	0,08	0,029	0,010	0,45
		1999	0,5	15	<0,5	1	1	1	0,03	1	<5	6	2	6	85	0,082	0,27	0,39	0,07	0,027	0,009	0,34
		2000	0,3	44	<0,5	1	4	7	0,008	3	<5	13	6	13	155	0,2475	0,46	0,56	0,10	0,034	0,025	0,47
		2001	0,3	32	<0,5	1	3	4	0,010	1	<5	11	5	6	178	0,045	0,40	0,54	0,10	0,030	0,019	0,43
		2002	0,3	39	<0,5	1	4	2	0,014	2	<5	13	6	16	287	0,119	0,67	0,82	0,14	0,059	0,072	1,77
		2003	0,3	42	<0,5	1	4	2	0,012	2	<5	14	5	15	356	0,108	0,65	0,80	0,12	0,061	0,072	1,44
		2004	0,3	32	<0,5	1	3	2	0,005	2	<5	12	4	18	102		0,34	1,02	0,80	0,120	0,036	0,05
2005	<0,5	50	<0,5	1	3	2	0,010	2	<5	10	5	15	412		0,56	0,66	0,10	0,060	0,104	1,45		
2006	<0,5	42	<0,5	1	4	3	0,014	2	<5	13	5	26	135		0,56	0,81	0,13	0,055	0,054	2,11		
Ełk	Goniądz	1994		2,5	14	0,3	1	2	5	0,03	1	3	13	3	14	126	0,23	1,3	0,22	0,043	0,02	0,57
		1996		2,5	9	0,3	0	1	2	0,03	1	3	9	1	10	49	0,16	1,05	0,17	0,029	0,04	0,28
Ełk	Szymany	1994		<5	25	<0,5	1	3	5	0,03	2	9	16	4	96	146,775	0,35	1,32	0,25	0,055	0,030	2,77
		1996		<5	22	<0,5	1	2	3	0,03	2	5	15	3	21	75	0,22	1,03	0,13	0,049	0,020	0,62
		1997		<5	21	<0,5	1	3	6	0,03	1	6	16	3	133	81	0,26	1,43	0,17	0,058	0,040	2,85
		1999	0,5	6	<0,5	1	2	1	0,03	1	5	11	2	8	32		0,13	1,20	0,13	0,023	0,003	0,18
		2002	0,3	33	<0,5	1	5	7	0,044	3	10	20	7	95	88		0,41	1,69	0,24	0,059	0,113	3,38
2005	<0,5	19	<0,5	1	3	3	0,019	1	<5	14	4	21	75		0,28	1,08	0,14	0,034	0,031	2,44		

Źródło danych: Państwowy Instytut Geologiczny. Opracowanie własne.

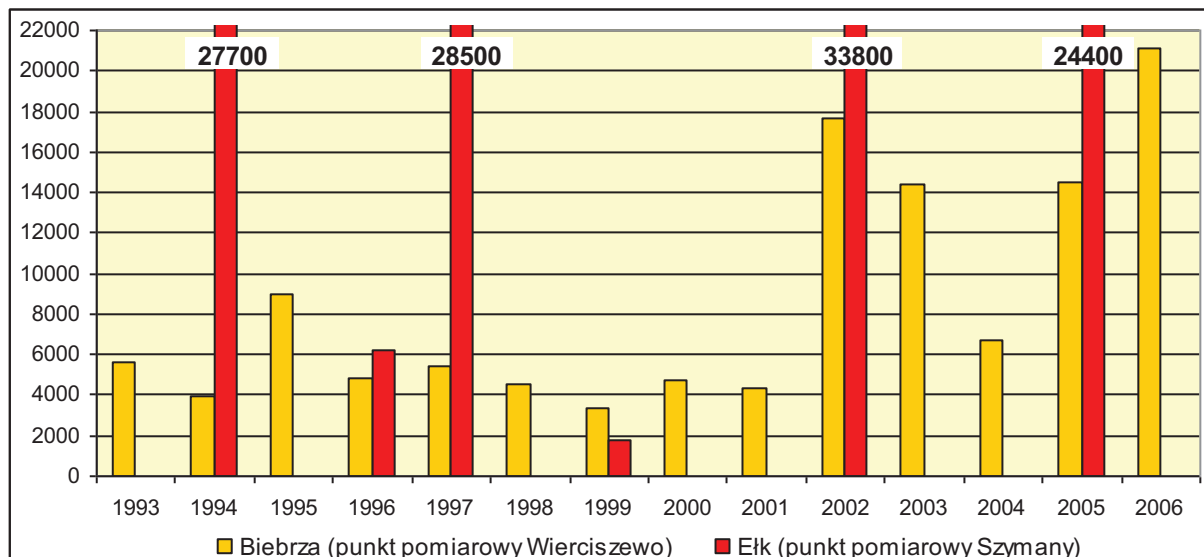


Rys. 3.25 Zawartość cynku w osadach rzecznych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2006 [ppm]

Również w przypadku związków organicznych oraz związków siarki, będących substancjami przyczyniającymi się do znacznego zużycia tlenu (na drodze reakcji biochemicznych) rozpuszczonego w wodzie unoszącej się nad osadami, zauważyć można od 2002 r. znaczny przyrost wartości. Średnia zawartość węgla organicznego w osadach Biebrzy w latach 1993-2001 wynosiła 5067 ppm, podczas gdy w latach 2002-2006 już 14880 ppm, co daje wzrost o 194%. Zjawisko to jest konsekwencją wysokich stężeń związków organicznych w Biebrzy oraz jej dopływach, w szczególności Kanału Rudzkiego, np. średnia zawartość węgla organicznego w osadach Elku w latach 1994-2005 wynosiła 20400 ppm, podczas gdy w osadach Biebrzy (w tym samym okresie czasu) 7775 ppm, czyli niemal trzykrotnie mniej. Średnia zawartość siarki w osadach Biebrzy w latach 1993-2001 wynosiła 148 ppm, podczas gdy w latach 2002-2006 już 676 ppm, co daje wzrost o 357%. Należy zatem przypuszczać, że osady dennie mogą wpływać na pogorszenie jakości wód

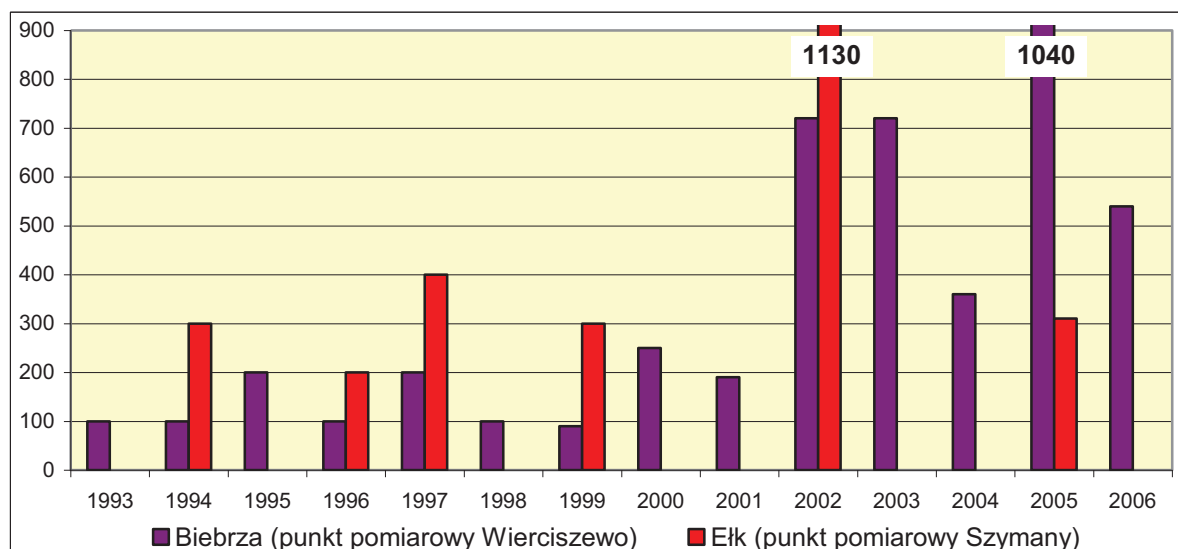


Rys. 3.26 Zawartość chromu w osadach rzecznych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2006 [ppm]

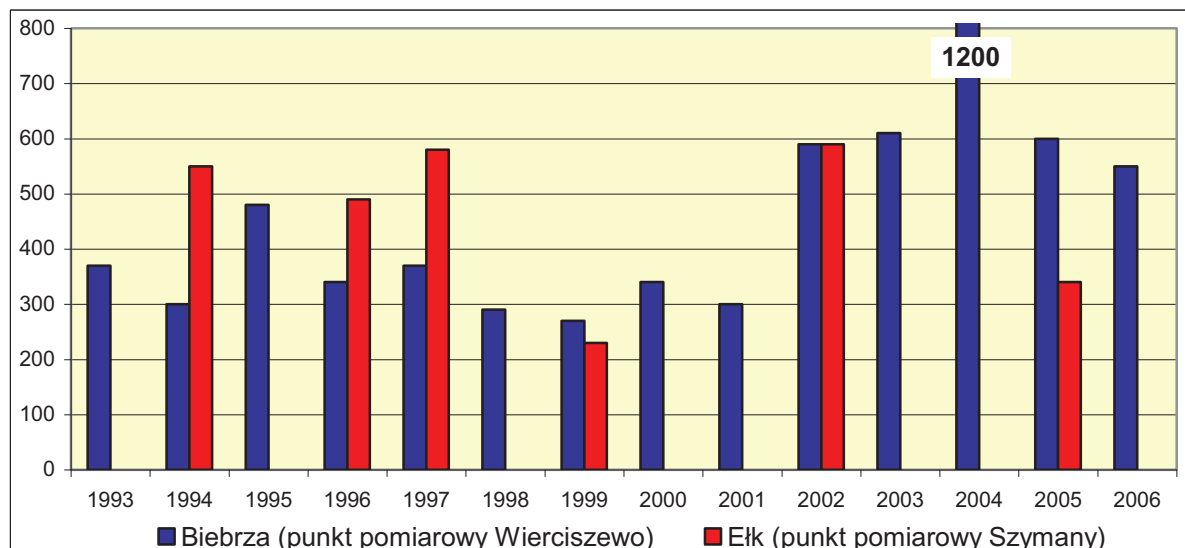


Rys. 3.27 Zawartość całkowitego węgla organicznego (TOC) w osadach rzecznych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2006 [ppm]

powierzchniowych, zarówno poprzez pobieranie z niej tlenu potrzebnego do aerobowego rozkładu związków organicznych oraz np. utleniania się siarczków do siarczanów, jak i też na skutek zasilania wód powierzchniowych produktami beztlenowego rozkładu związków organicznych. Duże ilości węgla organicznego w osadach dennych z pewnością odzwierciedlają niektóre procesy naturalne, takie jak np. sedymentacja obumarłej materii organicznej, ale mogą też wskazywać na podwyższoną zawartość związków organicznych pochodzących ze ścieków. Niestety w Polsce brak jest jakichkolwiek norm prawnych czy wytycznych, które pozwoliłyby uwzględnić powyższe czynniki w całościowej ocenie stanu czystości osadów rzecznych. Pośród wielu związków organicznych występujących w osadach dennych największy wpływ na ich jakość ma obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych uznawanych powszechnie za związki rakotwórcze oraz



Rys. 3.28 Zawartość siarki w osadach rzecznych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2006 [ppm]



Rys. 3.29 Zawartość fosforu w osadach rzecznych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2006 [ppm]

substancje priorytetowe w dziedzinie polityki wodnej (Rozporządzenie 2005). Pod tym względem osady denne Biebrzy również należy zakwalifikować do I klasy czystości. Wielką niewiadomą pozostaje jednak odpowiedź na pytanie jaki jest skład geochemiczny osadów na całej długości 50-cio kilometrowego odcinka Biebrzy Dolnej, a zwłaszcza co dzieje się poniżej ujścia Kanału Rudzkiego. Niepokój jest uzasadniony, bowiem osady Ełku były dotychczas badane na zawartość WWA tylko raz, w 1994 roku i otrzymany wynik (146,77 ppm) zakwalifikował je do najgorszej IV klasy jakości (osady bardzo zanieczyszczone). Stwierdzono obecność benzo(a)pirenu oraz benzo(a)fluorantenu będących związkami o działaniu silnie rakotwórczym. Ponieważ wyniki monitoringu jakości wód powierzchniowych wyraźnie pokazują, że Kanał Rudzki (Ełk) wciąż jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych dopływów Biebrzy na obszarze Basenu Dolnego należy przypuszczać, że jego negatywny wpływ na jakość osadów dennych Biebrzy również jest niebagatelny.

Ostatnim, ale bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na jakość osadów rzecznych jest obecność w nich biogenów, zwłaszcza azotu i fosforu. Badania monitoringowe prowadzone na terenie naszego kraju obejmują tylko oznaczanie zawartości fosforu w osadach dennych, nie uwzględniając w ogóle azotu, którego w wodach powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy jest nadmiernie dużo, co pozwala przypuszczać, że również w osadach pierwiastek ten występuje w nadmiarze. Wyniki monitoringu geochemicznego osadów rzecznych pokazują wyraźny wzrost zawartości fosforu w osadach dennych Biebrzy Dolnej począwszy od roku 2002 r., średnia zawartość tego pierwiastka w latach 1993-2001 wynosiła 340 ppm, podczas gdy w latach 2002-2006 już 710 ppm, co daje wzrost o 109%. Warto podkreślić, że badania geochemiczne osadów były prowadzone w szczycie sezonu wegetacyjnego (lipiec, sierpień), kiedy to znaczne ilości fosforu znajdującego się w rzece są wbudowane w komórki roślinności wodnej. Należy zatem przypuszczać, że w okresie

jesiennie-zimowym zawartość fosforu w osadach dennych jeszcze wrasta, gdyż obumarłe organizmy, głównie rośliny, opadają na dno cieków i ulegają rozkładowi. Również w przypadku składników pokarmowych brak jest jakichkolwiek norm i regulacji prawnych pozwalających ocenić stan czystości osadów rzecznych uwzględniając obecność w nich nadmiernej ilości biogenów.

3.5.2 Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza wskazuje, że pod wieloma względami osady rzeczne Basenu Dolnego Biebrzy nie wykazują zanieczyszczenia antropogenicznego. Formalnie rzecz biorąc należy je zakwalifikować do I klasy czystości, niemniej jednak zdrowy rozsądek podpowiada, że ze względu na zbyt małą ilość danych (tylko jeden punkt pomiarowy przypadający na 50 km koryta Biebrzy) takie wnioski są mało wiarygodne. Dodatkowe dane pochodzące z monitoringu jakości osadów Ełku wskazują, że osady Biebrzy Dolnej mogą być (na niektórych odcinkach) bardziej zanieczyszczone niż wynikałoby to z analizy danych uzyskanych z jednego punktu pomiarowego. Problemem jest również brak odpowiednich rozporządzeń i norm, które uwzględniałyby szeroki wachlarz parametrów wpływających na końcową ocenę jakości osadów rzecznych oraz ich oddziaływanie na ekosystemy wodne. W chwili obecnej nie można jednoznacznie określić stopnia oddziaływania osadów dennych Basenu Dolnego na jakość wód powierzchniowych Biebrzy, niemniej jednak przedstawione dane wskazują, że ważnym czynnikiem wpływającym na jakość wód powierzchniowych Biebrzy może być obecność w osadach rzecznych znacznych ilości fosforu, związków organicznych oraz siarki przyczyniających się do ubytków tlenu w strefie przydennej. Problem ten może dotyczyć w szczególności odcinków Biebrzy znajdujących się poniżej ujść zanieczyszczających ją dopływów.

3.6 Stan czystości wód gruntowych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1994-2004

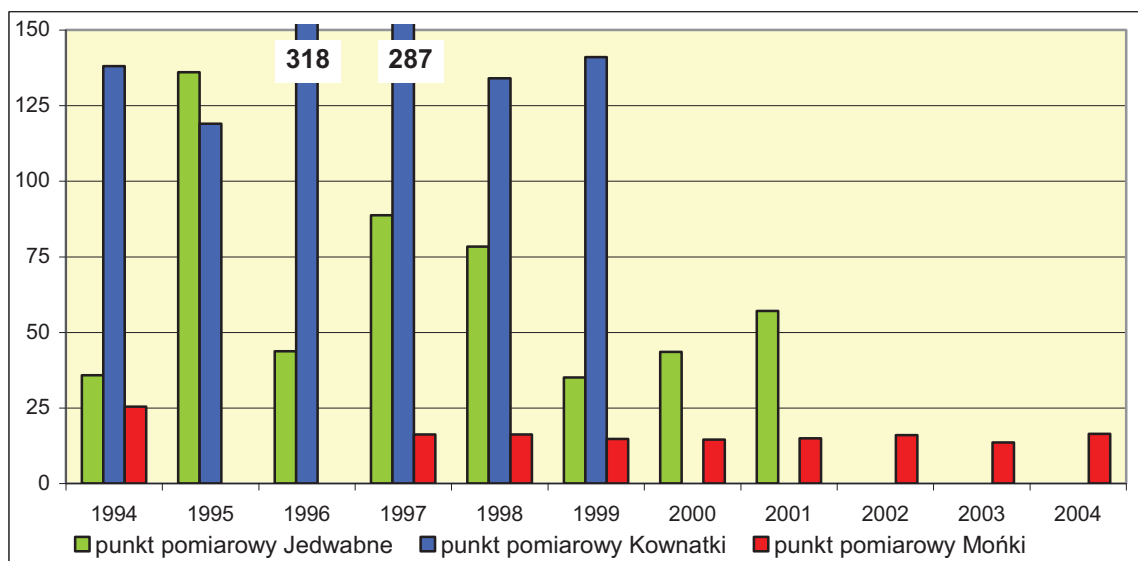
Stan czystości wód gruntowych Basenu Dolnego Biebrzy został opracowany na podstawie danych uzyskanych z dwóch źródeł. Pierwszym jest monitoring jakości wód gruntowych prowadzony na obrzeżach Biebrzańskiego Parku Narodowego przez Państwowy Instytut Geologiczny. W latach 1994-2004 w ramach sieci monitoringu krajowego prowadzono badania w trzech punktach pomiarowych zlokalizowanych na terenach osadniczych wysoczyzny wschodniej (punkt pomiarowy Mońki, badany do 2004 r.) oraz wysoczyzny zachodniej (p. p. Jedwabne do 2001 r., p. p. Kownatki do 1999 r.). Próbkę wody pobierane były z częstotliwością raz w roku ze studni wierconych (eksploatacyjnych lub badawczych), w których poziom zwierciadła wody znajdował się od kilku do kilkunastu metrów poniżej powierzchni gruntu.

Przyjmuje się istnienie następujących klas czystości wód gruntowych (Rozporządzenie 2004a):

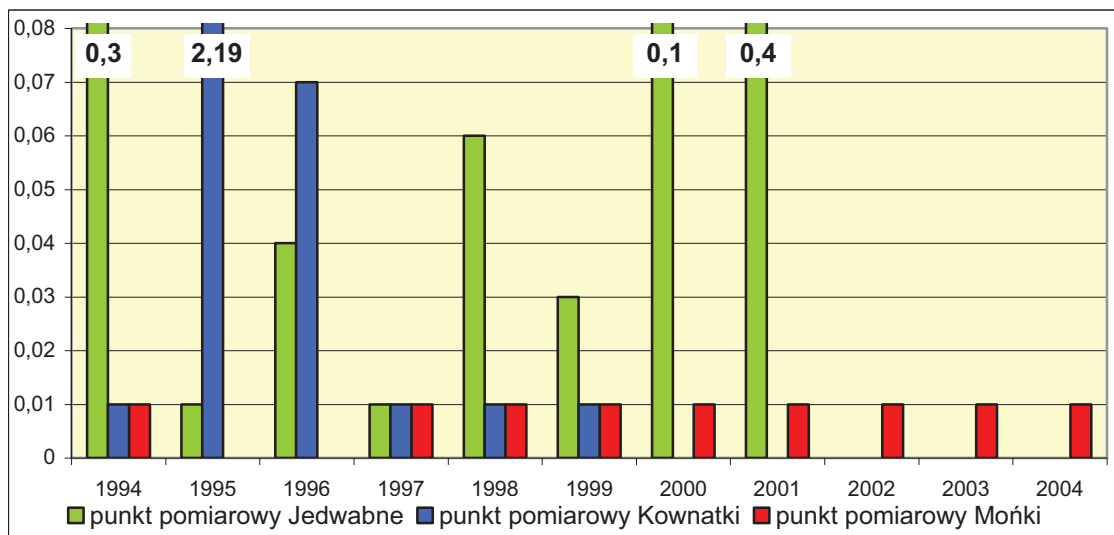
- I klasa – wody bardzo dobrej jakości, w których wartości wskaźników jakości są kształtowane jedynie w efekcie naturalnych procesów zachodzących w warstwie wodonośnej;
- II klasa – wody dobrej jakości, w których wartości wskaźników jakości nie wskazują na oddziaływania antropogeniczne;
- III klasa – wody zadowalającej jakości, w których wartości wskaźników jakości są podwyższone w wyniku naturalnych procesów lub słabego oddziaływania antropogenicznego;
- IV klasa – wody niezadowalającej jakości, w których wartości wskaźników jakości są podwyższone w wyniku naturalnych procesów oraz słabego oddziaływania antropogenicznego;
- V klasa – wody złej jakości, w których wartości wskaźników jakości potwierdzają oddziaływania antropogeniczne.

3.6.1 Wyniki monitoringu jakości wód gruntowych wysoczyzn Basenu Dolnego

Stężenia azotanów(V) oscylowały w latach 1994-2004 w przedziale od 13,52 do 318 mg $\text{NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ wykazując duże zróżnicowanie w zależności od miejsca poboru próbek oraz roku pomiarowego. Najwyższe stężenia zanotowano w p. p. Kownatki (od 119 do 318 mg $\text{NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, V klasa czystości), w następnej kolejności znalazł się p. p. Jedwabne (od 35 do 136 mg $\text{NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, przeważnie III-IV klasa) oraz p. p. Mońki (od 13,5 do 25,4 mg $\text{NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, II klasa), przy czym ten ostatni charakteryzował się najmniejszą zmiennością stężeń. Identyczne warunki miały miejsce w przypadku azotanów(III), których stężenia w latach

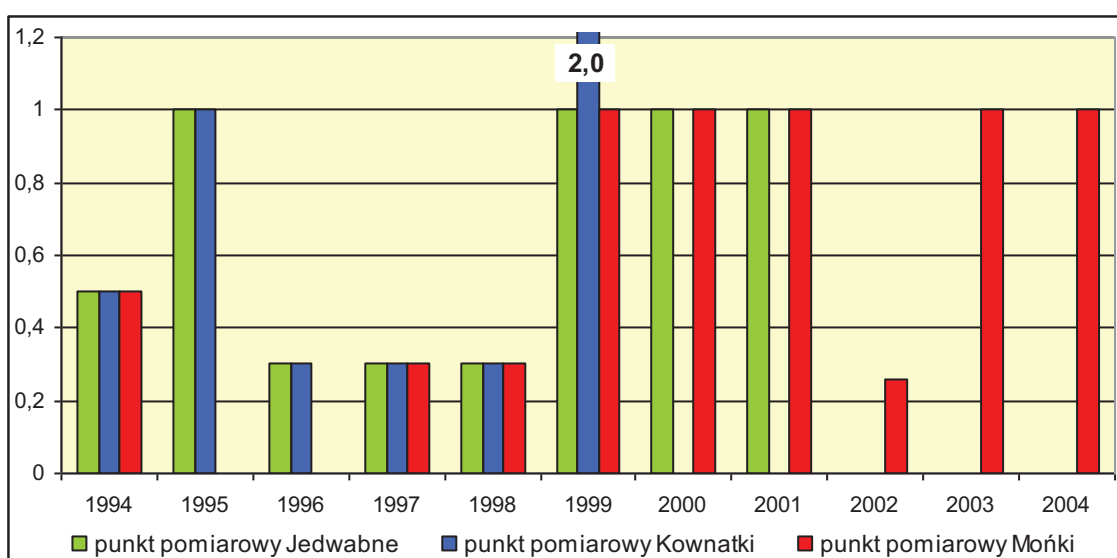


Rys. 3.30 Stężenia azotanów(V) w wodach gruntowych wysoczyzn Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1994-2004 [mg $\text{NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$]

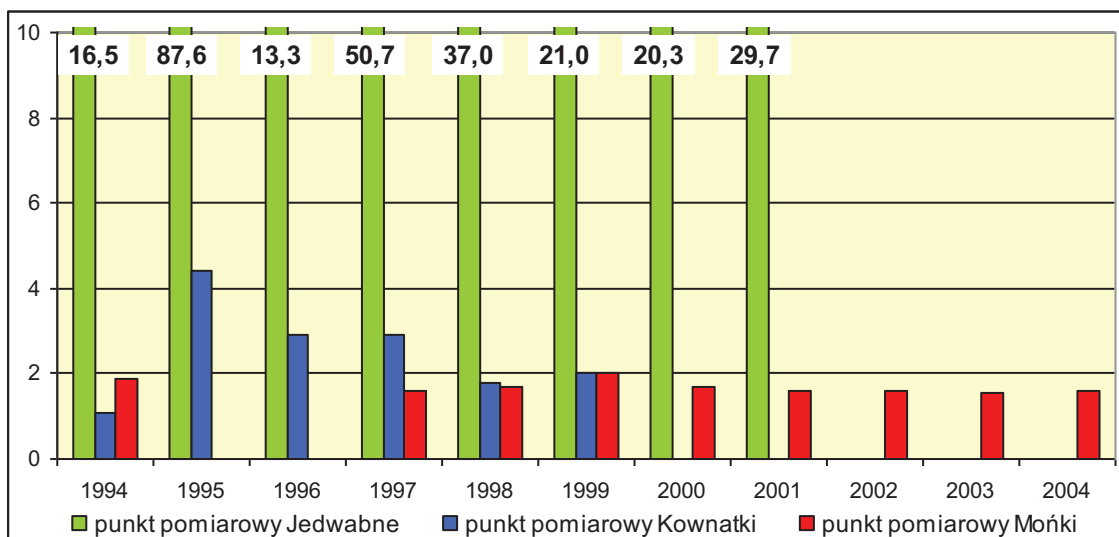


Rys. 3.31 Stężenia azotanów(III) w wodach gruntowych wysoczyzn Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1994-2004 [mg NO₃·dm⁻³]

1994-2004 wahały się w granicach od 0,01 do 2,19 mg NO₂·dm⁻³. Najwyższe wartości zanotowano w p. p. Kownatki (V klasa czystości w 1995 r., niemal 8-krotne przekroczenie dopuszczalnych norm) oraz w p. p. Jedwabne (od 0,01 do 0,49 mg NO₂·dm⁻³, przeważnie III-V klasa). W p. p. Mońki przez cały okres pomiarowy stężenia azotanów(III) klasyfikowały jakość wód gruntowych do I klasy czystości. W latach 1994-2004 we wszystkich punktach pomiarowych stężenia fosforanów(V) klasyfikowały badane próbki wód najczęściej do III klasy czystości oscylując w przedziale od 0,3 do 2 mg PO₄·dm⁻³ (jedynie w 1999 r. w p. p. Kownatki stwierdzono IV klasę). Pod względem obecności potasu najniższe stężenia w latach 1994-2004 zanotowano w p. p. Mońki (od 1,52 do 2 mg K·dm⁻³, I klasa czystości), natomiast najwyższe w p. p. Jedwabne (od 13,3 do 87,6 mg K·dm⁻³, IV-V klasa).



Rys. 3.32 Stężenia fosforanów(V) w wodach gruntowych wysoczyzn Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1994-2004 [mg PO₄·dm⁻³]



Rys. 3.33 Stężenia potasu w wodach gruntowych wysoczyzn Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1994-2004 [mg K·dm⁻³]

3.6.2 Wyniki badań jakości wód w studniach gospodarskich Basenu Dolnego Biebrzy

Przeprowadzone w 1998 r. badania jakości wód gruntowych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy oraz jego otuliny wykazały, że najbardziej zanieczyszczone wody występowały w studniach gospodarskich znajdujących się na obszarach osadniczych (Mioduszewski i in. 2001). Spośród kilkunastu oznaczanych parametrów jakości, stężenia trzech najistotniejszych, tj. azotanów(V), potasu oraz fosforanów(V) wskazywały wyraźnie, iż płytkie wody gruntowe są zanieczyszczone na skutek działalności człowieka. Zbadano 40 studni, w tym 10 na obszarze Basenu Dolnego, 23 w granicach wysoczyzny wschodniej oraz

Tabela 3.7 Jakość wód w studniach gospodarskich Basenu Dolnego Biebrzy w 1998 r. (Rozporządzenie 2004a)

Nazwa wsi	Parametr								
	Potas [mg K·dm ⁻³]		Amoniak [mg NH ₄ ·dm ⁻³]		Azotany(V) [mg NO ₃ ·dm ⁻³]		Fosforany(V) [mg NO ₃ ·dm ⁻³]		Fosfor całkowity [mg P·dm ⁻³]
	Stężenie	Klasa	Stężenie	Klasa	Stężenie	Klasa	Stężenie	Klasa	
Szafranki	63,35	V	0,89	IV	32,77	III	0,44	III	0,49
Nowa Wieś	34,5		0	I	19,21	II	0,01	I	0,02
Gugny	47,5		0		37,52	III	1,72	IV	1,93
Barwik	47,5		0		13,22	II	0,1	II	0,1
Dobarz	26,44		0		21,36		1,7	IV	1,83
Olszowa Droga	25,04		0,09		24,86		0,07	II	0,07
Wierciszewo	61,85		0,38		47,46	III	1,88	IV	1,88
Sieburczyn-Rutkowskie	8,68	II	0,29		II	13,9	II	0,18	II
Brzostowo	275,4	V	0,46	198,88		V	1,71	IV	1,8
Pluty	31,9		0,15	30,74		III	0,19	II	0,19

Źródło danych: (Mioduszewski i in. 2001). Opracowanie własne.

7 w wysoczyźnie zachodniej i w większości z nich jakość wód była niska lub bardzo niska (IV-V klasa czystości). Otrzymane wyniki wskazują, że najbardziej zanieczyszczone wody gruntowe występują bezpośrednio na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy. Stężenie potasu wahało się w nich w granicach od 8,68 do 275,4 mg K·dm⁻³ (średnio 62,22 mg K·dm⁻³), azotanów(V) od 13,22 do 198,88 mg NO₃·dm⁻³ (średnio 43,99 mg NO₃·dm⁻³), natomiast fosforanów(V) od 0,01 do 1,88 mg PO₄·dm⁻³ (średnio 0,8 mg PO₄·dm⁻³). Szczególnie niepokojący jest fakt, iż najwyższe z zanotowanych wartości parametrów wystąpiły w miejscowościach Brzostowo oraz Wierciszewo, które znajdują się tuż nad brzegiem Biebrzy.

Podobny stopień zanieczyszczenia wykazały wody gruntowe występujące w studniach wysoczyzny zachodniej. Stężenie potasu wahało się w nich od 2,39 do 130,2 mg K·dm⁻³ (średnio 58,43 mg K·dm⁻³), azotanów(V) od 8,36 do 58,76 mg NO₃·dm⁻³ (średnio 32,8 mg NO₃·dm⁻³), natomiast fosforanów(V) od 0,12 do 1,87 mg PO₄·dm⁻³ (średnio 0,78 mg PO₄·dm⁻³). Miejscowością, w której zanotowano najwyższe stężenia zanieczyszczeń była wieś Mścichy. Wody gruntowe wysoczyzny wschodniej charakteryzowały się najmniejszym stopniem zanieczyszczenia. Stężenie potasu wahało się tu od 0,5 do 106,25 mg K·dm⁻³ (średnio 27,32 mg K·dm⁻³), azotanów(V) od 0,7 do 50,85 mg NO₃·dm⁻³ (średnio 25,53 mg NO₃·dm⁻³), natomiast fosforanów(V) od 0 do 1,77 mg PO₄·dm⁻³ (średnio 0,32 mg PO₄·dm⁻³). Miejscowością, w której zanotowano najwyższe stężenia zanieczyszczeń była wieś Kol. Krynica.

3.6.3 Podsumowanie i wnioski

Przedstawione dane oraz dostępne w literaturze wyniki badań jakości wód gruntowych prowadzonych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w ciągu ostatnich kilkunastu lat przez różne ośrodki naukowe wskazują wyraźnie, że wszędzie tam, gdzie w granicach parku lub w jego otulinie znajdują się skupiska ludności jakość płytkich wód gruntowych uległa pogorszeniu. Dzieje się tak głównie na skutek braku kanalizacji oraz nieprawidłowego gospodarowania obornikiem w gospodarstwach rolnych. Analiza zmian jakości wód gruntowych Basenu Dolnego Biebrzy oraz otaczających go wysoczyzn w latach 1994-2004 wskazuje na istotne zanieczyszczenie związkami azotu, fosforu oraz potasem, niepokojące są zwłaszcza wysokie stężenia azotanów(V) oraz azotanów(III) uważanych za substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego. Podstawowy wniosek, jaki nasuwa się z powyższej analizy to spostrzeżenie, że wszędzie tam, gdzie na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy skupiska ludności graniczą bezpośrednio z Biebrzą lub jej dopływami (np. wsie Brzostowo i Wierciszewo), wody gruntowe infiltrujące grawitacyjnie w kierunku koryta rzecznej mogą stanowić istotne obszarowe źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych biogenami.

3.7 Podsumowanie rozdziału oraz wnioski końcowe

W oparciu o przeprowadzoną szczegółową analizę zmian jakości wód powierzchniowych, składu geochemicznego osadów rzecznych oraz jakości wód gruntowych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007 nasuwa się wniosek, iż aktualny poziom wiedzy na temat krótko- i długoterminowej fluktuacji składu fizyko-chemicznego wód Biebrzy jest niewystarczający do skutecznego zarządzania jakością środowiska wodnego w tej części parku narodowego. Nic nie wiadomo na temat wpływu osadów dennych oraz obszarowych źródeł zanieczyszczeń na jakość wód powierzchniowych dolnej Biebrzy, pomimo licznych badań nadal trudno jest jednoznacznie ocenić potencjalne zagrożenie związkami azotu oraz związkami organicznymi ze strony odwadnianych torfowisk, a także nie wiadomo w jakim stopniu poszczególne dopływy pogarszają stan czystości Biebrzy na odcinkach poniżej miejsc ich ujścia. Brakuje też badań naukowych, które określają zdolności Biebrzy do samooczyszczania się na poszczególnych jej odcinkach, przez co niemożliwe jest określenie dobowego maksymalnego ładunku zanieczyszczeń, jaki rzeka może przyjąć bez ryzyka pogorszenia jej jakości poniżej dopuszczalnych standardów. Wyznaczanie wartości takiego ładunku dla cieków wodnych jest powszechnie stosowane w Stanach Zjednoczonych przez Agencję Ochrony Środowiska zgodnie z wymaganiami określonymi w odpowiednich przepisach (Clean Water Act 2002).

Bez powyższych informacji podejmowanie decyzji proekologicznych, takich jak np. lokalizacja mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w bezpośredniej zlewni Basenu Dolnego, może nie tylko nie poprawić jakości środowiska wodnego, ale nawet ją pogorszyć. Jako naukowe rozwiązanie przedstawionych zagadnień (postulatów badawczych) proponuje się skonstruowanie (na podstawie badań terenowych), adaptację do warunków akwenu, a następnie weryfikację jednowymiarowego modelu matematycznego Biebrzy na 50-cio kilometrowym odcinku od miejscowości Osowiec aż po jej ujście do Narwi. Model ten będzie uwzględniał zarówno przepływ wody, transport zanieczyszczeń, jak i też procesy przemian biochemicznych, jakim ulegają zanieczyszczenia w trakcie transportu, a także interakcje osady denne - woda. Model będzie uwzględniał wszystkie istotne dopływy Biebrzy i będzie zmierzał do lokalizacji obszarowych źródeł zanieczyszczeń oraz oszacowania wpływu osadów dennych na jakość wód powierzchniowych. Badania terenowe przy odmiennych warunkach (wysokie i niskie stany wody, różna temperatura powietrza i nasłonecznienie itp.) pozwolą określić zdolności do samooczyszczania Biebrzy na odcinku Osowiec – ujście do Narwi. Możliwe też będzie oszacowanie zużycia tlenu w Biebrzy, co pozwoli na dokładniejsze określenie maksymalnych dopuszczalnych ładunków dla poszczególnych źródeł. Badania naukowe w terenie połączone z analizą matematyczną zobrazują procesy, jakim podlegają zanieczyszczenia obecne w ciekach Basenu Dolnego Biebrzy i pozwolą sprecyzować metody oraz środki prowadzące do uporządkowania gospodarki wodno-ściekowej w bezpośredniej zlewni tej części parku narodowego.

Rozdział 4

Przegląd i wybór matematycznego modelu jakości wód powierzchniowych

Modelowanie jakości wód powierzchniowych polega na skonstruowaniu modelu matematycznego danego cieką (wody płynące) lub zbiornika wodnego (wody stojące) umożliwiającego śledzenie zmian jakości wody uzależnionych od zmieniających się warunków początkowych oraz brzegowych symulacji (Chapra 1997). Model jakości wód powierzchniowych jest matematycznym odpowiednikiem procesów fizyko-chemicznych oraz biologicznych wpływających na stężenia związków chemicznych obecnych w ciekach. Do skonstruowania modelu niezbędne jest przeprowadzenie kompleksowej analizy zagadnień związanych z jakością środowiska wodnego badanego obszaru, przy czym wymagane jest podejście interdyscyplinarne, w którym równocześnie z podstawowymi technikami z dziedziny inżynierii środowiska stosuje się metody matematyczne oraz nowoczesne techniki komputerowe (Holnicki i in. 2000). W ostatnich latach coraz powszechniej w badaniach naukowych wykorzystuje się metody symulacji komputerowych, dotyczy to zwłaszcza badań nad jakością środowiska wodnego. Metody analizy komputerowej stały się samodzielną gałęzią badań naukowych, która w sposób istotny zwiększa możliwości badawcze nowoczesnych inżynierów-ekologów (Holnicki i in. 2000).

Przy ocenie aktualnego stanu czystości rzeki rozkład stężeń zanieczyszczeń określony za pomocą modelu matematycznego stanowi istotne i zazwyczaj bardzo obszerne uzupełnienie bezpośrednich pomiarów terenowych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku długich odcinków cieków, zwłaszcza wtedy, gdy bezpośrednie pomiary terenowe zostały ograniczone (ze względów finansowych, logistycznych itp.) do kilku punktów znajdujących się na trasie przebiegu koryta. Model jakości wód powierzchniowych może mieć różnorodne zastosowanie praktyczne i raz skalibrowany (a następnie zweryfikowany) staje się potężnym narzędziem analitycznym umożliwiającym szeroko pojętą inżynierię i ochronę środowiska danego cieką, zwłaszcza w przypadku opracowania prognoz jakości. Sprawdzony w działaniu model jakości wód powierzchniowych stanowi naukową podstawę do przedsięwzięcia konkretnych działań, których celem może być zarówno utrzymanie istniejącego stanu środowiska wodnego jak i też jego poprawa w zadanym horyzoncie czasowym, w zależności od zmieniającej się presji człowieka na środowisko naturalne.

Wśród najczęstszych zastosowań modeli jakości wód powierzchniowych należy wymienić (Chapra 1997; Holnicki i in. 2000):

- lokalizacja obszarowych źródeł zanieczyszczeń,
- wyznaczenie dopuszczalnych (dobowych, miesięcznych, rocznych) ładunków zanieczyszczeń dla istniejących punktowych źródeł zanieczyszczeń,

- zaplanowanie położenia ujęć wodnych lub wylotów kanałów odprowadzających wstępnie oczyszczone ścieki z oczyszczalni ścieków,
- ustalenie przyczyn pogarszania się jakości wody na danym odcinku cieką,
- lokalizacja odcinków cieką lub głębokości zbiornika wodnego, w których na skutek zanieczyszczenia wody występują niekorzystne lub nawet niebezpieczne dla organizmów żywych warunki środowiskowe uniemożliwiające prawidłowe funkcjonowanie ekosystemów wodnych i wodno-łądowych,
- ochrona cieków przeznaczonych do lokalizacji ujęć wody pitnej,
- prognozowanie zmian jakości wody przy symulacji różnych wariantów rozwoju zlewni,
- wybór optymalnej strategii rozwoju zrównoważonego zlewni.

Spośród w/w zagadnień najczęściej poddawane są analizie te, które prowadzą do zdefiniowania zagrożeń ekologicznych zasobów wodnych danego obszaru związanych z takimi zjawiskami jak: deficyt tlenowy, eutrofizacja wód, zakwaszenie, zanieczyszczenie substancjami toksycznymi (syntetyczne związki organiczne, metale ciężkie), zasolenie oraz pogorszenie warunków sanitarnych. Modelowanie matematyczne jest stosunkowo młodą gałęzią nauki, dlatego też jeszcze nie tak dawno do realizacji tego typu celów środowiskowych budowano dla konkretnego cieką odrębny model matematyczny, co było bardzo pracochłonne i kosztowne. Obecnie zaprzestano tej praktyki i wykorzystuje się istniejące moduły matematyczne, które w zależności od potrzeb i specyfiki cieką poddaje się niezbędnym modyfikacjom.

4.1 Ogólna budowa i podział modeli jakości rzecznych wód powierzchniowych

Każdy model jakości wód powierzchniowych jest obiektem złożonym i składa się z następujących elementów (Boczar 1995):

- opis matematyczny procesów przepływu wody oraz rozprzestrzeniania się, mieszania i przemian zanieczyszczeń,
- algorytmy i programy obliczeniowe,
- dane wejściowe do modelu,
- metody i wyniki estymacji parametrów występujących w modelu,
- sposób oraz wyniki weryfikacji modelu,
- ocena błędów modelu,
- przykład zastosowania modelu.

Najbardziej ogólny podział modułów programowych służących do modelowania procesów zachodzących w środowisku uwzględnia (Holnicki i in. 2000):

- a) **modele fizyczne** (laboratoryjne),
- b) **modele matematyczne**, w tym:
 - modele analityczne oparte na dokładnych rozwiązaniach równań fizyki matematycznej,
 - modele numeryczne wykorzystujące rozwiązania przybliżone.

W zależności od stopnia złożoności prowadzonych symulacji komputerowych modele jakości wód powierzchniowych można podzielić na trzy grupy:

- a) **modele jednowymiarowe (1D)**, najprostsze i najczęściej stosowane modele w analizie zmian jakości wód rzecznych, w których zakłada się, że istotne zmiany wartości parametrów decydujących o jakości wody zachodzą jedynie wzdłuż profilu podłużnego cieku.
- b) **modele dwuwymiarowe (2D)**, w których zakłada się, że istotne zmiany jakości wody zachodzą nie tylko wzdłuż, ale również w głąb profilu podłużnego cieku, dlatego też konieczna jest analiza jakości wody na poszczególnych jej głębokościach. Modele dwuwymiarowe stosowane są najczęściej w przypadku jezior, zbiorników zaporowych albo głębokich rzek i wymagają większej ilości danych oraz znacznie większego doświadczenia analitycznego od użytkownika niż w przypadku modeli jednowymiarowych.
- c) **modele trójwymiarowe (3D)**, w których analizuje się przestrzenny rozkład stężeń symulowanych parametrów jakości wody. Modele trójwymiarowe wykorzystuje się do symulacji zmian jakości wody w zatokach morskich, jeziorach, zbiornikach zaporowych i głębokich rzekach, wymagają ogromnych ilości danych oraz bardzo dużego doświadczenia analitycznego od użytkownika. Najczęściej stosowane ze względu na dużą złożoność analizowanej problematyki.

W analizie zmian jakości wód rzecznych stosowane są najczęściej modele deterministyczne oparte na opisie analitycznym lub numerycznej aproksymacji podstawowych zjawisk związanych z transportem, przemianami oraz kumulacją zanieczyszczeń (Boczar 1995; Holnicki i in. 2000). Modele deterministyczne pozwalają na ilościową ocenę wpływu poszczególnych źródeł zanieczyszczeń na jakość środowiska wodnego w poszczególnych jego fragmentach (np. odcinkach rzeki) (Holnicki i in. 2000).

Tego typu modele zawierają szereg założeń upraszczających złożony charakter procesów zachodzących w rzece (Boczar 1995):

- przepływ jest zbliżony do jednostajnego i jednowymiarowego,
- burzliwość przepływu jest jednorodna,
- zanieczyszczenia antropogeniczne są pasywne (bierne), tzn. nie zmieniają dynamiki medium,
- dopływ ścieków do rzeki i stężenia zanieczyszczeń w dopływach są ustalone,
- dominuje proces dyspersji zanieczyszczeń w kierunku poprzecznym, poziomym,
- procesy przemian zanieczyszczeń przebiegają ze stałymi prędkościami.

4.2 Podstawy i opis procesów przepływu w modelach jakości wód powierzchniowych

Pierwszy na świecie model jakości wód powierzchniowych powstał w 1925 r. w Stanach Zjednoczonych Ameryki w celu rozplanowania położenia na rzece Ohio wylotów

kanałów odprowadzających ścieki (Chapra 1997). Był to model jednowymiarowy, oparty na bilansie tlenowym oraz prostych równaniach liniowych. Choć od tamtej pory minęło ponad 80 lat zasadnicze podejście do modelowania jakości wód powierzchniowych nie uległo zmianie, bowiem konstrukcja wszystkich modeli jakości wód powierzchniowych oparta jest na trzech podstawowych zasadach: zachowania masy, pędu i energii.

Przy opisie dynamiki zjawisk zachodzących w wodach powierzchniowych związanych z rozprzestrzenianiem się różnego rodzaju zanieczyszczeń stosuje się równania różniczkowe zwyczajne oraz cząstkowe. Dla każdej wielkości fizycznej (w rozważanej objętości kontrolnej oraz przedziale czasu) ogólne prawo zachowania brzmi (Holnicki i in. 2000):

$$\text{Dopływ} - \text{odpływ} + \text{źródło zmiany} = \text{akumulacja} \quad (4.1)$$

4.2.1 Równania przepływu wody

Przy modelowaniu przepływu wody w rzece zakłada się, że koryto rzeczne ma w przekroju poprzecznym kształt trapezoidalny, natomiast dane na temat przekrojów koryta są uśredniane dla poszczególnych odcinków rzeki. Spadek podłużny dna oraz współczynnik szorstkości dna przyjmuje się jako mało zmienne wielkości w danym fragmencie modelu (odcinku rzeki), przekroje zwilżone uważa się za hydrostatyczne, natomiast prędkość przepływu wody również za mało zmienną na długości, co pozwala na modelowanie jednowymiarowe (Verhoeven et al. 2003). Dla modeli 1D równanie ciągłości ruchu można zapisać w następujący sposób:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4.2)$$

lub

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (4.3)$$

gdzie:

A – pole przekroju poprzecznego koryta [m^2],

Q – przepływ wody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

q – boczny dopływ na jednostkę długości wzdłuż rzeki [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$].

4.2.1.1 Przepływ ustalony

W sytuacji, gdy w zadanym horyzoncie czasowym modelowany system rzeczny jest zasilany w sposób niezmienny, tzn. ładunek dopływających zanieczyszczeń jest stały a dopływająca oraz odpływająca z systemu ilość wody są sobie równe to wtedy występuje tzw. stan ustalony. Modelowany jest przepływ ustalony (Chapra 1997), w którym równanie ciągłości wyraża się wzorem:

$$Q = A \cdot v \quad (4.4)$$

Ruch natomiast jest wyrażony poprzez równanie Bresse'a (Verhoeven et al. 2003):

$$\frac{dh}{dx} = \frac{S_0 - \frac{f \cdot U \cdot Q^2}{8g \cdot A^3}}{\sqrt{1 - S_0^2} - \frac{B \cdot Q^2}{g \cdot A^3}} \quad (4.5)$$

gdzie:

x – kierunek głównego przepływu (wzdłuż koryta rzeki),

S_0 – spadek dna rzeki [‰],

f – współczynnik tarcia,

U – obwód zwilżony [m],

B – szerokość rzeki przy powierzchni wody [m].

Dla uproszczenia zakłada się często, że przepływ jest jednostajny wykorzystując do tego formułę Manninga (Verhoeven et al. 2003):

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S_0} \quad (4.6)$$

gdzie:

n – współczynnik szorstkości dna [$s \cdot m^{-1/3}$],

v – średnia prędkość przepływu wody w przekroju zwilżonym [$m \cdot s^{-1}$].

Z kolei wartość objętości przepływu oblicza się wg wzoru (Świątek, Okruszko 2003):

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{2/3} \sqrt{S_0} \quad (4.7)$$

4.2.1.2 Przepływ nieustalony

W sytuacji, gdy w zadanym horyzoncie czasowym modelowany system rzeczny jest zasilany w sposób zmienny do opisu zachodzących w nim zjawisk wykorzystuje się warunki stanu nieustalonego, tzn. modelowany jest przepływ nieustalony, który definiują równania Saint-Venanta (Verhoeven et al. 2003):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = q \quad (4.8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = g \cdot A \left(S_0 - \frac{f \cdot P \cdot Q^2}{8g \cdot A^3} - \frac{\partial h}{\partial x} \right) + q \frac{Q}{A} \quad (4.9)$$

4.2.2. Równania transportu zanieczyszczeń

Podstawową wielkością charakteryzującą stopień zanieczyszczenia ośrodka wodnego jest ilość masy rozważanego zanieczyszczenia w jednostce objętości. Wielkość tę nazywa się koncentracją lub stężeniem i wyraża się wzorem:

$$c = \frac{M}{V} \quad (4.10)$$

gdzie:

M – masa [g], V – objętość [m³].

Na proces transportu zanieczyszczeń w wodzie decydujący wpływ mają następujące procesy charakteryzowane jako procesy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w wodzie:

- 1) **Adwekcja** – makroskopowy ruch płynu, w wyniku którego przemieszczeniu ulegają zawarte w nim zanieczyszczenia nie zmieniając przy tym swojej koncentracji. Zawartość zanieczyszczeń w każdym przemieszczającym się elemencie płynu nie zmienia się w czasie, natomiast zmienia się koncentracja w każdym nieruchomym punkcie przestrzeni wodnej (Chapra 1997). Jest to proces odwracalny i dominuje w rzekach (Holnicki i in. 2000; Kardel 2001).
- 2) **Dyfuzja** – molekularne przenoszenie cząstek z jednego miejsca ośrodka do drugiego (Czernuszenko, Rowiński 1994). Dyfuzja w odróżnieniu od adwekcji jest procesem nieodwracalnym dominującym w jeziorach oraz innych zbiornikach wody stojącej (Holnicki i in. 2000). W obrębie dyfuzji występują (Chapra 1997):
 - a) **dyfuzja molekularna** – polega na przypadkowym przenoszeniu cząstek z jednego miejsca do drugiego zmierzającym do wyrównania pola koncentracji. Jest ona zazwyczaj pomijana w modelach rzecznych jako proces przebiegający znacznie wolniej od adwekcji i dyfuzji burzliwej (Boczar 1995).
 - b) **dyfuzja burzliwa (turbulentna, wirowa)** – polega na przemieszczaniu się cząstek z jednego miejsca do drugiego na skutek mikroskopowej turbulencji.
 - c) **dyspersja** – polega na przenoszeniu cząstek z jednego miejsca do drugiego wywołane powtarzającą się dyfuzją burzliwą wzdłuż gradientu prędkości.

Równanie transportu zwane równaniem adwekcji-dyfuzji w swej podstawowej postaci wyraża zasadę zachowania masy dla rozpuszczonych w wodzie substancji nie reagujących i w postaci jednowymiarowej wyraża się następującym wzorem (Holnicki i in. 2000):

$$\frac{\partial(A \cdot c)}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot c)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A \cdot D_L \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (4.11)$$

gdzie:

c – stężenie uśrednione względem całego przekroju [mg·dm⁻³],

D_L – współczynnik dyfuzji wzdłuż kierunku przepływu.

Równanie 4.11 jest często rozważane w prostszej postaci, przy założeniu pełnego wymieszania zanieczyszczeń w całej objętości rzeki (Holnicki i in. 2000):

$$\frac{\partial(V \cdot \bar{c})}{\partial t} = L - Q \cdot \bar{c} \quad (4.12)$$

gdzie:

\bar{c} – wartość stężenia uśredniona względem objętości V [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],

L – ładunek zanieczyszczeń wprowadzanych do systemu [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$], wyznaczony z równania:

$$L = Q \cdot c \quad (4.13)$$

Przedstawiony w powyższych równaniach opis matematyczny transportu zanieczyszczeń jest wyidealizowany, gdyż w rzeczywistości przemieszczające się w wodach powierzchniowych zanieczyszczenia podlegają nie tylko zjawiskom dyspersji i adwekcji, ale również różnego rodzaju procesom, np. sedymentacji czy biodegradacji, tak więc proces transportu zanieczyszczeń nie odbywa się bez strat. Zjawiska takie powinny być uwzględniane w matematycznym opisie transportu zanieczyszczeń jako procesy przekształcania się (przemian) zanieczyszczeń (Boczar 1995; Holnicki i in. 2000):

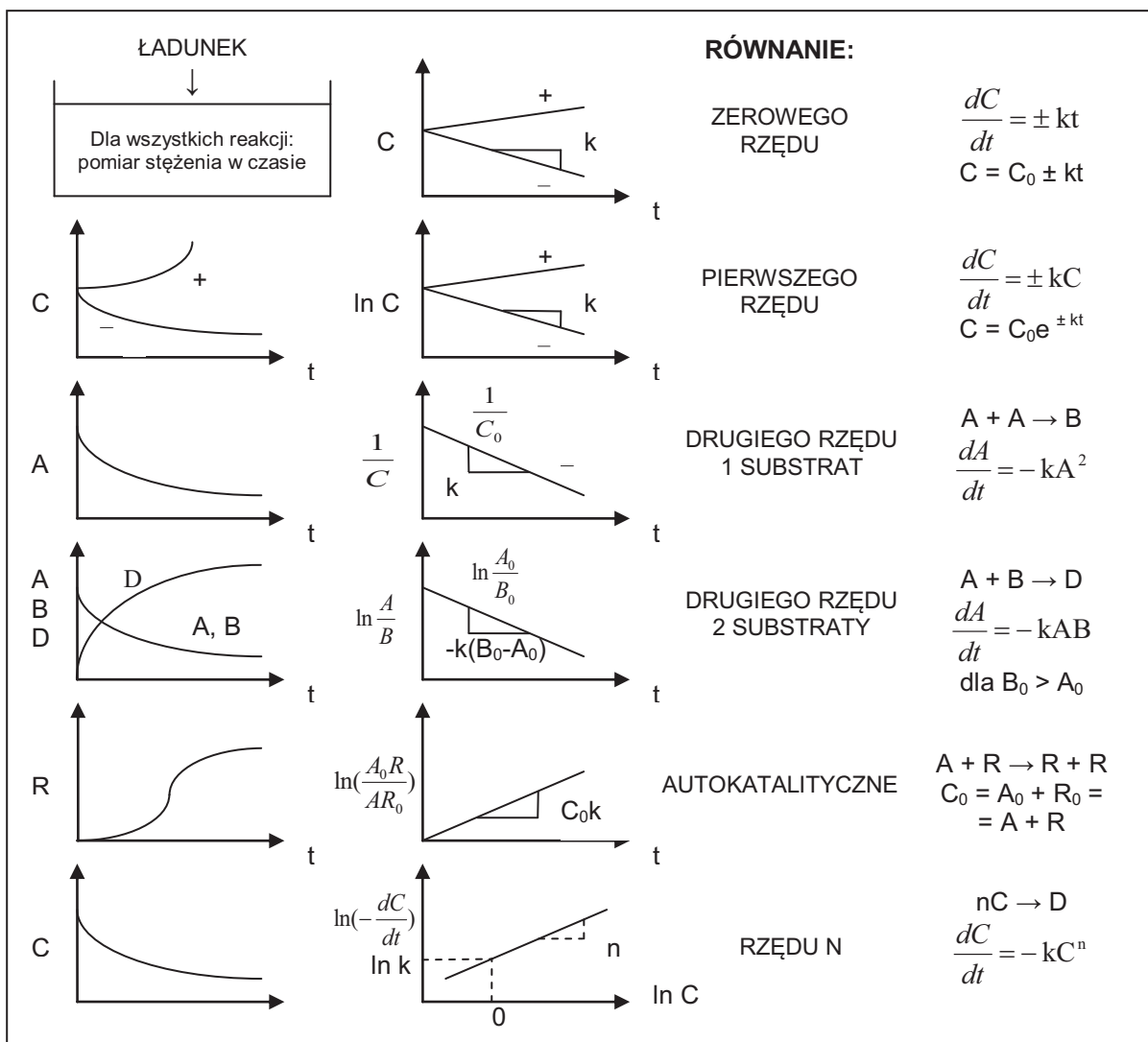
$$\frac{d(V \cdot \bar{c})}{dt} = L - Q \cdot \bar{c} - k \cdot \bar{c} \cdot V \quad (4.14)$$

gdzie:

k – współczynnik tempa przemian chemicznych [doba^{-1}].

4.2.3 Równania przemian chemicznych zanieczyszczeń

Najczęściej stosowane w modelach matematycznych równania przemian chemicznych zanieczyszczeń przedstawione są na rys. 4.1. W pierwszej kolumnie znajdują się krzywe uzyskane w wyniku doświadczeń laboratoryjnych, na bazie których wyznaczane są potem stałe współczynniki równań przemian związków chemicznych, zwane też współczynnikami szybkości (tempa) reakcji chemicznych, a także granice ich stosowania. Na ich wielkość ma wpływ szereg czynników, z których najczęściej brana jest pod uwagę temperatura. Druga kolumna przedstawia wykresy uzyskane w oparciu o poszczególne typy równań opisane w kolumnie trzeciej i czwartej. Dla opisanego przebiegu reakcji stosuje się też równania innego typu, np. paraboliczne, logarytmiczne wymagające kilku stałych współczynników. Opisane równania transportu zanieczyszczeń oraz kinetyki przemian chemicznych są, ze względu na swoją złożoność, obliczane w modelach matematycznych w oparciu o metody numeryczne, np. metodę różnic skończonych, elementów skończonych lub metodę wyznaczników. Metody te pozwalają uzyskać dla wybranych kroków czasowych (godzina, dzień, miesiąc itp.) stężenia symulowanych parametrów w wybranych odcinkach cieku.



Rys. 4.1 Wykresy oraz matematyczny opis przemian substancji chemicznych, uzyskane w warunkach laboratoryjnych, stosowane w modelach matematycznych jakości wód (A, B, C, D, R – substraty i produkty, k – kinetyczny współczynnik reakcji, t – czas) (Schnoor 1996)

4.3 Przegląd dostępnych modułów programowych umożliwiających modelowanie jakości wód powierzchniowych

Szacuje się, że w chwili obecnej istnieje na świecie co najmniej kilka tysięcy modeli jakości wód powierzchniowych powstałych na bazie ogólnodostępnych lub komercyjnych modułów podstawowych, a następnie dostosowanych do modelowanego cieku lub zbiornika wodnego (Chapra 1997). W dziedzinie modelowania jakości wód powierzchniowych przodują Stany Zjednoczone Ameryki wykorzystując własną, najlepiej rozwiniętą na świecie sieć monitoringu ciągłego wód powierzchniowych. Na dużą skalę stosowane są modele jedno- i dwuwymiarowe, zarówno przez ośrodki naukowo-badawcze jak i też instytucje federalne lub stanowe. Największą rolę odgrywają tu trzy instytucje państwowe: Agencja Ochrony Środowiska (*United States Environmental Protection Agency*), Instytut Badań Geologicznych

(*United States Geological Survey*) oraz Stacja Badawcza Arterii Wodnych (*Waterways Experiment Station*) należąca do Korpusów Inżynieryjnych Armii Stanów Zjednoczonych (*United States Army Corps of Engineers*). Dorobek europejski w tej dziedzinie jest również znaczny, niemniej jednak swobodny dostęp do modeli amerykańskich, ich dokumentacji, języka programowania oraz licznych przykładów praktycznego zastosowania promuje wybór modeli powstałych na terenie Stanów Zjednoczonych.

Przed przystąpieniem do poszukiwań modułu podstawowego optymalnego dla postawionego problemu badawczego przyjęto kryteria wstępne:

- program musi być przeznaczony do modelowania jakości wód rzecznych,
- program musi umożliwiać modelowanie zarówno parametrów wpływających na proces eutrofizacji, jak i też temperaturę wody oraz parametry wpływające na stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie,
- program powinien odzwierciedlać główne koncepcje procesów fizyko-chemicznych zachodzących w wodzie w czasie transportu oraz przemian zanieczyszczeń.

W wyniku poszukiwań literaturowych oraz przeglądu zasobów internetowych zlokalizowano następujące moduły programowe służące do modelowania jakości wód powierzchniowych, spełniające powyższe kryteria:

- 1) **AQUATOX 2.2**, program symulujący wpływ zanieczyszczeń eutrofizacyjnych, związków organicznych oraz wybranych metali na ekosystem wodny, w tym rośliny, bezkręgowce oraz ryby; przeznaczony dla strumieni, rzek, jezior oraz zbiorników wodnych (<http://www.epa.gov/waterscience/models/aquatox/>).
- 2) **BLTM** (*Branched Lagrangian Transport Model*), 1D, dynamiczny, symuluje tylko jakość wody, przeznaczony do modelowania jakości wody w rzekach i strumieniach przy przepływie nieustalonym (<http://water.usgs.gov/software/BLTM/>),
- 3) **CE-QUAL-ICM**, model eutrofizacyjny umożliwiający modelowanie jedno-, dwu- lub trójwymiarowe, uwzględnia tylko jakość wody, której przepływ wczytywany jest do programu z modelu CH3D-WES, może być stosowany w każdym systemie wodnym (http://smig.usgs.gov/cgi-bin/SMIC/model_home_pages/model_home?selection=cequalicm),
- 4) **CE-QUAL-RIV1**, 1D, dynamiczny, symuluje zarówno jakość wody jak i jej przepływ, odpowiedni dla symulacji przepływów wysoce nieustalonych, przeznaczony dla rzek i zbiorników wodnych (<http://el.erc.usace.army.mil/elmodels/riv1info.html>),
- 5) **CE-QUAL-W2**, 2D, model dynamiczny jakości wody, przeznaczony dla rzek, jezior oraz zbiorników wodnych, umożliwia modelowanie rozgałęzionego systemu wodnego (http://smig.usgs.gov/cgi-bin/SMIC/model_home_pages/model_home?selection=cequalw2),
- 6) **DUFLOW**, 1D, symuluje zarówno przepływ wody jak i też jej jakość, przeznaczony do modelowania transportu substancji o swobodnym przepływie powierzchniowym, wyodrębnienie substancji dennych umożliwia analizę zjawisk i procesów

- zachodzących pomiędzy substancjami rozpuszczonymi w wodzie oraz zawartymi w osadach dennych (<http://www.mx-groep.nl/duflow/>),
- 7) **HSPF** (*Hydrologic Simulation Program – Fortran*), program przeznaczony do modelowania jakości wody w skali całej zlewni, symuluje zarówno przepływ wody jak i jej jakość, znacznie rozbudowany (http://water.usgs.gov/cgi-bin/man_wrdapp?hspf),
 - 8) **MIKE 3**, 3D, umożliwia modelowanie dowolnego systemu wód powierzchniowych, uwzględnia zarówno przepływ wody jak i też jej jakość, pozwala modelować transport oraz przemiany substancji pokarmowych, metali ciężkich, zjawisko wysychania koryta, powodzie oraz procesy zachodzące w osadach dennych (<http://www.dhigroup.com/Software/Marine/MIKE3.aspx>),
 - 9) **MIKE 11**, 1D, przeznaczony do modelowania rzek, kanałów oraz systemów irygacyjnych, uwzględnia jakość wody oraz jej przepływ, symuluje stan quasi-ustalony, umożliwia modelowanie przepływu wody z koryta głównego do równiny zalewowej (<http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/MIKE11.aspx>),
 - 10) **MIKE-SHE**, model dynamiczny, wszechstronny i bardzo rozbudowany, uwzględnia wiele procesów zachodzących w skali całej zlewni, przeznaczony dla rzek i strumieni (<http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/MIKESHE.aspx>),
 - 11) **OTEQ** (*One-Dimensional Transport with Equilibrium Chemistry*), 1D, przeznaczony do symulacji w rzekach i strumieniach transportu oraz przemian metali występujących w stężeniach śladowych (<http://co.water.usgs.gov/oteq/>),
 - 12) **OTIS** (*One-dimensional Transport with Inflow and Storage*), 1D, dynamiczny lub stanu ustalonego (w zależności od wyboru użytkownika), symuluje transport oraz przemiany wielu parametrów jakości wody, przeznaczony dla rzek i strumieni (<http://co.water.usgs.gov/otis/index.html>),
 - 13) **PREWET 2.3**, program umożliwiający oszacowanie poprawy jakości środowiska wodnego uzyskanej w wyniku przepływu zanieczyszczonej wody przez mokradła (<http://el.ercd.usace.army.mil/elmodels/prewetinfo.html>),
 - 14) **QUAL2K** (*River and Stream Water Quality Model*), 1D, symuluje zarówno przepływ wody jak i też jej jakość, odpowiedni dla rzek i strumieni, przeznaczony tylko do modelowania przepływu ustalonego, stosowany na szeroką skalę w Stanach Zjednoczonych (<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>),
 - 15) **WASP7** (*Water Quality Analysis Simulation Program*), przeznaczony do symulacji jedno-, dwu- lub trójwymiarowych, dynamiczny lub stanu ustalonego (w zależności od wyboru użytkownika), symuluje zarówno przepływ wody jak i też jej jakość (parametry eutrofizacyjne, metale toksyczne, związki chemiczne), wszechstronny i bardzo rozbudowany (<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/wasp.html>).

Kolejnym krokiem w doborze odpowiedniego modułu programowego, spośród wyżej wymienionych, było przyjęcie następujących kryteriów szczegółowych:

- ogólna dostępność programu (model niekomercyjny),

- możliwość modelowania dowolnych fragmentów rzeki,
- ogólnie dostępny podręcznik użytkownika, dokumentacja oraz kod źródłowy pozwalające na zapoznanie się z możliwościami i ograniczeniami modelu,
- liczne przykłady zastosowania modelu w świecie potwierdzone naukowymi publikacjami potwierdzającymi jego analityczną wartość,
- edycja kolejnych rozszerzeń i udoskonaleń modelu od momentu jego powstania, odzwierciedlająca rozwój programu wynikający z usuwania zlokalizowanych błędów oraz implementacji nowych rozwiązań,
- interfejs Windows z możliwie najprostszym systemem wprowadzania danych do komputera, bez potrzeby ich wcześniejszego przygotowywania (formatowania),
- interfejs graficznej obróbki i prezentacji wyników, najlepiej z możliwością współpracy z systemem informacji przestrzennej (GIS).

W oparciu o powyższe kryteria, spośród wcześniej wymienionych 15-stu modułów programowych wybrano do szczegółowej analizy program QUAL2K.

4.4 Opis szczegółowy modułu programowego QUAL2K

W 1987 r. Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych opracowała program o nazwie QUAL2E służący do modelowania jakości wody w rzekach i strumieniach (Brown, Barnwell 1987). Jego powszechne użytkowanie zarówno przez amerykańskie służby związane z ochroną środowiska (Paschal, Mueller 1991; Wesolowski 1995; Melching, Yoon 1996; Chaudhury 1998) jak i też instytucje oraz ośrodki badawcze z całego świata (Cubilo et al. 1992; Tsihrintzis et al. 1995; Drolc, Koncan 1996) spowodowało, że był on sukcesywnie doskonalony. Program ten został m. in. wykorzystany do analizy wpływu hydrogenicznych gleb zdegradowanych na jakość wód Ełku w Basenie Środkowym Biebrzy (Kardel 2001). W 2003 r. opracowano nową wersję programu o nazwie QUAL2K, której najnowszy wariant (wersja 2.07) opublikowano w marcu 2007 r.

Hydraulicznie rzecz ujmując zastosowanie tego modułu jest ograniczone do symulacji przedziałów czasowych, w których zarówno przepływ wody jak i też dopływające ładunki zanieczyszczeń są stałe. Program QUAL2K może być użyty zarówno jako model stanu ustalonego lub jako substytut modelu dynamicznego. W pierwszym przypadku może być wykorzystany do analizy wpływu punktowych i obszarowych źródeł zanieczyszczeń na jakość wody w cieku oraz jako narzędzie do określenia całkowitego maksymalnego dobowego ładunku zanieczyszczeń, jaki może trafić do cieku powierzchniowego bez istotnego pogarszania jakości wody (z ang. *Total Maximum Daily Load*). Używając modelu w sposób dynamiczny użytkownik może analizować efekty dobowego wpływu warunków meteorologicznych na jakość wody (zwłaszcza dotyczy to tlenu rozpuszczonego oraz temperatury wody) oraz dobowe zmiany stężenia tlenu wywołane wzrostem glonów i ich oddychaniem.

Charakterystyka możliwości modułu programowego QUAL2K (Chapra et al. 2007):

- **Modeluje rzeki i strumienie.** Może być modelowana rozgałęziona sieć rzeczna.
- **1D.** Zakłada się, że główne mechanizmy transportu, czyli adwekcja oraz dyspersja są istotne tylko wzdłuż głównego nurtu rzeki.
- **Hydraulika stanu ustalonego.** Symulowany jest przepływ niejednorodny i ustalony, zakłada się, że modelowany ciek jest dobrze wymieszany poprzecznie oraz w pionie. Model nie jest odpowiedni do symulacji przepływów nieustalonych.
- **Dobowy bilans ciepła.** Bilans ciepła oraz temperatura są symulowane jako funkcja zjawisk meteorologicznych w dobowej skali czasu. Symulowany jest wpływ dziennych zmian warunków meteorologicznych na temperaturę oraz fotosyntezę glonów.
- **Dobowa kinetyka jakości wody.** Wszystkie zmienne jakości wody są symulowane w dobowej skali czasu.
- **Dopływy ciepła i masy.** Symulowane są punktowe i obszarowe źródła zanieczyszczeń, a także punktowe i obszarowe dopływy/odpływy wody.
- **Uwzględnia budowę hydrologiczne w cieku** (zastawki, tamy, jazy itp.).
- **Modelowane parametry:** temperatura, BZT, fosfor (mineralny, organiczny), azot (amoniowy, azotanowy(III), azotanowy(V), organiczny), tlen rozpuszczony, zawiesiny mineralne, całkowity węgiel nieorganiczny, zasadowość, patogeny (bakterie *Coli*), glony bentosowe, fitoplankton, detrytus, dowolny składnik niekonserwatywny, trzy składniki konserwatywne.
- **Wymagane oprogramowanie:** Windows ME/2000/XP, Microsoft Office 2000 lub nowszy.
- **Środowisko Microsoft Windows.** Program jest użytkowany pod systemem operacyjnym Microsoft Windows, do analizy graficznej wykorzystywany jest arkusz kalkulacyjny Excel, program napisany został w języku makro: Visual Basic for Applications.
- **Segmentacja modelu.** Poszczególne odcinki cieku nie muszą mieć jednakowej wielkości, dodatkowo w każdym odcinku rzeki użytkownik może określić dowolną ilość źródeł zanieczyszczeń lub punktów poboru wody.
- **Specjacja węgla.** Do symulacji biochemicznego zapotrzebowania w tlen (BZT) wykorzystywane są dwie kategorie związków organicznych: szybko ulegające reakcjom biochemicznym oraz wolno ulegające reakcjom biochemicznym. Dodatkowo symulowany jest detrytus, czyli rozdrobnione szczątki materii organicznej zmieszane często z cząstkami mineralnymi (materiał ten jest skomponowany głównie z węgla, azotu oraz fosforu).
- **Deficyt tlenu.** Przy niskich stężeniach tlenu program hamuje przebieg reakcji utleniających do zera. Dodatkowo modelowany jest proces denitryfikacji, który został określony jako proces zachodzący w pierwszej kolejności przy zaistnieniu niedoborów tlenu. Model ma również możliwość symulowania rozcieńczenia

ładunków zanieczyszczeń na skutek wzrostu przepływu, w celu osiągnięcia żądanego poziomu tlenu rozpuszczonego w wodzie.

- **Interakcje woda-osad rzeczny.** Symulowany jest strumień przepływu tlenu rozpuszczonego oraz substancji pokarmowych pomiędzy wodą a osadem jako funkcja opadania na dno detrytus, reakcji zachodzących w osadach oraz koncentracji ich rozpuszczalnych form w wodzie powyżej osadów.
- **Głony przydenne.** Program symuluje wzrost glonów przydennych.
- **Zanik światła.** Zanik światła jest obliczany jako funkcja cząstek nieorganicznych, detrytus oraz glonów.
- **Odczyn.** Symulowana jest zarówno zasadowość, jaki i też całkowity węgiel nieorganiczny. Następnie na bazie tych dwóch wielkości symulowany jest odczyn wody w rzece.
- **Patogeny.** Symulowane są bakterie *Coli* lub *Enterococci*, przy czym zanik bakterii chorobotwórczych jest określany jako funkcja temperatury, natężenia światła oraz osiadania na dnie.

4.5 Podsumowanie i wnioski

Analiza problematyki modelowania matematycznego jakości wód powierzchniowych wskazuje, że najlepszą metodą oceny oraz prognozowania stanu ekologicznego Biebrzy na obszarze Basenu Dolnego Biebrzańskiego Parku Narodowego jest skonstruowanie jednowymiarowego modelu rzeki uwzględniającego zarówno przepływ wody jak i też zmiany jej jakości w zadanym horyzoncie czasowym. Modelowanie jednowymiarowe, w którym zakłada się, że istotne zmiany wartości parametrów jakości wody zachodzą jedynie wzdłuż profilu podłużnego cieką jest do tego celu wystarczające. Jednowymiarowa analiza zmian jakości wody w rzece jest znacznym uproszczeniem trójwymiarowej rzeczywistości, niemniej jednak wyniki dotychczasowych badań na świecie pokazują, że takie podejście jest jak najbardziej uzasadnione (Hanna, Campbell 2000; Kardel 2001; Balla, Kalettka 2003).

Do realizacji postulatów badawczych powinien zostać użyty model mechaniczny, deterministyczny oparty na numerycznej aproksymacji podstawowych zjawisk związanych z transportem, przemianami oraz kumulacją zanieczyszczeń. Wyniki szczegółowego przeglądu dostępnych na rynku modułów programowych umożliwiających modelowanie jakości wód powierzchniowych wskazują, że najodpowiedniejszym programem do modelowania jakości wody w Biebrzy jest moduł QUAL2K. Zdecydowała o tym przede wszystkim jego ogólna dostępność, różnorodność analizowanej tematyki (w tym uwzględnienie procesów zachodzących pomiędzy wodą a osadami rzeczny), funkcjonalność oraz możliwość prezentacji graficznej wyników symulacji komputerowych.

Rozdział 5

Zakres i zastosowana metodyka pomiarów oraz wyniki badań terenowych

W celu realizacji postulatów badawczych (przedstawionych we wstępie do doktoratu, a następnie rozwiniętych w poprzednich rozdziałach) dokonano niezbędnych badań terenowych obejmujących m. in. pomiary hydrometryczne, pomiary geodezyjne oraz pobór próbek wody do badań jakościowych, a także wykonano wizję lokalną w bezpośredniej zlewni Biebrzy Dolnej celem wsparcia analizy danych oraz lepszej adaptacji modelu matematycznego do warunków naturalnych Basenu Dolnego Biebrzy. Badania terenowe wykonano w ramach trzech kampanii pomiarowych, które odbyły się w okresach: od 26 do 29 lipca 2007 r., od 21 do 25 września 2007 r. oraz od 19 do 23 lipca 2008 r.

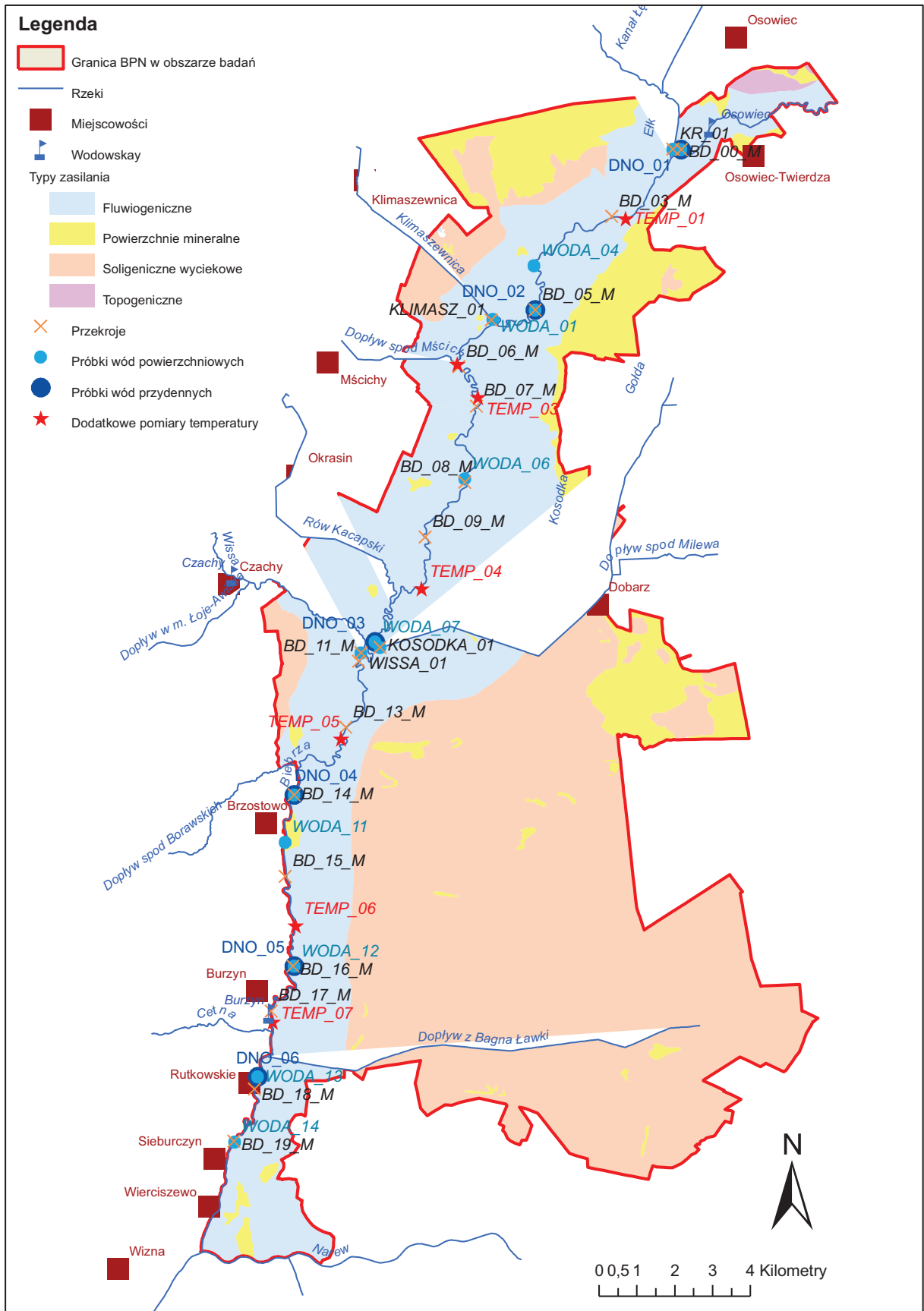
5.1 Pomiary hydrometryczne

Pomiary hydrometryczne polegały na wykonaniu odpowiedniej ilości przekrojów poprzecznych Biebrzy Dolnej i jej dopływów celem zdefiniowania geometrii cieków oraz jej zmian na poszczególnych odcinkach, a także obejmowały pomiar prędkości przepływu wody w poszczególnych przekrojach umożliwiające obliczenie wielkości przepływu. Wszystkie pomiary hydrometryczne były prowadzone z łodzi motorowej lub pontonu. Zbiorne wyniki pomiarów oraz wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabelach 5.4-5.8.

5.1.1 Wybór miejsc na przekroje poprzeczne koryt rzecznych

Przekroje poprzeczne Biebrzy Dolnej zlokalizowano w taki sposób, aby pomiarami objęta została cała rzeka, tzn. odcinek o długości ok. 50 km rozciągający się od mostu w miejscowości Osowiec aż po ujście rzeki do Narwi. Ze względów czysto technicznych (zbyt szerokie koryto rzeczne) pierwszy przekrój Biebrzy zlokalizowany został ok. 1 km poniżej mostu w Osowcu, natomiast ostatni przekrój ok. 3 km powyżej ujścia do Narwi. Wybór miejsc lokalizacji przekrojów poprzecznych koryta oraz odległości pomiędzy poszczególnymi przekrojami uwzględniały warunki naturalne oraz wynikały z badań naukowych prowadzonych na tym terenie kilka lat wcześniej (Okruszko T. et al. 2002).

Aby zachować ciągłość pomiarów, a także umożliwić porównanie zmian geometrii koryta Biebrzy Dolnej w latach 2000-2008 poszczególne przekroje poprzeczne zlokalizowano dokładnie w tych samych miejscach zachowując średni dystans 3 km pomiędzy poszczególnymi przekrojami. Ponieważ w modelu matematycznym dopływy Biebrzy miały zostać zaimplementowane jako punktowe źródła zasilania rzeki w wodę wykonano tylko po jednym przekroju poprzecznym w przyujściowym odcinku każdego dopływu.



Rys. 5.1 Mapa Basenu Dolnego Biebrzy wraz z punktami pomiarowymi z poszczególnych kampanii badawczych przeprowadzonych w latach 2007-2008

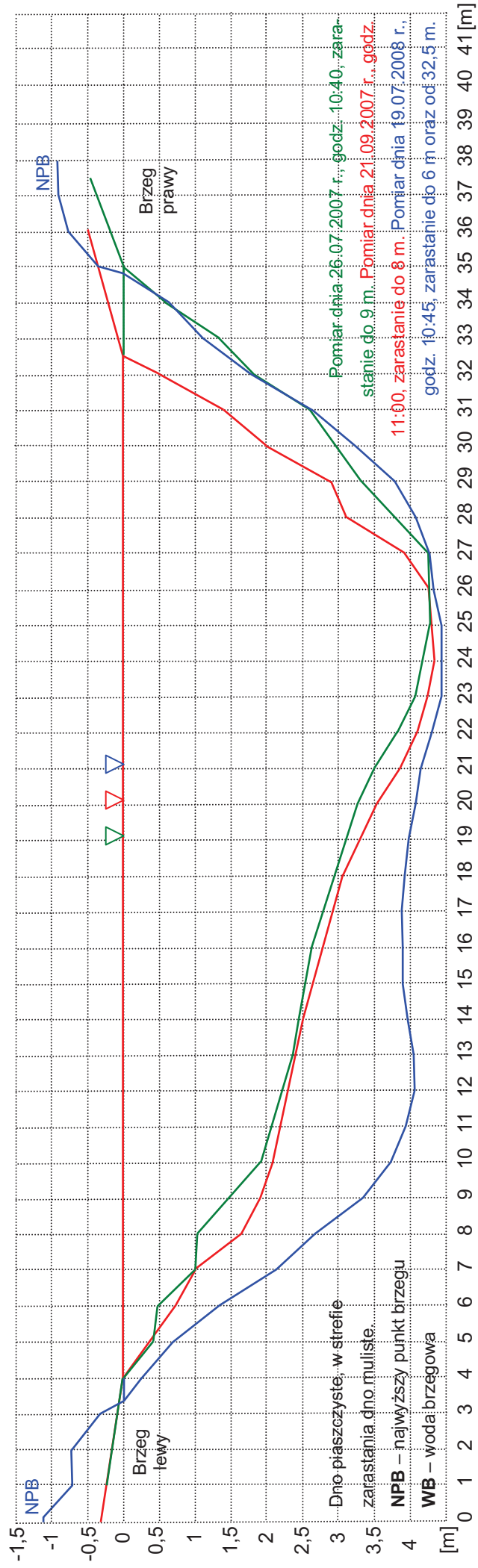
5.1.2 Sondowanie głębokości koryta rzecznego

W celu określenia kształtu koryta rzecznego w każdym przekroju poprzecznym cieków wykonano sondowanie głębokości dna. Szerokość przekroju zmierzono za pomocą cechowanej co 1 m liny stalowej o długości 40 m, każdorazowo mocowanej na stałym łądzie i rozciąganej na drugi brzeg cieków w taki sposób, że zawsze początek liny pomiarowej znajdował się na brzegu lewym. Pomiarów głębokości dna wykonywane były cechowaną co 10 cm sondą ze stali kwasowej o długości 5 m, składającą się z pięciu gwintowanych rur o długości 1 m każda. Dolny koniec sondy zakończony był niewielkim „talerzem” oraz szpikulcem umożliwiającym nieznaczne, stabilne zagłębienie sondy w dno zbudowane z piasku lub w miejscach zarastania koryta – z mułu. Odczyt głębokości dna odbywał się na poziomie zwierciadła wody z dokładnością do 1 cm. Sondowanie dna wykonywane było adekwatnie do wielkości cieków, tzn. na Biebrzy i Kanale Rudzkim (Ełku) pomiar odbywał się co 1 m, natomiast na pozostałych ciekach (Klimaszewnica, Kosódka, Wissa) co 0,5 m. W miejscach charakterystycznych, np. tam gdzie występował gwałtowny spadek dna, zwiększono dokładność sondowania Biebrzy i Kanału Rudzkiego do 0,5 m. Podczas wykonywania sondowania przekrojów zanotowano istotne informacje o korycie rzeki, tzn. poziom wody brzegowej, najwyższe położone punkty brzegu, długość strefy zarastania roślinnością wodną, rodzaj materiału zalegającego na dnie (piasek, muł) itp. Wyniki pomiarów zapisano w specjalnych dziennikach pomiarowych, tzw. raptularzach. Wyniki sondowania z poszczególnych kampanii pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 8.1-8.3, 8.18-8.21 oraz 8.43-8.46 znajdujących się w załącznikach do doktoratu, natomiast przekroje poprzeczne Biebrzy Dolnej i jej dopływów przedstawiono na rysunkach 5.2-5.20.

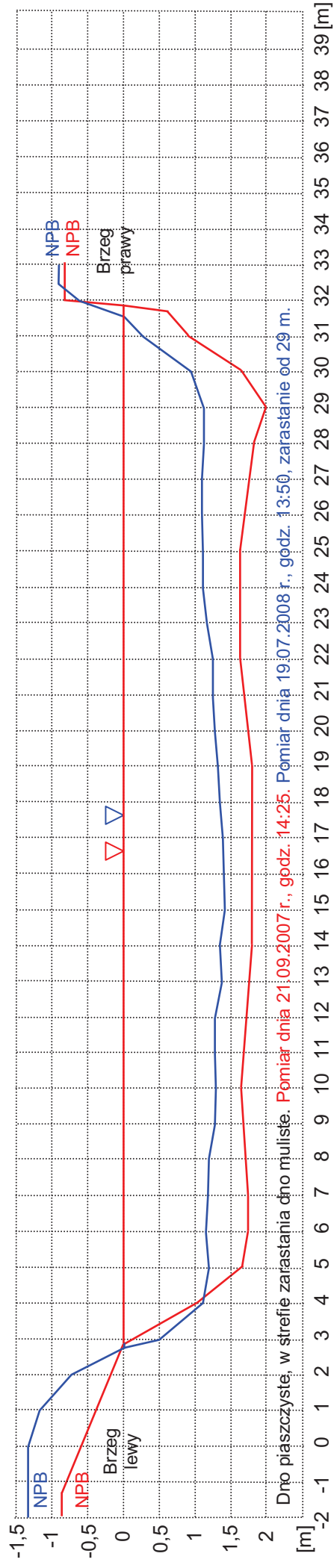
5.1.3 Pomiary prędkości przepływu wody w przekrojach poprzecznych

Określenie geometrii przekrojów koryta rzecznego poprzez dokładne sondowanie głębokości dna pozwoliło m. in. na dobór ilości oraz odpowiednie rozmieszczenie pionów hydrometrycznych (w zależności od szerokości przekroju oraz ukształtowania dna), w których następnie wykonano pomiary prędkości przepływu wody. Odpowiednie rozmieszczenie pionów hydrometrycznych było niezbędne, aby zmierzone prędkości przepływu wody odzwierciedlały faktyczny rozkład prędkości w danym przekroju poprzecznym. Wybór odpowiedniej ilości pionów hydrometrycznych oraz ich rozmieszczenie zostały zrealizowane zgodnie z instrukcją nr 88 byłego Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego (Ujda 1988), z uwzględnieniem:

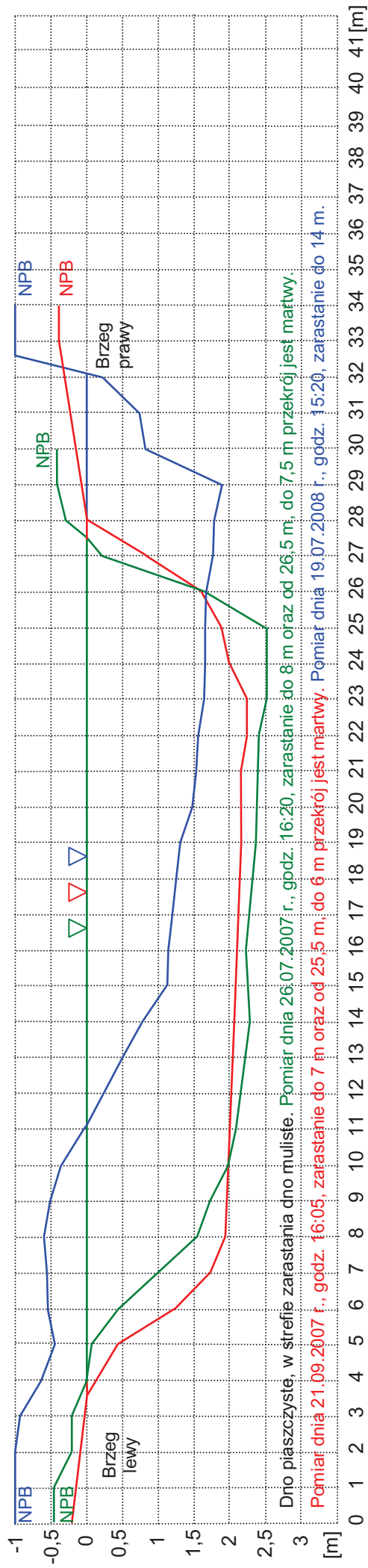
- brzegów cieków, punktów gwałtownego spadku dna,
- miejsc wyraźnych zmian prędkości stwierdzonych wizualnie lub za pomocą przyrządu pomiarowego,
- położenia nurtu rzeki, który zazwyczaj znajduje się w miejscu o największej głębokości dna.



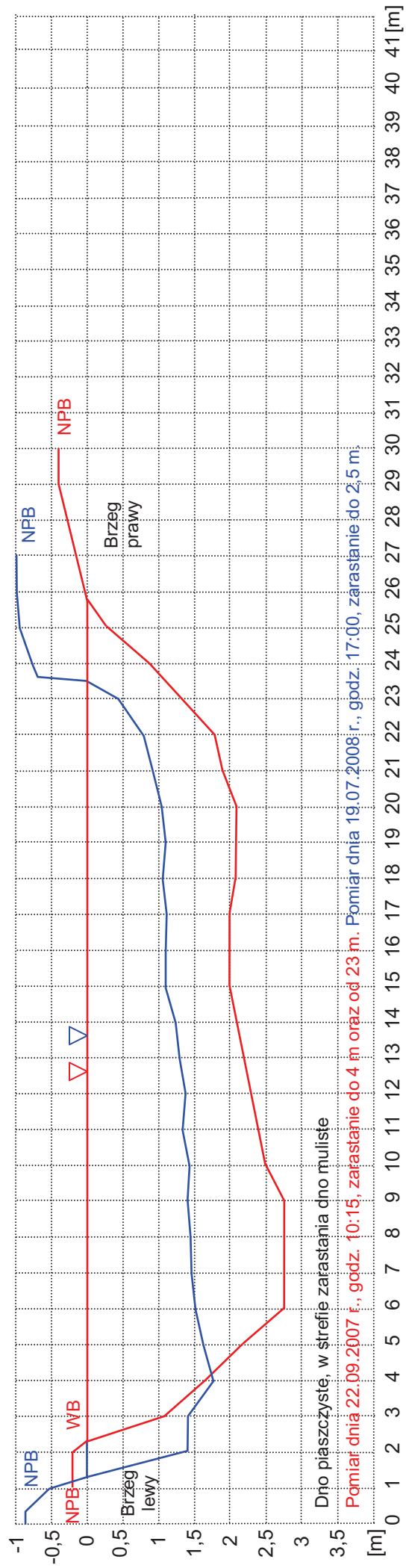
Rys. 5.2 Przekrój poprzeczny nr 1 koryta Biebrzy Dolnej (BD_00_M)



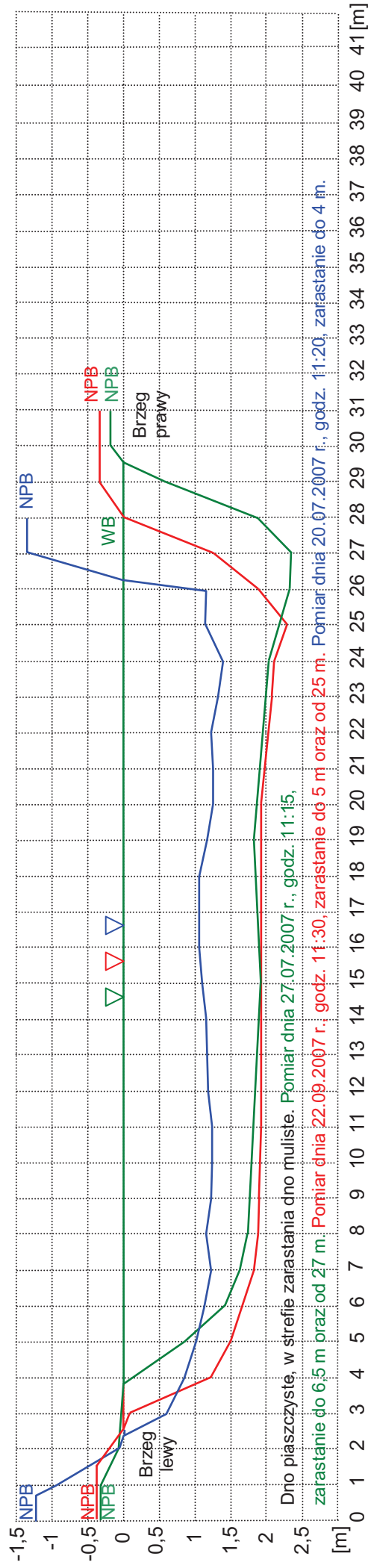
Rys. 5.3 Przekrój poprzeczny nr 2 koryta Biebrzy Dolnej (BD_03_M)



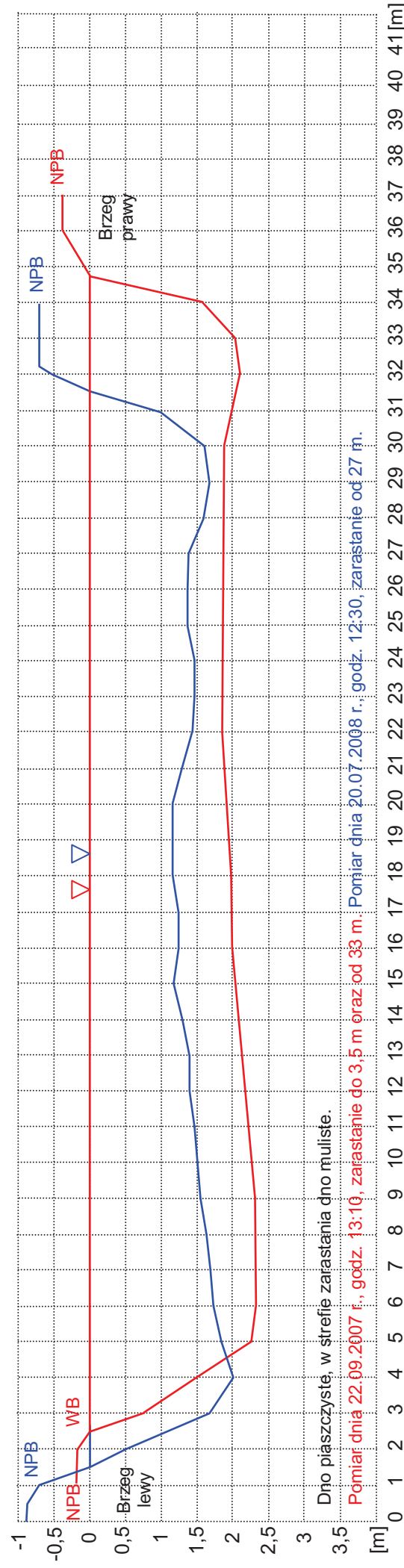
Rys. 5.4 Przekrój poprzeczny nr 3 koryta Biebrzy Dolnej (BD_05_M)



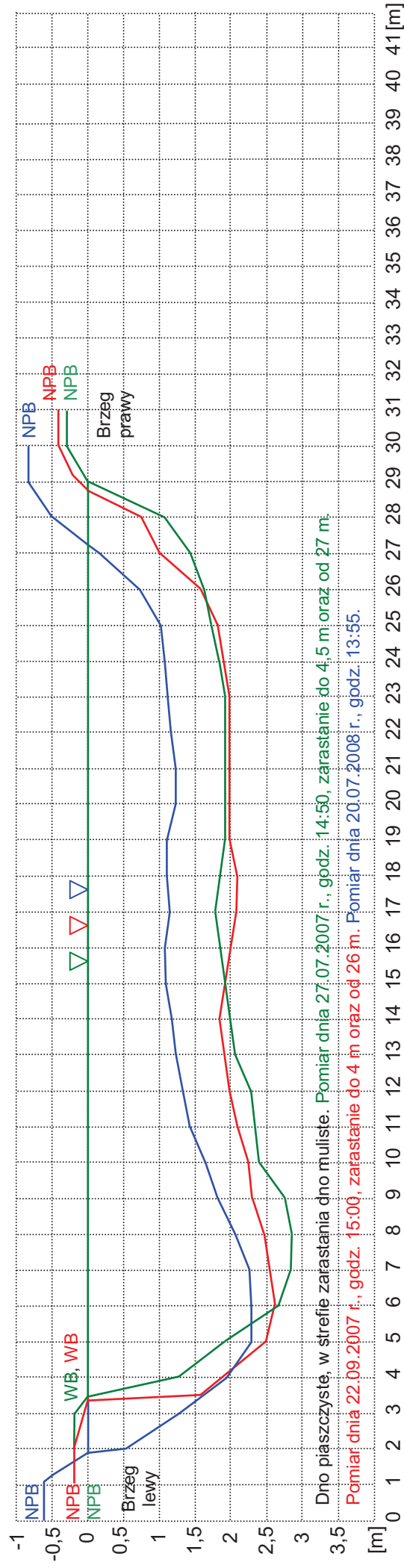
Rys. 5.5 Przekrój poprzeczny nr 4 koryta Biebrzy Dolnej (BD_06_M)



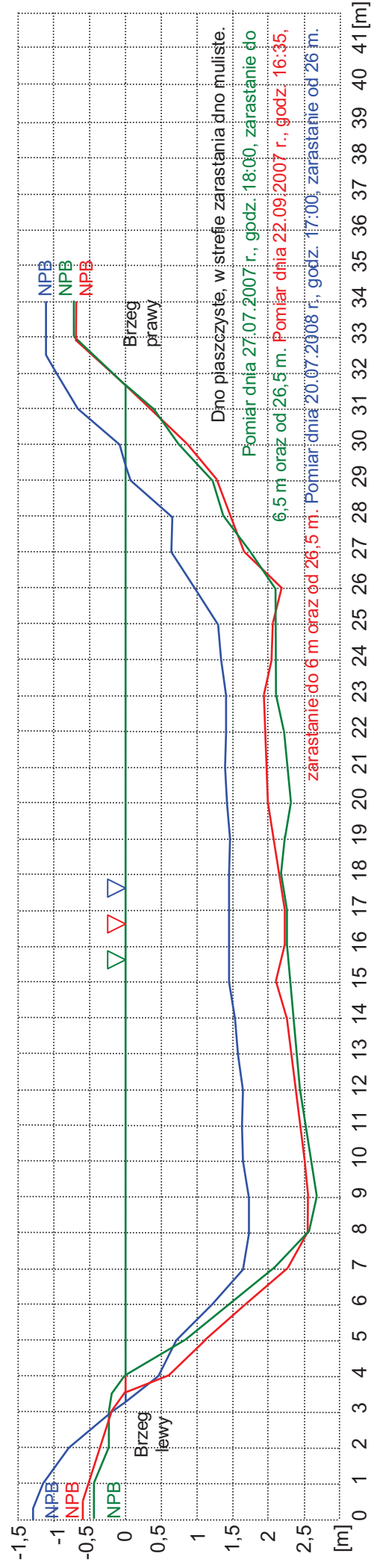
Rys. 5.6 Przekrój poprzeczny nr 5 koryta Biebrzy Dolnej (BD_07_M)



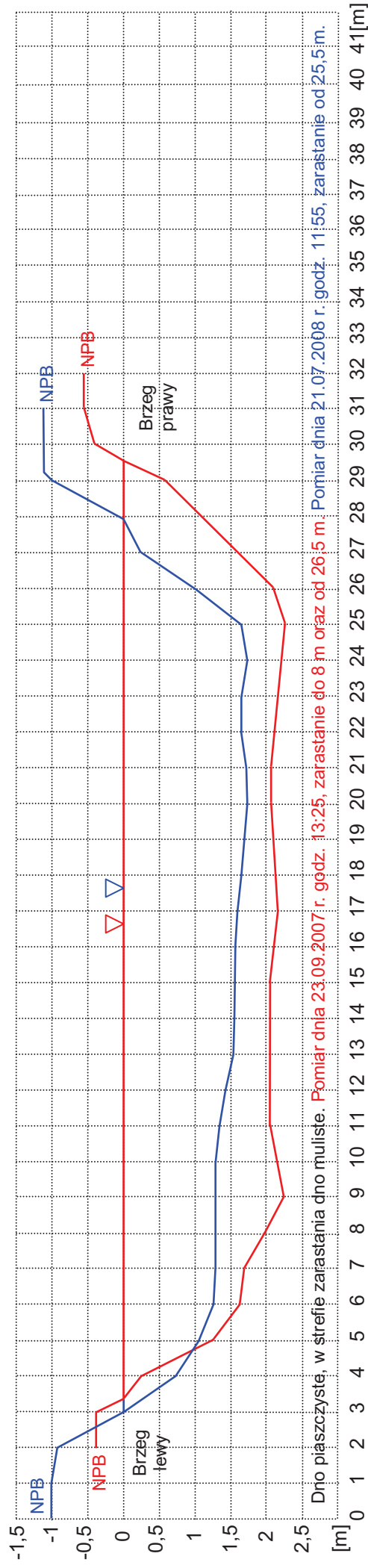
Rys. 5.7 Przekrój poprzeczny nr 6 koryta Biebrzy Dolnej (BD_08_M)



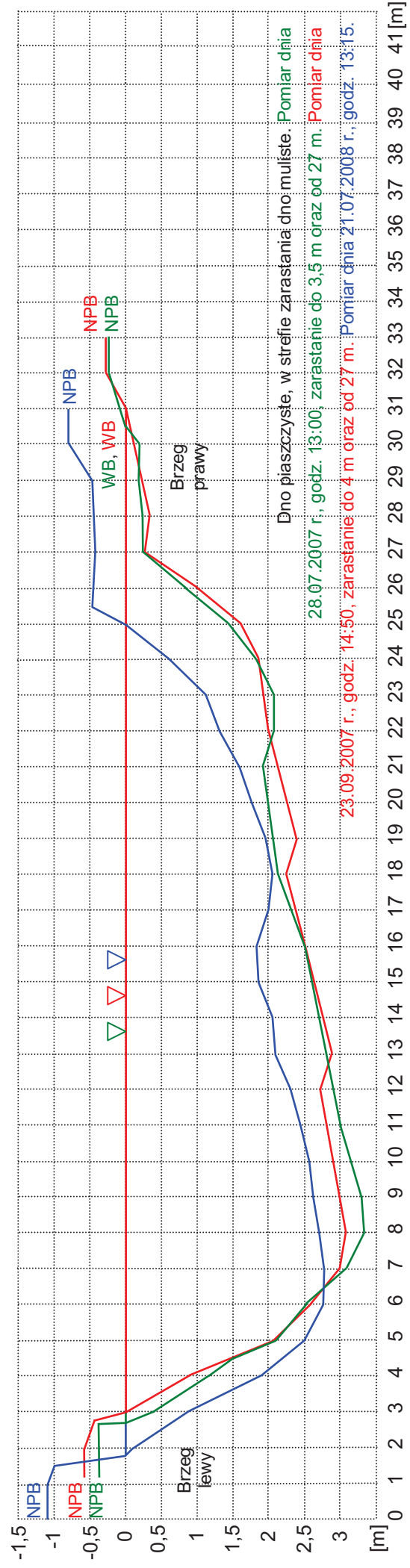
Rys. 5.8 Przekrój poprzeczny nr 7 koryta Biebrzy Dolnej (BD_09_M)



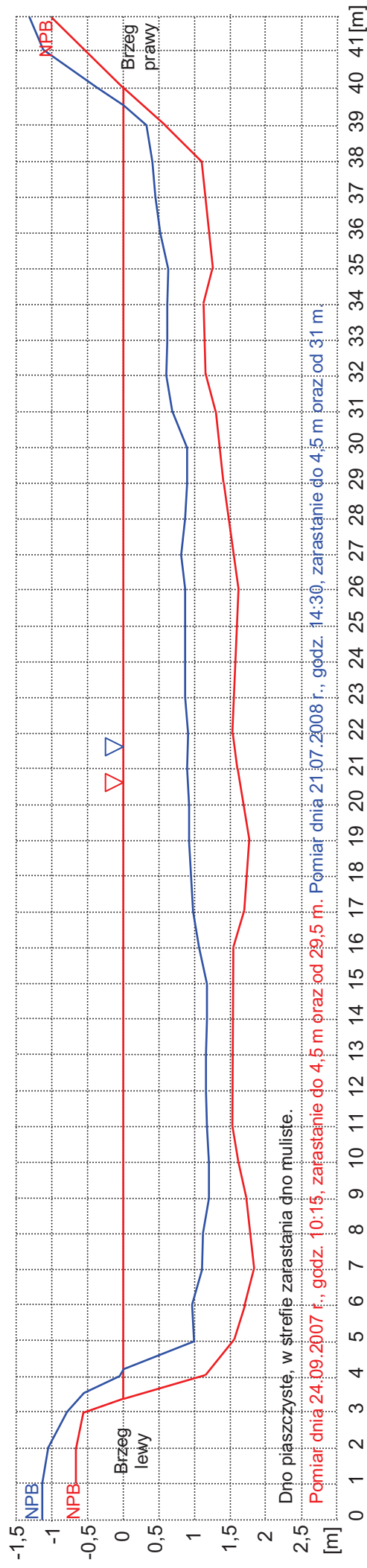
Rys. 5.9 Przekrój poprzeczny nr 8 koryta Biebrzy Dolnej (BD_11_M)



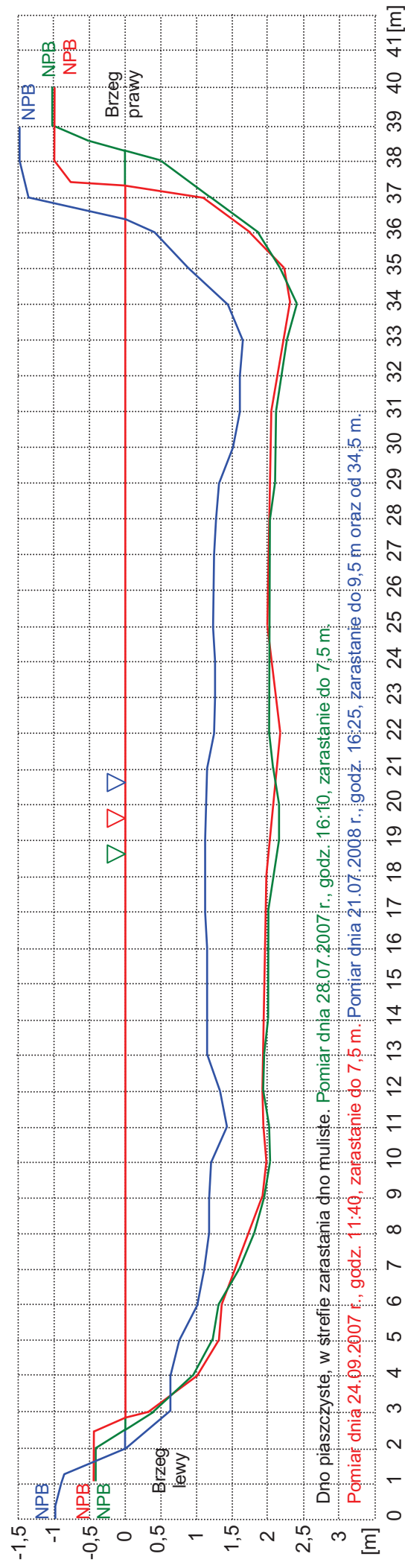
Rys. 5.10 Przekrój poprzeczny nr 9 koryta Biebrzy Dolnej (BD_13_M)



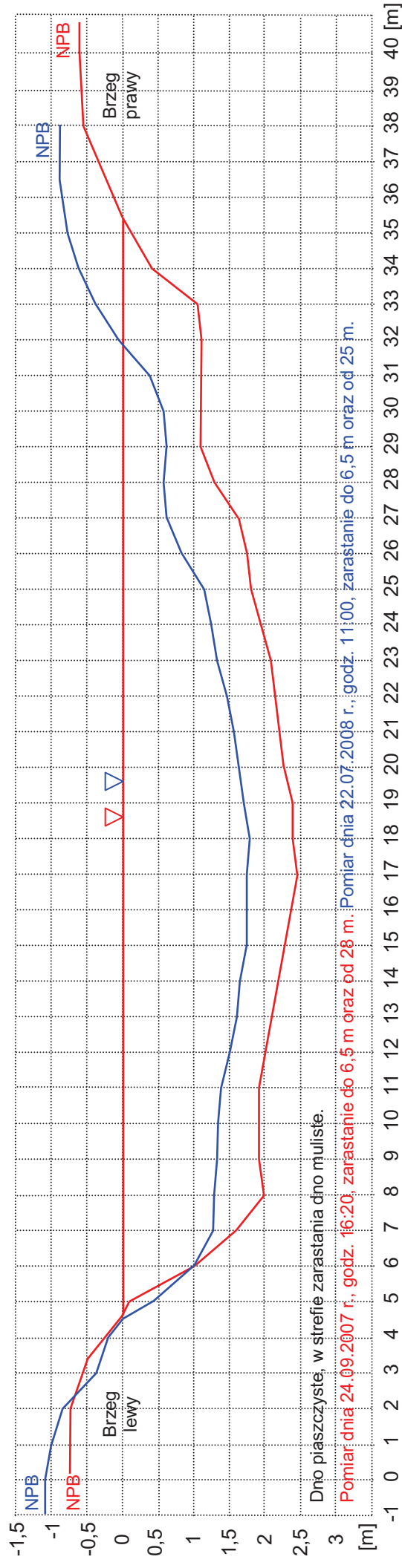
Rys. 5.11 Przekrój poprzeczny nr 10 koryta Biebrzy Dolnej (BD_14_M)



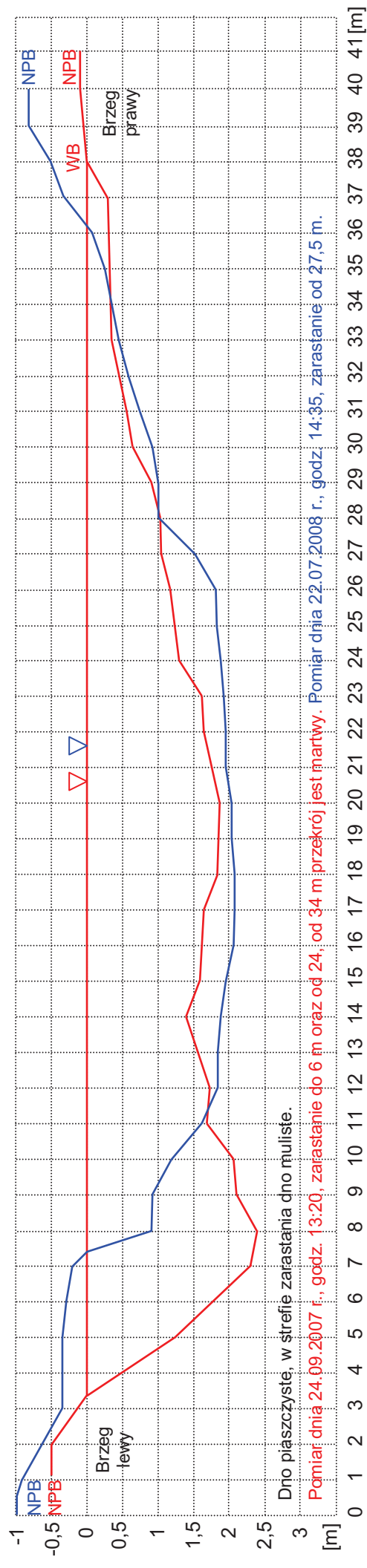
Rys. 5.12 Przekrój poprzeczny nr 11 koryta Biebrzy Dolnej (BD_15_M)



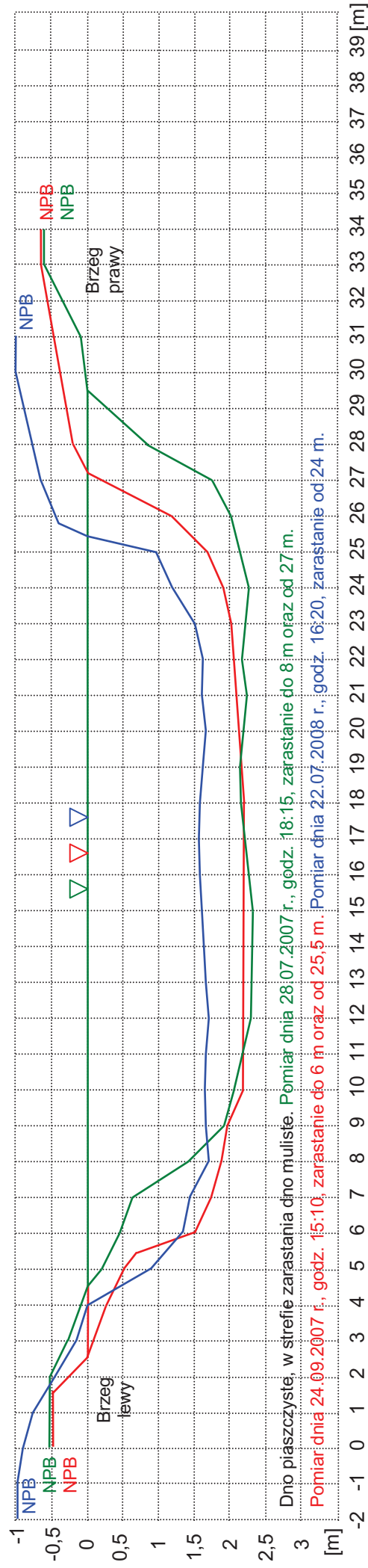
Rys. 5.13 Przekrój poprzeczny nr 12 koryta Biebrzy Dolnej (BD_16_M)



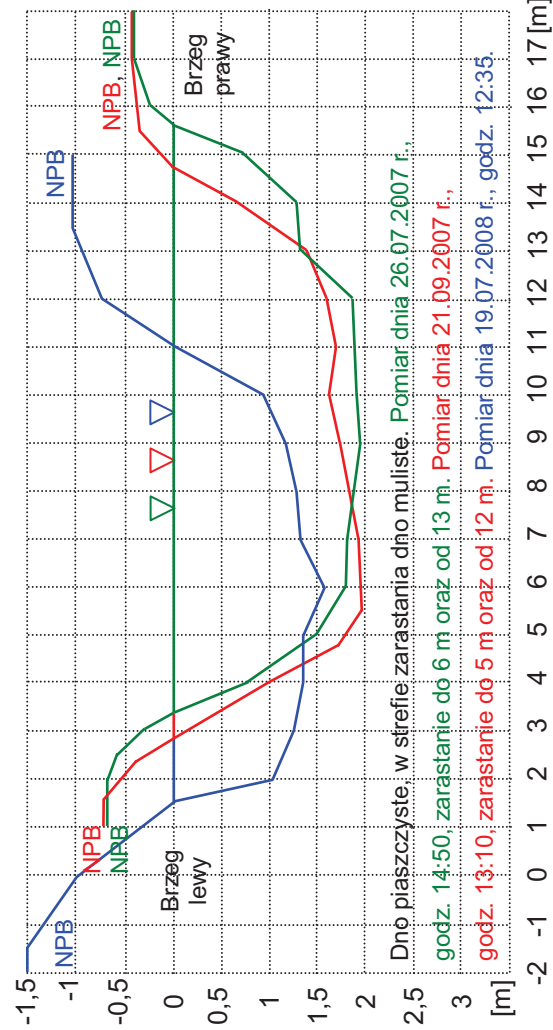
Rys. 5.14 Przekrój poprzeczny nr 13 koryta Biebrzy Dolnej (BD_17_M)



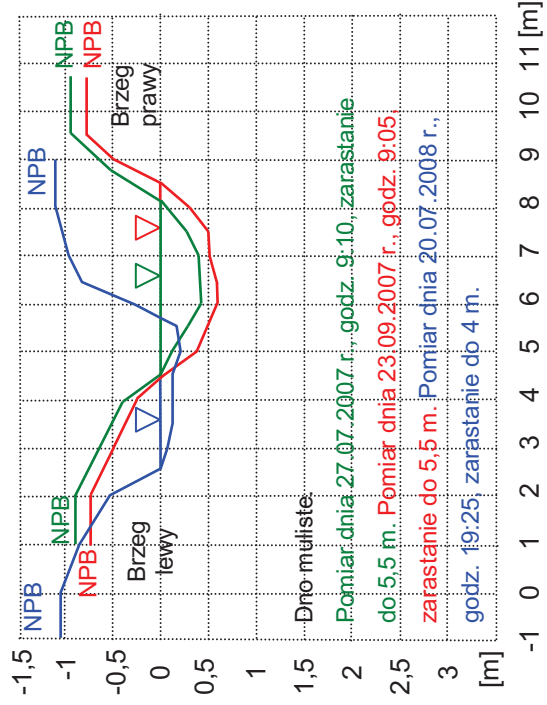
Rys. 5.15 Przekrój poprzeczny nr 14 koryta Biebrzy Dolnej (BD_18_M)



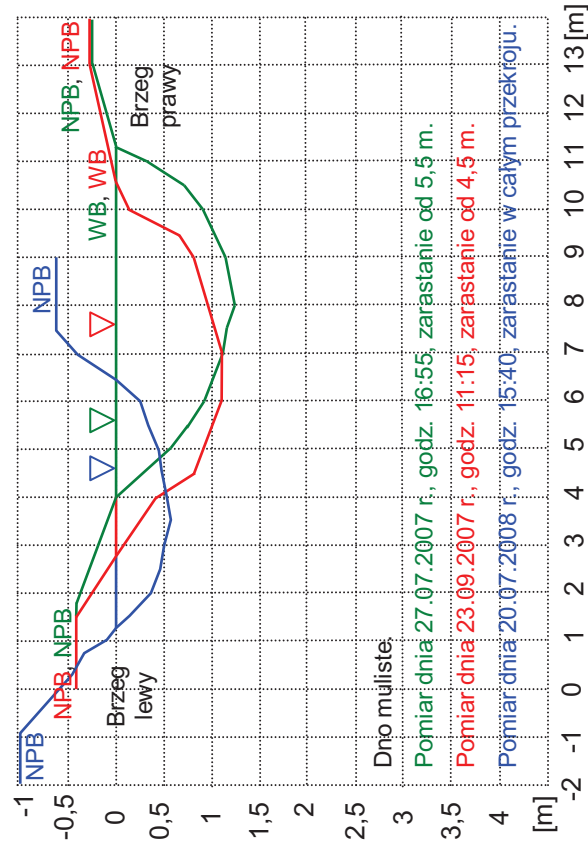
Rys. 5.16 Przekrój poprzeczny nr 15 koryta Biebrzy Dolnej (BD_19_M)



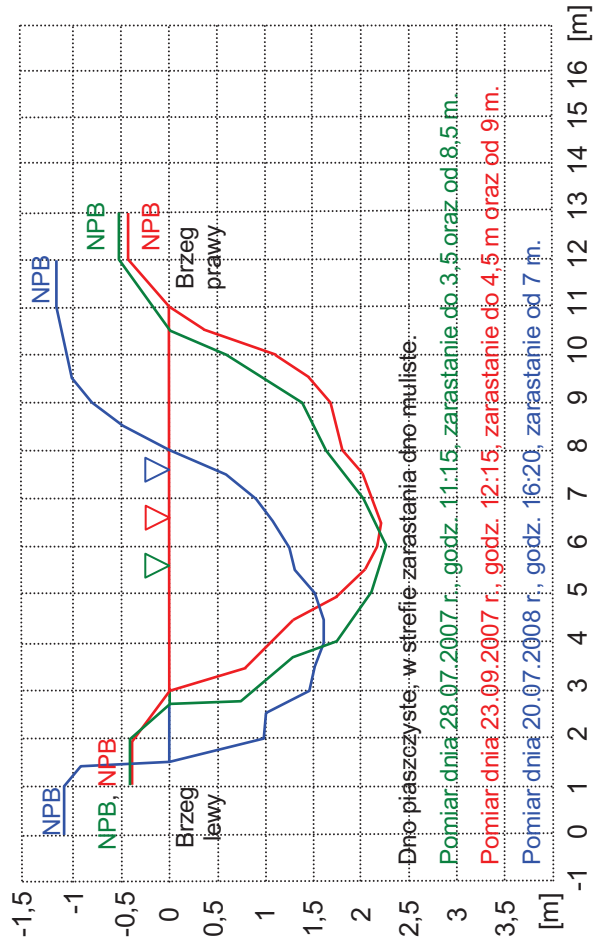
Rys. 5.17 Przekrój poprzeczny koryta Kanatu Rudzkiego przy ujściu do Biebrzy Dolnej (KR_01)



Rys. 5.18 Przekrój poprzeczny koryta Klimaszewicy przy ujściu do Biebrzy Dolnej (KLIMASZ_01)



Rys. 5.19 Przekrój poprzeczny koryta Kosódki przy ujściu do Biebrzy Dolnej (KOSODKA_01)



Rys. 5.20 Przekrój poprzeczny koryta Wisy przy ujściu do Biebrzy Dolnej (WISSA_01)

Tabela 5.1 Zasady doboru minimalnej ilości oraz rozmieszczenia pionów hydrometrycznych w przekroju poprzecznym koryta rzecznego (Ujda 1988)

Szerokość rzeki [m]	Rozmieszczenie punktów sondowania, nie rzadziej niż [m]:	Liczba pionów hydrometrycznych
do 2	0,2	nie mniejsza niż 3
3 – 10	0,5	4 – 6
11 – 30	1,0	7 – 8
31 – 80	2,0	9 – 10
81 – 200	5,0	11 – 12
ponad 200	10,0	ponad 15

Tabela 5.2 Zasady rozmieszczenia punktów pomiarowych w pionie hydrometrycznym (Ujda 1988)

Głębokość h [m]	Przepływ swobodny		Zarastanie koryta lub pokrywa lodowa	
	Rozmieszczenie punktów pomiarowych	Liczba punktów pomiarowych	Rozmieszczenie punktów pomiarowych	Liczba punktów pomiarowych
< 0,2	0,4h	1	0,5h	1
0,2 – 0,6	0,2h; 0,4h; 0,8h	3	0,15h; 0,25h; 0,85h	3
> 0,6	dno; 0,2h; 0,4h; 0,8h; powierzchnia	5	dno; 0,2h; 0,4h; 0,6h; 0,8h; powierzchnia	6

Pomiary odbywały się przy użyciu elektromagnetycznego czujnika prędkości przepływu wody C2000 Nautilus o następujących parametrach:

- producent: OTT Messtechnik GmbH, Niemcy (<http://www.ott.hydrometria.pl/>),
- zakres pomiarowy: 0-1,5 m·s⁻¹,
- dokładność: 1% zakresu pomiarowego (przy zakresie 1,5 m dokładność wynosi 1,5 cm·s⁻¹),
- dokładność odczytu: 0,001 m·s⁻¹,
- błąd zera: +/- 2 mm·s⁻¹,
- interfejs RS232 pozwalający na przekazywanie danych bezpośrednio do komputera (nie wykorzystywany w trakcie pomiarów),
- zasilanie: 10 baterii R14, waga czujnika: 1,8 kg.

W skład zestawu pomiarowego wchodziły ponadto: urządzenie odczytowe SENSE Z300, kabel o długości 5 m oraz zestaw sond o długości 5 m. Do opuszczania czujnika użyto specjalnych rur (produkcji OTT) nakładanych wraz z czujnikiem na sondę. Metoda pomiarowa zakładała wyznaczenie średniej prędkości przepływu wody w ciągu 20 sekund ciągłego pomiaru. Czas pomiaru wyznaczony został subiektywnie, jednak w przypadku równomiernego przepływu oraz dużych prędkości, jakie występowały w badanych przekrojach był on wystarczający (przy mniejszych prędkościach mierzy się przez 30 s lub dłużej). Wszystkie wyniki pomiarów zapisano w specjalnych dziennikach pomiarowych, tzw.

raptularzach. Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody z poszczególnych kampanii pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 8.4-8.15, 8.22-8.40 oraz 8.47-8.65 znajdujących się w załącznikach do doktoratu.

5.1.4 Obliczenie wielkości przepływu wody w przekrojach poprzecznych

W oparciu o wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w poszczególnych punktach pomiarowych obliczono (na podstawie wzorów opracowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej) prędkości średnie ważone dla każdego pionu hydrometrycznego. Wyniki obliczeń z poszczególnych kampanii pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 8.4-8.15, 8.22-8.40 oraz 8.47-8.65 znajdujących się w załącznikach do doktoratu.

Tabela 5.3 Skrócone wzory IMGW do obliczania prędkości średniej ważonej w pionach hydrometrycznych (Ujda 1988)

Głębokość h [m]	Przepływ swobodny	Przepływ w warunkach zarastania lub zlodzenia
< 0,2	$v_s = v_{0,4h}$	$v_s = v_{0,5h}$
0,2 – 0,6	$v_s = \frac{1}{4}(v_{0,2h} + 2v_{0,4h} + v_{0,8h})$	$v_s = \frac{1}{3}(v_{0,15h} + v_{0,5h} + v_{0,85h})$
> 0,6	$v_s = \frac{1}{10}(v_d + 2v_{0,2h} + 3v_{0,4h} + 3v_{0,8h} + v_p)$	$v_s = \frac{1}{10}(v_d + 2v_{0,2h} + 2v_{0,4h} + 2v_{0,6h} + 3v_{0,8h} + v_p)$

W oparciu o wyniki powyższych obliczeń wyznaczono (metodą rachunkową Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej) wielkość przepływu Q oraz średnią prędkość przepływu wody v_{sr} dla poszczególnych przekrojów poprzecznych. Wyznaczenie Q polegało na zsumowaniu dla całego przekroju przepływów cząstkowych odbywających się pomiędzy poszczególnymi pionami hydrometrycznymi, wyznaczonych w ten sposób, że każde pole powierzchni cząstkowej zostało pomnożone przez średnią arytmetyczną z prędkości ważonych wyznaczonych wcześniej dla dwóch sąsiadujących ze sobą pionów. W trójkątnych polach skrajnych przekroju (przy brzegach ciek) prędkość średnią w polu cząstkowym wyznaczono mnożąc prędkość średnią ważoną najbliższego pionu przez współczynnik redukujący $\Phi = 0,5$ (brzeg naturalny pokryty roślinnością wodną). Średnią prędkość przepływu wody dla całego przekroju uzyskano poprzez podzielenie przepływu Q przez pole powierzchni całego przekroju A. Wyniki obliczeń dla wszystkich przekrojów poprzecznych mierzonych w poszczególnych kampaniach pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 5.4-5.8.

5.2 Pomiary geodezyjne

Pomiary geodezyjne obejmowały wyznaczenie współrzędnych geograficznych przekrojów poprzecznych cieków, współrzędnych geograficznych punktów pomiaru zwierciadła wody, współrzędnych wysokościowych poziomu zwierciadła wody oraz

współrzędnych geograficznych punktów poboru próbek wody do analiz chemicznych. Zbiorcze wyniki pomiarów geodezyjnych dla wszystkich przekrojów poprzecznych mierzonych w poszczególnych kampaniach pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 5.4-5.8.

5.2.1 Wyznaczenie współrzędnych geograficznych

Współrzędne geograficzne przekrojów poprzecznych oraz punktów pomiaru poziomu zwierciadła wody (długość i szerokość w stopniach, minutach, sekundach – układ WGS84) zostały wyznaczone przy użyciu metody dyferencjalnej GPS (z ang. *Differential Global Positioning System*). Metoda ta była już wykorzystywana w warunkach Biebrzańskiego Parku Narodowego i okazała się jedną z najlepszych metod do pomiarów geodezyjnych na rozległych obszarach mokradłowych (Chormański et al. 2003). W pomiarach wykorzystano zestaw GPS o następujących parametrach:

- producent: TOPCON (<http://www.topcon.com.pl/>),
- typ: Legacy H, 40-kanałowy,
- równoczesne korzystanie z dwóch systemów satelitarnych: amerykańskiego GPS oraz rosyjskiego GLONASS,
- antena: zewnętrzna PGA-1,
- tryb pomiaru: czasu rzeczywistego (RTK),
- modemy zestawu GPS RTK: MDS,
- standardowa dokładność pomiaru bez trybu RTK: 5-10 m,
- dokładność pomiaru w trybie RTK: współrzędne płaskie ok. 10 cm, współrzędne wysokościowe 1-3 cm.

Metoda DGPS, w przeciwieństwie do klasycznej metody GPS charakteryzującej się użyciem tylko jednego odbiornika, wykorzystuje dwa odbiorniki – pierwszy to tzw. stacja bazowa (odbiornik nieruchomy), natomiast drugi to odbiornik ruchomy. Metoda ta jest o wiele dokładniejsza i polega na ciągłym pomiarze współrzędnych anteny odbiornika ruchomego z wykorzystaniem poprawek uzyskanych ze stacji bazowej. Poprawki obliczane są z wykorzystaniem rachunku różniczkowego (stąd nazwa metody) i pozwalają na wyeliminowanie większości błędów związanych z pomiarami satelitarnymi (błędy szczytkowe refrakcji jonosferycznej i troposferycznej, błędy orbit satelitarnych itp.). W każdej kampanii pomiarowej stacja bazowa była stawiana w punktach o znanych współrzędnych (w zależności od kolejnych dni pomiarowych punkty te były zlokalizowane: na górze k. mostu na Kanale Rudzkim, na wysoczyźnie w miejscowości Okrasin oraz na wysoczyźnie w m. Burzyn), które do niej wprowadzono po uruchomieniu urządzenia.

Następnie stacja bazowa wyznaczała swoją pozycję na podstawie położenia sztucznych satelit Ziemi i znając własne (właściwe) współrzędne obliczała błąd wyznaczenia pozycji. Błąd ten był wysyłany drogą radiową do odbiornika ruchomego, który po

Tabela 5.4 Wyniki pomiarów hydrometrycznych oraz geodezyjnych prowadzonych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w latach 2007-2008

Nr przekroju	Kod	Rzeka	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]	Współrzędne geograficzne przekroju				Data pomiarów	Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Pole powierzchni przekroju A [m ²]	Szerokość przekroju B [m]	Szerokość dna D [m]	Średnia głębokość przepływu $h_{sr} = A \cdot B^{-1}$ [m]	Maksymalna głębokość przepływu h_{max} [m]	Spadek zwierciadła wody w przekroju i_{lok} [%]	Spadek zw. wody na odcinku do następnego przekroju i [%]	Prędkość średnia v_{sr} [m·s ⁻¹]	Prędkość maksymalna v_{max} [m·s ⁻¹]	Przepływ $Q = A \cdot v_{sr}$ [m ³ ·s ⁻¹]
				Układ 1965	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	X												
1	BD_00_M		50,702	WG 84	53°28'41,3362 N	22°37'38,7231 E	X	106,705	77,522	31,00	6,5	2,501	4,31	0,0995	0,1362	0,2434	0,358	18,867	
				Układ 1965	53,47812850 N	22,62741110 E	Y	106,578	74,215	28,50	6,0	2,604	4,36	0,0428	0,1040	0,1779	0,404	13,205	
2	BD_03_M		47,761	WG 84	53°27'45,0625 N	22°35'57,7040 N	X	106,272	47,365	29,00	25,5	1,633	2,00	0,1090	0,1376	0,4357	0,723	20,638	
				Układ 1965	53,46249690 N	22,59935020 E	Y	105,631	33,853	28,80	25,5	1,175	1,45	0,1023	0,1454	0,3951	0,645	13,377	
3	BD_05_M		42,639	WG 84	53°26'26,0898 N	22°34'05,6308 E	X	105,607	43,515	23,50	14,0	1,852	2,53	0,1610	0,1537	0,4176	0,699	18,170	
				Układ 1965	53,44056010 N	22,56821880 E	Y	105,567	43,642	24,50	17,0	1,781	2,26	0,1662	0,1619	0,4187	0,673	18,275	
4	BD_06_M		38,574	WG 84	53°25'38,2466 N	22°32'15,3810 E	X	104,909	45,559	23,50	16,0	1,939	2,73	0,1504	0,1384	0,4464	0,648	20,336	
				Układ 1965	53,42729070 N	22,53760580 E	Y	104,263	26,834	22,20	17,0	1,209	1,78	0,1490	0,1448	0,4564	0,706	12,248	

Tabela 5.5 Wyniki pomiarów hydrometrycznych oraz geodezyjnych prowadzonych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w latach 2007-2008

Nr przekroju	Kod	Rzeka	km biegu Biebrzy od ujścia od Narwi [km]	km biegu Biebrzy od przekroju nr 1 [km]	Współrzędne geograficzne przekroju				Data pomiarów	Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Pole powierzchni przekroju A [m ²]	Szerokość przekroju B [m]	Szerokość dna D [m]	Średnia głębokość przepływu $h_{sr} = A \cdot B^{-1}$ [m]	Maksymalna głębokość przepływu h_{max} [m]	Spadek zwierciadła wody w przekroju i_{lok} [‰]	Spadek zw. wody na odcinku do następnego przekroju i [‰]	Prędkość średnia v_{sr} [m·s ⁻¹]	Prędkość maksymalna v_{max} [m·s ⁻¹]	Przepływ $Q = A \cdot v_{sr}$ [m ³ ·s ⁻¹]
5	BD_07_M	Biebrza	35,770	14,932	WGSR4	Szerokość geograficzna	53°25'04,2978 N	27.07.2007 godz. 11:15	104,549	45,366	25,60	21,0	1,772	2,40	0,1379	0,0997	0,4595	0,717	20,844	
						Długość geograficzna	22°32'39,6409 E													
6	BD_08_M	Biebrza	32,599	18,104	WGSR4	Szerokość geograficzna	53°23'59,2120 N	22.09.2007 godz. 13:10	104,235	62,586	32,30	29,0	1,938	2,35	0,0460	0,0926	0,3277	0,588	20,507	
						Długość geograficzna	22°32'21,5605 E													
7	BD_09_M	Biebrza	30,243	20,459	WGSR4	Szerokość geograficzna	53°23'12,7476 N	27.07.2007 godz. 14:50	103,999	49,926	25,50	21,0	1,958	2,85	0,1759	0,1787	0,4072	0,683	20,332	
						Długość geograficzna	22°31'23,3156 E													
8	BD_11_M	Biebrza	22,594	28,108	WGSR4	Szerokość geograficzna	53°23'12,7476 N	22.09.2007 godz. 15:00	104,017	49,487	25,60	21,5	1,933	2,65	0,1448	0,1748	0,3992	0,683	19,756	
						Długość geograficzna	22°52'31,4320 E													
					Układ 1965	Szerokość geograficzna	5849342,180	20.07.2008 godz. 13:55	103,448	34,792	25,30	21,0	1,375	2,28	0,1297	0,1816	0,3817	0,615	13,279	
						Długość geograficzna	4671000,780													
					Układ 1965	Szerokość geograficzna	53°21'27,2765 N	27.07.2007 godz. 18:00	102,632	54,300	27,80	18,5	1,953	2,72	0,1192	0,1155	0,4038	0,775	21,926	
						Długość geograficzna	53,35757680 N													
					Układ 1965	Szerokość geograficzna	22°29'45,8645 E	22.09.2007 godz. 16:35	102,680	53,430	28,30	19,5	1,888	2,60	0,1255	0,1165	0,4018	0,675	21,468	
						Długość geograficzna	22,49607350 E													
					Układ 1965	Szerokość geograficzna	5846057,060	20.07.2008 godz. 17:00	102,059	33,635	26,10	17,5	1,289	1,74	0,0909	0,0849	0,3816	0,603	12,836	
						Długość geograficzna	4669245,380													

Tabela 5.6 Wyniki pomiarów hydrometrycznych oraz geodezyjnych prowadzonych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w latach 2007-2008

Nr przekroju	Kod	Rzeka	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]		Data pomiarów	Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Pole powierzchni przekroju A [m ²]	Szerokość przekroju B [m]	Szerokość dna D [m]	Średnia głębokość przekroju h _{sr} = A·B ⁻¹ [m]	Maksymalna głębokość przekroju h _{max} [m]	Spadek zwierciadła wody w przekroju lok [%]	Spadek zw. wody na odcinku do następ- nego przekroju i [%]	Prędkość średnia v _{sr} [m·s ⁻¹]	Prędkość maksy- malna v _{max} [m·s ⁻¹]	Przepływ Q = A·v _{sr} [m ³ ·s ⁻¹]
			Współrzędne geograficzne przekroju													
9	BD_13_M		19,908	Szerokość geograficzna	53°20'30,7719 N	102,367	48,527	26,00	19,0	1,866	2,28	0,1541	0,1305	0,4539	0,783	22,028
				Długość geograficzna	22°29'26,0797 E											
			30,794	X	5844305,620	101,831	34,146	24,90	19,5	1,371	1,78	0,1270	0,1206	0,3887	0,610	13,271
				Y	4668903,650											
10	BD_14_M		15,953	Szerokość geograficzna	53°19'33,7647 N	101,865	55,417	27,80	13,0	1,993	3,35	0,1108	0,1106	0,3820	0,624	21,169
				Długość geograficzna	22°28'11,2593 E											
			34,749	X	5842524,820	101,851	55,099	28,05	12,5	1,964	3,10	0,1079	0,1097	0,3819	0,625	21,043
				Y	4667543,510											
11	BD_15_M		13,438	Szerokość geograficzna	53°18'23,9278 N	101,575	52,538	36,65	33,0	1,433	1,79	0,1142	0,0999	0,4262	0,702	22,390
				Długość geograficzna	22°27'57,1793 E											
			37,264	X	5840361,160	100,950	30,956	35,30	33,0	0,877	1,19	0,1124	0,0937	0,4429	0,713	13,712
				Y	4667310,370											
12	BD_16_M		10,556	Szerokość geograficzna	53°17'07,0445 N	101,268	67,075	35,70	27,0	1,879	2,40	0,0777	0,1066	0,3102	0,612	20,804
				Długość geograficzna	22°28'06,3263 E											
			40,146	X	5837987,240	101,287	65,197	34,30	28,0	1,901	2,30	0,0681	0,0977	0,3298	0,560	21,504
				Y	4667511,740											
				X	5837987,240	100,680	40,440	34,40	27,5	1,176	1,65	0,0650	0,0606	0,3407	0,645	13,776
				Y	4667511,740											

Tabela 5.7 Wyniki pomiarów hydrometrycznych oraz geodezyjnych prowadzonych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w latach 2007-2008

Nr przekroju	Kod	Rzeka	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]	Współrzędne geograficzne przekroju				Data pomiarów	Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Pole powierzchni przekroju A [m ²]	Szerokość przekroju B [m]	Szerokość dna D [m]	Średnia głębokość przepływu h _{sr} = A·B ⁻¹ [m]	Maksymalna głębokość przepływu h _{max} [m]	Spadek zwierciadła wody w przekroju i _{lok} [‰]	Spadek zw. wody na odcinku do następnego przekroju i [‰]	Prędkość średnia v _{sr} [m·s ⁻¹]	Prędkość maksymalna v _{max} [m·s ⁻¹]	Przeptyw Q = A·v _{sr} [m ³ ·s ⁻¹]
				Układ 1965	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Y												
13	BD_17_M		8,295	WGS84	Szerokość geograficzna	53°16'28,8290 N	24.09.2007 godz. 16:20	101,066	51,607	31,00	17,0	1,664	2,44	0,0990	0,1414	0,4257	0,786	21,967	
			42,407		Długość geograficzna	22°27'34,1289 E													Y
14	BD_18_M		5,488	WGS84	Szerokość geograficzna	53°15'22,2360 N	24.09.2007 godz. 13:20	100,669	44,820	34,80	15,0	1,288	2,40	0,1622	0,1204	0,5068	1,008	22,717	
			45,215		Długość geograficzna	22°27'08,8657 E													Y
15	BD_19_M		3,252	WGS84	Szerokość geograficzna	53°14'37,7060 N	28.07.2007 godz. 18:15	100,489	44,670	25,00	15,5	1,787	2,35	0,0926	-	0,4708	0,753	21,032	
			47,450		Długość geograficzna	22°26'38,8920 E													Y
16	KR_01	Kanał Rudzki	50,353	WGS84	Szerokość geograficzna	53°28'41,5829 N	26.07.2007 godz. 14:50	106,710	18,531	12,30	7,5	1,507	1,96	-	-	0,2253	0,414	4,176	
			0,349		Długość geograficzna	22°37'26,9844 E													Y

Tabela 5.8 Wyniki pomiarów hydrometrycznych oraz geodezyjnych prowadzonych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w latach 2007-2008

Nr przekroju	Kod	Rzeka	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]	Km biegu Biebrzy od przekroju nr 1 [km]	Współrzędne geograficzne przekroju				Data pomiarów	Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Pole powierzchni przekroju A [m ²]	Szerokość przekroju B [m]	Szerokość dna D [m]	Średnia głębokość przepływu $h_{sr} = A \cdot B^{-1}$ [m]	Maksymalna głębokość przepływu h_{max} [m]	Spadek zwierciadła wody w przekroju i_{lok} [‰]	Spadek zw. wody na odcinku do następnego przekroju i [‰]	Prędkość średnia v_{sr} [m·s ⁻¹]	Prędkość maksymalna v_{max} [m·s ⁻¹]	Przepływ $Q = A \cdot v_{sr}$ [m ³ ·s ⁻¹]
					Układ 1965	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	X												
17	KLIMASZ_01	Klimaszewnica	40,500	10,202	WGS84	Szerokość geograficzna	53°26'18,5050 N	53,438474 N	27.07.2007 godz. 9:10	106,259	0,956	3,70	1,0	0,258	0,40	-	-	0,0941	0,188	0,090
						Długość geograficzna	22°33'04,9553 E	22,551376 E												
18	KOSODKA_01	Kosódka	24,180	26,522	WGS84	Szerokość geograficzna	53°21'39,0248 N	53,3608402 N	27.07.2007 godz. 16:55	102,895	6,257	7,30	3,0	0,857	1,30	-	-	0,0889	0,155	0,556
						Długość geograficzna	22°30'17,0920 E	22,5047478 E												
19	WISSA_01	Wissa	22,775	27,927	WGS84	Szerokość geograficzna	53°21'34,3575 N	53,3595437 N	28.07.2007 godz. 11:15	102,781	12,484	7,80	3,5	1,601	2,23	-	-	0,1118	0,204	1,396
						Długość geograficzna	22°29'49,7771 E	22,4971603 E												
					Układ 1965	X	Y	20.07.2008 godz. 16:20	102,080	7,607	6,50	3,5	1,170	1,59	-	-	0,1020	0,165	0,776	

wyznaczeniu swojej pozycji korygował ją o otrzymaną poprawkę. Pomiary położenia stacji bazowej odbywały się automatycznie w czasie rzeczywistym (tryb RTK, z ang. *Real Time Kinematics*), tak więc poprawki korygujące pozycję odbiornika ruchomego były przekazywane do niego na bieżąco. Ze względu na konieczność korzystania przez obydwa odbiorniki z tej samej konfiguracji satelit w poszczególnych dniach pomiarowych stacja bazowa była przenoszona w taki sposób, aby nie przekraczać pomiędzy odbiornikami dystansu 15 km. Stacja bazowa nie została dowiązana do sieci geodezyjnej, gdyż do wyznaczania współrzędnych geograficznych przekrojów oraz współrzędnych geograficznych punktów pomiaru poziomu zwierciadła wody wystarczająca była standardowa dokładność 5-10 m. Zbiorcze wyniki wyznaczania współrzędnych geograficznych dla wszystkich przekrojów poprzecznych oraz punktów pomiaru poziomu zwierciadła wody mierzonych w poszczególnych kampaniach pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 5.4-5.8, natomiast dane „surowe” znajdują się w tabelach 8.16-8.17, 8.41-8.42 oraz 8.66 umieszczonych w załącznikach do doktoratu.

Współrzędne geograficzne punktów poboru próbek wody oraz punktów pomiaru temperatury wody (długość i szerokość w stopniach, minutach, sekundach – układ WGS84) wyznaczono przy wykorzystaniu pojedynczego odbiornika GPS o następujących parametrach:

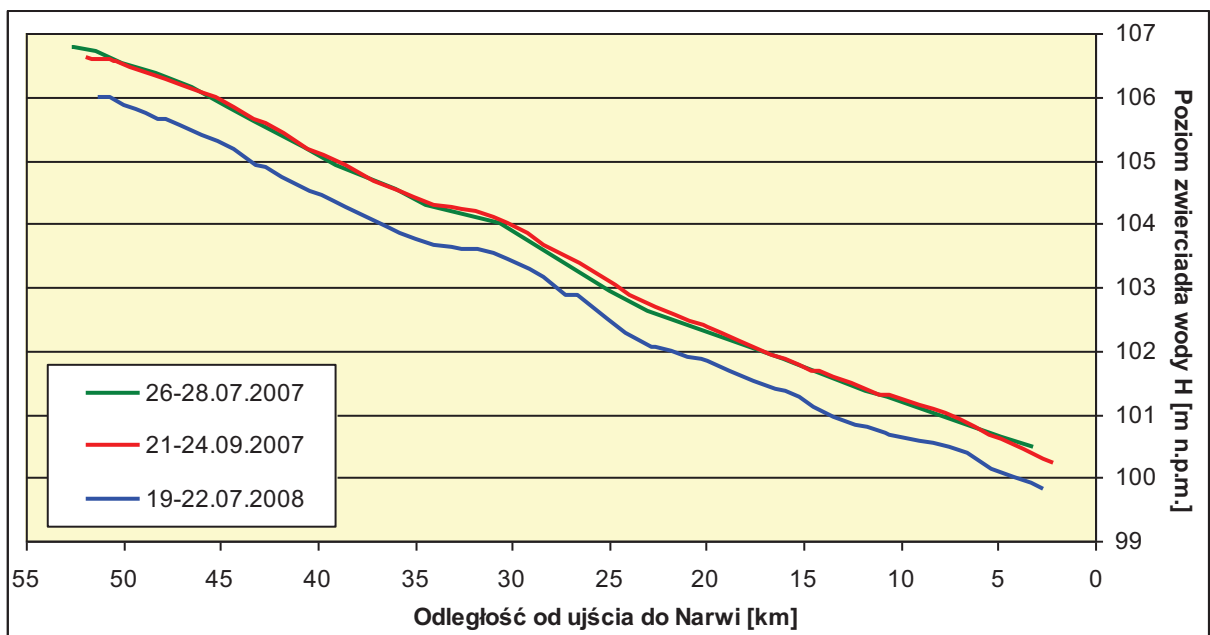
- producent: GARMIN (<http://www.garmin.com.pl/>),
- model: GPS 60,
- odbiornik: 12 kanałów równoległych, przystosowany do współpracy z systemem WAAS/EGNOS, śledzi i wykorzystuje do uaktualnienia swojej pozycji do 12 satelitów,
- uaktualnianie pozycji: co 1 s,
- dokładność pomiaru GPS: 5-15 m,
- dokładność pomiaru DGPS: 3-5 m,
- dokładność pomiaru z WAAS/EGNOS: 3-5 m.

Wyniki wyznaczania współrzędnych geograficznych punktów poboru próbek wody oraz punktów pomiaru temperatury wody z poszczególnych kampanii pomiarowych zostały przedstawione w tabeli 5.9.

5.2.2 Pomiary poziomu zwierciadła wody

Pomiary poziomu zwierciadła wody wykonano przy użyciu tego samego sprzętu (TOPCON Legacy H) oraz tej samej metody (DGPS), co przy wyznaczeniu współrzędnych geograficznych przekrojów, z tym że prowadzono je w trybie RTK, dzięki czemu dokładność wynosiła w pionie od 1 do 3 cm (zazwyczaj ok. 1 cm). Przy przeliczaniu uzyskanych danych wysokościowych z układu WGS84 na układ Kronsztad 60 (m n.p.m.) uwzględniono odstęp geoidy od elipsoidy WGS84. Ponieważ pomiary poziomu zwierciadła wody trwały kilka dni uwzględniono też poprawkę na różnicę stanu wody pomiędzy pierwszym dniem pomiarowym (odczyt zwierciadła wody w miejscowości Osowiec + pomocniczo odczyt na tamtejszym

wodowskazie), a każdym następnym. Dodatkowo, w ostatnim dniu pomiarów został też zmierzony poziom wody w m. Burzyn (oraz pomocniczo odczytano stan tamtejszego wodowskazu) celem późniejszego sprawdzenia, czy cały (podłużny) profil pomiarowy Biebrzy Dolnej zamknął się pomiędzy poszczególnymi wodowskazami. Stacja bazowa została dowiązana do sieci geodezyjnej, zmierzono współrzędne (x, y, z) trzech reperów znajdujących się odpowiednio: k. mostu na Kanale Rudzkim, k. mostu na Biebrzy (m. Osowiec) oraz przy wodowskazie w m. Burzyn. Zbiorcze wyniki pomiarów poziomu zwierciadła wody w poszczególnych kampaniach pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 5.4-5.8, profil podłużny zwierciadła Biebrzy Dolnej zaprezentowano na rys. 5.21, natomiast dane „surowe” znajdują się w tabelach 8.16-8.17, 8.41-8.42 oraz 8.66 umieszczonych w załącznikach do doktoratu.



Rys. 5.21 Profil podłużny zwierciadła wody Biebrzy Dolnej w poszczególnych kampaniach pomiarowych w latach 2007-2008

5.2.3 Obliczenie spadków zwierciadła wody

Na podstawie wyników pomiarów poziomu zwierciadła wody wyznaczono jego spadki podłużne, zarówno pomiędzy poszczególnymi przekrojami (i), jak i też spadki lokalne (i_{lok}) w przekrojach. Spadek podłużny pomiędzy przekrojami obliczono jako stosunek różnicy poziomów zwierciadła wody w poszczególnych przekrojach do odległości pomiędzy nimi (mierzonej wzdłuż biegu koryta rzecznej), natomiast spadek lokalny w danym przekroju obliczono jako stosunek różnicy poziomów zwierciadła wody pomiędzy dwoma najbliższymi punktami pomiarowymi znajdującymi się przed oraz za przekrojem do odległości pomiędzy nimi (mierzonej wzdłuż biegu koryta rzecznej). Odległości pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi zwierciadła wody obliczono wprowadzając współrzędne geograficzne

punktów do programu ArcView GIS, a następnie digitalizując Biebrzę Dolną. Zbiorcze wyniki obliczenia spadków zwierciadła wody dla wszystkich przekrojów poprzecznych w poszczególnych kampaniach pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 5.4-5.8.

5.3 Pobór próbek wód powierzchniowych oraz analizy chemiczne

Ostatni dzień każdej kampanii pomiarowej został poświęcony na pobór próbek wody z Biebrzy oraz jej dopływów, pomiar temperatury wody, transport próbek do laboratorium oraz przeprowadzenie w nim analiz chemicznych. Działania te miały na celu określenie parametrów fizyko-chemicznych oraz hydrobiologicznych wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy oraz ich zmian na poszczególnych odcinkach cieków.

5.3.1 Pobór próbek oraz pomiary temperatury wód przypowierzchniowych

Próbki wód przypowierzchniowych zostały pobrane w 14 miejscach, z czego 10 zlokalizowanych było na Biebrzy Dolnej (na odcinku od m. Osowiec niemal aż po ujście do Narwi), natomiast kolejne cztery na dopływach Biebrzy, tzn. po jednym punkcie poboru w ujściowym odcinku Kanału Rudzkiego, Klimaszewnicy, Kosódki oraz Wissy. Próbki wód powierzchniowych do badań fizyko-chemicznych oraz hydrobiologicznych pobrano zgodnie z normą PN-ISO 5667-6:2003 do nowych kanistrów o pojemności 5 dm³, z szerokim wlewem, wykonanych z PEHD oraz posiadających atest PZH HŻ/00975/97. Każda próbka wody składała się z dwóch kanistrów 5L, zawartość jednego była przeznaczona do oznaczeń fizyko-chemicznych, natomiast drugiego do oznaczeń hydrobiologicznych. Woda została pobrana z głównego nurtu rzeki, z głębokości ok. 0,5 m pod powierzchnią zwierciadła wody, kanister został wypełniony aż pod sam korek. Temperatura wody była mierzona zgodnie z normą PB-PT-01 wyd.2:25.06.2007 (wewnętrzna procedura Inspekcji Ochrony Środowiska wprowadzona w miejsce nie zaktualizowanej polskiej normy PN-77 C-04584), dwukrotnie za pomocą wodoszczelnego termometru elektronicznego o następujących parametrach:

- producent: Alchem Sp. z o. o. (<http://www.alchem.com.pl/>),
- model TH 101,
- długość 125 mm,
- sonda wykonana ze stali nierdzewnej,
- zakres pomiarowy: od -50°C do +200°C,
- dokładność pomiaru (błąd): ± 1°C,
- precyzja pomiaru (rozdzielczość): 0,1°C,
- zakres temperatury otoczenia: od -10°C do +50°C,
- zasilanie: bateria 1,5V typu LR44.

Zbiorcze wyniki pomiarów temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych oraz ich lokalizacja zostały przedstawione w tabelach 5.9-5.11.

Tabela 5.9 Lokalizacja punktów poboru próbek oraz pomiaru temperatury wód powierzchniowych i przydatnych Basenu Dolnego Biebrzy

L. p.	Kod punktu	Rzeka	Przekrój poprzeczny i/lub km biegu Biebrzy od Narwi [km]	Współrzędne geograficzne WGS84		Pobór próbki wody	Data pomiaru temperatury wody						Głębokość poboru próbki wody [m]	Uwagi
				Szerokość	Długość		29.07.2007	25.09.2007	23.07.2008	Godz.	t [°C]	Godz.		
1	WODA_01	Klimaszewnica	KLIMASZ_01	N 53°26'18.5"	E 022°33'05.0"		10:06	18,8	9:47	11,0	9:16	15,0	0,5 m pod powierzchnią zw. wody	Ujście Klimaszewnicy
2	WODA_02	Biebrza	BD_00_M 50,702	N 53°28'41.3"	E 022°37'38.4"	TAK	10:47	21,2	10:29	13,9	9:59	19,7	4,5	Pierwszy punkt pomiarowy na Biebrzy
	–						–	–	–	10:04	20,2			
3	WODA_03	Kanał Rudzki	KR_01	N 53°28'41.6"	E 022°37'26.4"	NIE	10:51	20,2	10:35	13,9	10:16	18,0	0,5 m pod powierzchnią zwierciadła wody	Ujście Kanału Rudzkiego
4	TEMP_01		48,123	N 53°27'43.0"	E 022°36'16.8"		10:59	21,1	10:40	14,0	10:22	19,2		
5	WODA_04		44,560	N 53°27'03.8"	E 022°34'05.1"	TAK	11:06	21,2	10:47	14,0	10:29	19,3		Środek odcinka pomiędzy Kanałem Rudzkim a Klimaszewnicą
6	WODA_05	Biebrza	BD_05_M 42,639	N 53°26'26.0"	E 022°34'05.5"	TAK	11:13	21,1	10:55	14,0	10:36	19,4	1,9	Biebrza powyżej ujścia Klimaszewnicy
	–						–	–	–	10:40	19,8			
7	TEMP_02		38,665	N 53°25'40.4"	E 022°32'12.9"	NIE	11:26	21,0	11:08	13,9	10:59	19,4		
8	TEMP_03		36,084	N 53°25'11.9"	E 022°32'41.6"		11:29	21,0	11:12	13,9	11:03	19,5		
9	WODA_06		32,688	N 53°24'02.2"	E 022°32'21.6"	TAK	11:37	21,0	11:20	13,9	11:11	19,4	0,5 m pod powierzchnią zwierciadła wody	Środek odcinka pomiędzy Klimaszewnicą a Kosódką
10	TEMP_04		28,292	N 53°22'28.5"	E 022°31'17.0"	NIE	11:47	21,0	11:31	14,0	11:20	19,6		Biebrza powyżej ujścia Kosódki
11	WODA_07	Kosódka	24,410	N 53°21'43.6"	E 022°30'09.7"	TAK	11:56	20,9	11:39	13,8	11:34	19,8	2,5	
	–						–	–	–	11:39	20,2			
12	WODA_08		KOSODKA_01	N 53°21'39.0"	E 022°30'17.1"		12:01	19,4	11:49	11,7	11:53	19,3	0,5 m pod powierzchnią zwierciadła wody	Ujście Kosódki
13	WODA_09	Wissa	WISSA_01	N 53°21'34.5"	E 022°29'49.3"		12:11	20,2	11:59	12,8	12:09	19,2		Ujście Wisy
14	TEMP_05		19,578	N 53°20'21.1"	E 022°29'18.8"	NIE	12:20	20,1	12:06	13,6	12:25	20,0		Biebrza powyżej wsi Brzostowo
15	WODA_10	Biebrza	BD_14_M 15,953	N 53°19'33.8"	E 022°28'11.2"	TAK	12:27	20,7	12:15	13,8	12:30	20,1	2,8	
	–						–	–	–	12:34	20,5			
16	WODA_11		14,373	N 53°18'53.3"	E 022°27'57.4"		12:36	20,8	12:25	14,0	12:50	20,4	0,5 m pod powierzchnią zwierciadła wody	Biebrza poniżej wsi Brzostowo
17	TEMP_06		11,797	N 53°17'41.5"	E 022°28'10.4"	NIE	12:43	21,0	12:32	14,1	12:57	20,5		
18	WODA_12	Biebrza	BD_16_M 10,556	N 53°17'07.2"	E 022°28'08.1"	TAK	12:47	21,0	12:35	14,0	13:06	20,4	2,5	Biebrza na wysokości wsi Burzyn
	–						–	–	–	13:10	20,8			
19	TEMP_07		8,273	N 53°16'19.5"	E 022°27'35.9"	NIE	12:55	21,0	12:45	14,0	13:25	20,1	0,5 m pod pow. zw. wody	
20	WODA_13	Biebrza	5,290	N 53°15'32.7"	E 022°27'13.8"	TAK	12:58	21,1	12:49	13,9	13:29	20,0	1,8	Biebrza poniżej wsi Rutkowskie
	–						–	–	–	13:35	20,2			
21	WODA_14		BD_19_M 3,252	N 53°14'37.2"	E 022°26'39.5"		13:09	21,1	12:58	13,9	13:49	20,0	0,5 m pod pow. zw. wody	Ostatni punkt pomiarowy na Biebrzy

5.3.2 Pobór próbek oraz pomiary temperatury wód przydennych

Próbki wód przydennych zostały pobrane w 6 miejscach zlokalizowanych na Biebrzy Dolnej (na odcinku od m. Osowiec niemal aż po ujście do Narwi), zgodnie z normą PN-ISO 5667-6:2003 do nowych kanistrów o pojemności 5 dm³, z szerokim wlewem, wykonanych z PEHD oraz posiadających atest PZH HŻ/00975/97. Każda próbka wody składała się z jednego kanistra 5L i była przeznaczona tylko do oznaczeń fizyko-chemicznych. Woda została pobrana z głównego nurtu rzeki, przy dnie, za pomocą tzw. czerpaka wody – aparatu Ruttnera (producent Limnos). Urządzenie to składało się z walca (zbudowanego z przezroczystego tworzywa sztucznego) o długości 1 m zamocowanego na stalowej szynie, po której mógł się swobodnie przemieszczać. Walec posiadał na obydwu końcach szczelne klapki zamykane za pomocą specjalnego mechanizmu spustowego. Pobór próbki wody polegał na opuszczeniu otwartego aparatu na dno rzeki za pomocą cechowanej liny stalowej, gdzie po zwolnieniu mechanizmu spustowego następowało szczelne zamknięcie walca i unieruchomienie w nim wody o objętości 5 dm³. Po wyciągnięciu wypełnionego wodą aparatu z rzeki następowało przelanie jego zawartości do kanistra oraz jednoczesny odczyt temperatury z termometru rtęciowego zamocowanego na stałe we wnętrzu walca. Zbiornicze wyniki pomiarów temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych oraz ich lokalizacja zostały przedstawione w tabeli 5.9.

5.3.3 Przechowywanie oraz transport próbek

Natychmiast po pobraniu próbki wody z rzeki każdy kanister został (po dokładnym zakręceniu) schowany do nieprzepuszczalnego dla promieniowania słonecznego transportera (przenośnej chłodziarki turystycznej wykonanej z tworzywa sztucznego) o pojemności 24 dm³ (po 2 kanistry w transporterze), w którym umieszczono kilka wkładów mrożących zapobiegających wzrostowi temperatury próbek w czasie przechowywania (zgodnie z wytycznymi norm: PN-ISO 5667-6:2003 oraz PN-EN ISO 5667-3:2005). Pojemniki na próbki szczelnie zamknięto, a po skończonym poborze cały zestaw 14 transporterów (w ostatniej kampanii 17 transporterów) zawieziono samochodem do laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Białymstoku, gdzie niezwłocznie przystąpiono do przeprowadzenia analiz chemicznych. Pobór próbek wody trwał średnio 3-4 godziny, dowóz do laboratorium od 30 do 60 min.

5.3.4 Analizy chemiczne próbek

Analizy chemiczne próbek obejmowały oznaczenie w wodzie następujących parametrów:

- 1) Wskaźniki zawartości substancji biogennych, w tym:
 - azot amonowy [mg N·dm⁻³] oraz amoniak [mg NH₄·dm⁻³],
 - azot azotanowy(III) [mg N·dm⁻³] oraz azotany(III) [mg NO₂·dm⁻³],

Tabela 5.10 Wyniki analiz chemicznych próbek wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy pobranych w latach 2007-2008

Oznaczany parametr	Termin poboru próbek	Normy, procedury oznaczania	Rzeka																		
			Kanał Rudzki	Klimaszewnica	Kosódka	Wissa	Numer punktu pomiarowego WODA														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Odczyn	29.07.2007	PN-90/C-04540/01	7,9	7,5	7,7	7,4	7,9	7,9	7,5	7,6	7,5	7,6	7,6	7,5	7,6	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	
	25.09.2007		7,9	7,8	7,7	7,4	7,9	7,8	7,9	7,9	7,8	7,8	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
	23.07.2008		7,8	7,8	7,6	7,5	8,0	7,5	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Temperatura [°C]	29.07.2007	PB-PT-01 wyd.2:25.06.2007	20,2	21,2	18,8	19,4	20,3	20,3	21,2	21,1	21,0	20,9	20,7	21,0	20,8	21,0	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1
	25.09.2007		14,0	13,9	11,0	11,7	12,8	11,7	12,8	14,0	14,0	13,9	13,8	13,8	14,0	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9	13,9
	23.07.2008		18,0	19,7	15,0	19,3	19,2	19,3	19,2	19,3	19,4	19,4	19,8	20,1	20,4	20,4	20,4	20,0	20,0	20,0	20,0
Zasadowość ogólna [mg CaCO ₃ ·dm ⁻³]	29.07.2007	PN-EN ISO 9963-1:2001	190	245	251	247	257	257	236	235	235	239	242	239	238	238	238	238	240	240	240
	25.09.2007		196	225	242	219	294	219	294	211	212	219	215	225	226	222	222	222	221	221	221
	23.07.2008		217	230	235	348	270	348	270	219	220	218	230	221	232	226	222	222	230	230	230
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ ·dm ⁻³]	29.07.2007	PN-EN 25814:1999	7,1	2,4	6,6	2,6	6,2	6,2	4,2	4,4	3,7	3,9	4,9	4,5	4,7	5,2	4,8	4,8	4,8	4,8	
	25.09.2007		9,7	8,6	8,6	6,9	8,8	6,9	8,8	9,1	8,7	8,4	7,8	8,1	8,4	8,2	8,3	9,1	9,1	9,1	
	23.07.2008		8,2	7,5	7,2	4,6	9,2	4,6	9,2	7,7	7,8	7,9	8,1	8,1	8,3	8,5	8,5	8,4	8,4	8,4	
Azot amonowy [mg N·dm ⁻³]	29.07.2007	PN/C-04576-4/1994	0,17	0,14	0,25	0,18	0,35	0,35	0,20	0,23	0,13	0,17	0,38	0,27	0,25	0,20	0,24	0,24	0,24	0,24	
	25.09.2007		0,07	0,04	0,11	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,07	0,06	0,04	0,07	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	
	23.07.2008		0,13	0,06	0,12	0,11	0,10	0,11	0,10	0,07	0,10	0,11	0,07	0,11	0,10	0,09	0,08	0,16	0,16	0,16	
Amoniak [mg NH ₄ ·dm ⁻³]	29.07.2007	Azot amonowy x 1,1426	0,19	0,16	0,29	0,21	0,40	0,40	0,23	0,26	0,15	0,19	0,43	0,31	0,29	0,23	0,27	0,27	0,27	0,27	
	25.09.2007		0,08	0,05	0,13	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,08	0,07	0,05	0,08	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	
	23.07.2008		0,15	0,07	0,14	0,13	0,11	0,13	0,11	0,08	0,11	0,13	0,08	0,13	0,11	0,10	0,09	0,18	0,18	0,18	
Azot azotanowy(III) [mg N·dm ⁻³]	29.07.2007	PN-EN 26777/1999	0,005	0,002	0,028	0,003	0,006	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	
	25.09.2007		0,003	0,003	0,019	<0,002	0,004	<0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
	23.07.2008		0,005	0,005	0,030	0,003	0,005	0,003	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
Azotany(III) [mg NO ₂ ·dm ⁻³]	29.07.2007	Azot azotanowy(III) x 3,2857	0,016	0,007	0,092	0,010	0,020	0,020	0,007	0,007	0,007	0,007	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	
	25.09.2007		0,010	0,010	0,062	<0,007	0,013	<0,007	0,013	0,010	0,010	0,007	0,007	0,007	0,020	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	
	23.07.2008		0,016	0,016	0,099	0,010	0,016	0,010	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	
Azot azotanowy(V) [mg N·dm ⁻³]	29.07.2007	PN-EN ISO 10304-1:2001	0,31	<0,10	0,56	<0,10	0,56	0,56	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	0,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	25.09.2007		0,18	0,19	0,58	<0,10	0,52	<0,10	0,52	0,20	0,18	0,16	0,17	0,18	0,18	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18	
	23.07.2008		0,15	0,15	0,37	<0,10	0,51	<0,10	0,51	0,12	0,12	0,14	0,13	0,17	0,16	0,18	0,17	0,16	0,17	0,17	

Tabela 5.11 Wyniki analiz chemicznych próbek wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy pobranych w latach 2007-2008

Oznaczany parametr	Termin poboru próbek	Normy, procedury oznaczenia	Rzeka																			
			Kanał Rudzki			Klimaszewnica			Kosóдка			Wissa			Numer punktu pomiarowego WODA							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						
Azotany(V) [mg NO ₃ ·dm ⁻³]	29.07.2007	Azot azotanowy(V) x 4,4286	2,48	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44	2,48	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44				
	25.09.2007		2,57	<0,44	0,84	0,88	0,80	0,71	0,75	2,30	0,80	0,80	0,80	0,71	0,80	0,71	0,80	0,80				
	23.07.2008		1,64	<0,44	0,66	0,53	0,53	0,62	0,58	2,26	0,66	0,53	0,62	0,58	0,71	0,80	0,75	0,71	0,71			
Azot organiczny [mg N·dm ⁻³]	29.07.2007	PN-C-04576-4:1994 PN-73/C-04576/11	2,10	1,50	2,40	2,80	1,30	2,10	0,65	2,40	2,80	1,30	2,10	1,80	1,10	1,20	1,20	1,30				
	25.09.2007		1,10	0,93	1,30	0,92	0,72	0,76	0,90	0,64	1,30	0,92	0,72	0,76	0,90	1,00	0,79	0,89				
	23.07.2008		1,18	2,09	0,86	0,80	0,90	0,67	0,82	0,49	0,86	0,80	0,90	0,67	0,82	0,81	0,76	0,76	0,81			
Azot Kjeldahla [mg N·dm ⁻³]	29.07.2007	Azot organiczny + azot amonowy	2,35	1,68	2,54	3,00	1,53	2,23	1,00	2,54	3,00	1,53	2,23	1,97	1,48	1,47	1,45	1,50				
	25.09.2007		1,21	1,00	1,34	0,99	0,81	0,83	0,96	0,71	1,34	0,99	0,81	0,83	0,96	1,07	0,83	0,93				
	23.07.2008		1,30	2,20	0,92	0,87	1,00	0,78	0,89	0,59	0,92	0,87	1,00	0,78	0,89	0,92	0,86	0,85	0,89			
Azot ogólny [mg N·dm ⁻³]	29.07.2007	Azot azotanowy(III) + azot azotanowy(V) + azot amonowy + azot organiczny	2,94	1,78	2,64	3,10	1,63	2,33	1,57	2,64	3,10	1,63	2,33	2,07	1,59	1,57	1,57	1,60				
	25.09.2007		1,81	1,10	1,53	1,19	0,99	0,99	0,99	1,23	1,53	1,19	0,99	0,99	1,13	1,11	1,26	0,99				
	23.07.2008		1,70	2,30	1,08	1,00	1,13	0,93	1,03	1,11	1,08	1,00	1,13	0,93	1,03	1,10	1,03	1,04				
Fosfor mineralny [mg P·dm ⁻³]	29.07.2007	PN-EN ISO 6878:2006	0,055	0,068	0,065	0,068	0,082	0,072	0,075	0,065	0,068	0,082	0,072	0,078	0,068	0,075	0,068	0,072				
	25.09.2007		0,042	0,031	0,024	0,032	0,033	0,036	0,039	0,046	0,024	0,032	0,033	0,036	0,039	0,036	0,039	0,036				
	23.07.2008		0,049	0,021	0,049	0,082	0,065	0,072	0,059	0,068	0,049	0,082	0,065	0,072	0,059	0,062	0,062	0,055				
Fosforany(V) [mg PO ₄ ·dm ⁻³]	29.07.2007	Fosfor mineralny x 3,0645	0,168	0,208	0,199	0,208	0,251	0,221	0,230	0,199	0,208	0,251	0,221	0,239	0,208	0,230	0,208	0,221				
	25.09.2007		0,129	0,095	0,073	0,098	0,101	0,110	0,110	0,141	0,073	0,098	0,101	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110				
	23.07.2008		0,150	0,064	0,150	0,251	0,199	0,221	0,181	0,208	0,150	0,251	0,199	0,221	0,181	0,190	0,190	0,169				
Fosfor organiczny [mg P·dm ⁻³]	29.07.2007	PN-EN ISO 6878:2006	0,085	0,041	0,075	0,071	0,078	0,098	0,045	0,075	0,071	0,078	0,098	0,072	0,061	0,055	0,061	0,058				
	25.09.2007		0,036	0,041	0,023	0,023	0,077	0,041	0,025	0,029	0,023	0,023	0,077	0,041	0,025	0,032	0,036	0,025				
	23.07.2008		0,054	0,115	0,034	0,016	0,025	0,021	0,034	0,038	0,034	0,016	0,025	0,021	0,034	0,036	0,031	0,035				
Fosfor ogólny [mg P·dm ⁻³]	29.07.2007	Fosfor mineralny + fosfor organiczny	0,140	0,109	0,140	0,139	0,160	0,170	0,120	0,140	0,139	0,160	0,170	0,150	0,129	0,130	0,129	0,130				
	25.09.2007		0,078	0,072	0,047	0,055	0,110	0,077	0,064	0,075	0,047	0,055	0,110	0,077	0,064	0,068	0,072	0,064				
	23.07.2008		0,103	0,136	0,083	0,098	0,090	0,093	0,093	0,106	0,083	0,098	0,090	0,093	0,093	0,095	0,093	0,090				
Chlorofil "a" [µg·dm ⁻³]	29.07.2007	PB-BL-03 wyd.4:06.03.2008	4,84	1,88	1,78	3,61	2,48	3,18	2,41	1,78	3,61	2,48	3,18	1,70	3,04	2,87	3,40	3,13				
	25.09.2007		1,85	14,41	2,55	1,85	2,77	2,27	1,49	1,32	2,55	1,85	2,77	2,27	1,49	2,60	2,92	3,14				
	23.07.2008		8,81	31,81	5,13	4,53	4,45	5,46	6,45	2,10	5,13	4,53	4,45	5,46	6,45	4,91	6,52	6,71				

Tabela 5.13 Klasy jakości próbek wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy pobranych w latach 2007-2008, w pięciostopniowej (identycznej jak w tab. 5.12) skali od I do V (Rozporządzenie 2008)

Oznaczany parametr	Termin poboru próbek	Rzeka													
		Kanał Rudzki	Klimaszewnica	Kosówka	Wissa	Biebrza									
		Numer punktu pomiarowego													
		3	1	8	9	2	4	5	6	7	10	11	12	13	14
Odczyn	29.07.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	25.09.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	23.07.2008	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Temperatura [°C]	29.07.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	25.09.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	23.07.2008	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Zasadowość ogólna [mg CaCO ₃ ·dm ⁻³]	29.07.2007	<i>Wg rozporządzenia wskaźnik nie uwzględniany w klasyfikacji</i>													
	25.09.2007														
	23.07.2008														
Tlen rozpuszczony [mg O ₂ ·dm ⁻³]	29.07.2007	I	II	PII	II	PII	PII	PII	PII	PII	PII	PII	PII	II	PII
	25.09.2007	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	23.07.2008	I	I	PII	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Amoniak [mg NH ₄ ·dm ⁻³]	29.07.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	25.09.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	23.07.2008	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Azotany(III) [mg NO ₂ ·dm ⁻³]	29.07.2007	<i>Wg rozporządzenia wskaźnik nie uwzględniany w klasyfikacji</i>													
	25.09.2007														
	23.07.2008														
Azotany(V) [mg NO ₃ ·dm ⁻³]	29.07.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	25.09.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	23.07.2008	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Azot Kjeldahla [mg N·dm ⁻³]	29.07.2007	PII	PII	II	I	PII	PII	II	PII	II	II	II	II	II	PII
	25.09.2007	I	II	I	I	II	I	I	I	I	I	II	I	I	I
	23.07.2008	I	II	PII	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Azot ogólny [mg N·dm ⁻³]	29.07.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	25.09.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	23.07.2008	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Fosforany(V) [mg PO ₄ ·dm ⁻³]	29.07.2007	<i>Wg rozporządzenia wskaźnik nie uwzględniany w klasyfikacji</i>													
	25.09.2007														
	23.07.2008														
Fosfor ogólny [mg P·dm ⁻³]	29.07.2007	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	25.09.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	23.07.2008	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Chlorofil „a” [µg·dm ⁻³]	29.07.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	25.09.2007	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	23.07.2008	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Klasa jakości próbki wody	29.07.2007	PII	PII	PII	II	PII	PII	PII	PII	PII	PII	PII	PII	II	PII
	25.09.2007	I	II	II	I	II	I	I	I	I	I	II	I	I	I
	23.07.2008	I	II	PII	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

UWAGA: Rozporządzenie nie podaje wartości progowych dla klas III, IV i V, więc klasa III, IV i V = „Poniżej II klasy” = PII

Tabela 5.14 Wyniki analiz chemicznych próbek wód przydennych Basenu Dolnego Biebrzy pobranych w dniu 23.07.2008 r.

Oznaczany parametr	Normy, procedury oznaczenia	Numer próbki typu DNO					
		01	02	03	04	05	06
Odczyn	PN-90/C-04540/01	8,0	8,0	8,1	8,1	8,1	8,1
Temperatura [°C]	PB-PT-01 wyd.2:25.06.2007	20,2	19,8	20,2	20,5	20,8	20,2
Zasadowość ogólna [mg CaCO ₃ ·dm ⁻³]	PN-EN ISO 9963-1:2001	227	216	220	223	222	220
Azot amonowy [mg N·dm ⁻³]	PN/C-04576-4/1994	0,09	0,13	0,09	0,09	0,13	0,12
Amoniak [mg NH ₄ ·dm ⁻³]	Azot amonowy × 1,1426	0,10	0,15	0,10	0,10	0,15	0,14
Azot azotanowy(III) [mg N·dm ⁻³]	PN-EN 26777/1999	0,005	0,005	0,003	0,005	0,005	0,003
Azotany(III) [mg NO ₂ ·dm ⁻³]	Azot azotanowy(III) × 3,2857	0,016	0,016	0,010	0,016	0,016	0,010
Azot azotanowy(V) [mg N·dm ⁻³]	PN-EN ISO 10304-1:2001	0,15	0,16	0,13	0,16	0,17	0,17
Azotany(V) [mg NO ₃ ·dm ⁻³]	Azot azotanowy(V) × 4,4286	0,66	0,71	0,58	0,71	0,75	0,75
Azot organiczny [mg N·dm ⁻³]	PN-C-04576-4:1994 PN-73/C-04576/11	0,72	0,56	1,21	0,70	0,75	0,98
Azot Kjeldahla [mg N·dm ⁻³]	Azot organiczny + azot amonowy	0,81	0,69	1,30	0,79	0,88	1,10
Azot ogólny [mg N·dm ⁻³]	Azot azotanowy(III) + azot azotanowy(V) + azot amonowy + azot organiczny	0,965	0,855	1,433	0,955	1,055	1,273
Fosfor mineralny [mg P·dm ⁻³]	PN-EN ISO 6878:2006	0,049	0,055	0,059	0,065	0,059	0,062
Fosforany(V) [mg PO ₄ ·dm ⁻³]	Fosfor mineralny × 3,0645	0,150	0,169	0,181	0,199	0,181	0,190
Fosfor organiczny [mg P·dm ⁻³]	PN-EN ISO 6878:2006	0,049	0,035	0,051	0,045	0,051	0,048
Fosfor ogólny [mg P·dm ⁻³]	Fosfor mineralny + fosfor organiczny	0,098	0,090	0,110	0,110	0,110	0,110

- azot azotanowy(V) [mg N·dm⁻³] oraz azotany(V) [mg NO₃·dm⁻³],
 - azot organiczny [mg N·dm⁻³] oraz azot Kjeldahla [mg N·dm⁻³],
 - azot ogólny [mg N·dm⁻³],
 - fosfor mineralny [mg P·dm⁻³] oraz fosforany(V) [mg PO₄·dm⁻³],
 - fosfor organiczny [mg P·dm⁻³] oraz fosfor ogólny [mg P·dm⁻³].
- 2) Wskaźnik tlenowy: tlen rozpuszczony [mg O₂·dm⁻³].
- 3) Wskaźnik hydrobiologiczny: chlorofil „a” [µg·dm⁻³].
- 4) Pozostałe wskaźniki fizyko-chemiczne, w tym: zasadowość ogólna [mg CaCO₃·dm⁻³] oraz odczyn (pH).

Analizy chemiczne wykonano w laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Białymstoku, które utrzymuje system jakości badań odpowiadający wymaganiom normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005 potwierdzony certyfikatem AB 165 nadanym przez Polskie Centrum Akredytacji (<http://www.wios.bialystok.pl/?go=lab>). Wyniki analiz chemicznych z poszczególnych kampanii pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 5.10-5.11 i 5.14, a wyznaczone na ich podstawie klasy jakości próbek w tabelach 5.12-5.13.

5.4 Dodatkowe dane hydrologiczne

W celu weryfikacji własnych pomiarów terenowych pozyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku odczyty stanów wody na wodowskazach zlokalizowanych na Biebrzy (Osowiec, Burzyn), Kanale Rudzkim (Przechody) oraz Wissie (Czachy) wraz z obliczonymi na ich podstawie przepływami wody w w/w wodowskazach.

Tabela 5.15 Wielkość przepływu oraz stany wody w wodowskazach Basenu Dolnego Biebrzy

Data pomiarów	rz. Biebrza						rz. Kanał Rudzki		
	w. Osowiec			w. Burzyn			w. Przechody		
	H		Q	H		Q	H		Q
	[cm]	[m n.p.m.]	[m ³ ·s ⁻¹]	[cm]	[m n.p.m.]	[m ³ ·s ⁻¹]	[cm]	[m n.p.m.]	[m ³ ·s ⁻¹]
26.07.2007	330	106,83	17,50	222	101,06	25,40	214	110,04	3,18
27.07.2007	330	106,83	17,50	222	101,06	25,40	214	110,04	3,18
28.07.2007	332	106,85	17,90	226	101,10	26,20	219	110,09	3,56
29.07.2007	334	106,87	18,40	228	101,12	26,60	219	110,09	3,56
21.09.2007	310	106,63	16,00	218	101,02	20,60	256	110,46	10,00
22.09.2007	312	106,65	16,30	218	101,02	20,60	255	110,45	10,00
23.09.2007	312	106,65	16,30	219	101,03	20,80	255	110,45	10,00
24.09.2007	312	106,65	16,30	220	101,04	21,00	255	110,45	10,00
25.09.2007	312	106,65	16,30	220	101,04	21,00	255	110,45	10,00
19.07.2008	253	106,06	7,88	166	100,50	14,00	216	110,06	5,00
20.07.2008	252	106,05	7,80	165	100,49	14,00	216	110,06	5,00
21.07.2008	252	106,05	7,80	165	100,49	14,00	216	110,06	5,00
22.07.2008	252	106,05	7,80	165	100,49	14,00	217	110,07	5,11
23.07.2008	252	106,05	7,80	164	100,48	13,90	217	110,07	5,11
rz. Wissa, w. Czachy									
Data pomiarów	H		Q [m ³ ·s ⁻¹]	Data pomiarów	H		Q [m ³ ·s ⁻¹]		
	[cm]	[m n.p.m.]			[cm]	[m n.p.m.]			
26.07.2007	276	104,79	1,07	21.09.2007	264	104,67	2,10		
27.07.2007	278	104,81	1,11	22.09.2007	264	104,67	2,10		
28.07.2007	278	104,81	1,11	23.09.2007	262	104,65	2,02		
29.07.2007	280	104,83	1,15	24.09.2007	260	104,63	1,94		
19.07.2008	239	104,42	1,04	25.09.2007	258	104,61	1,86		
20.07.2008	238	104,41	1,01	22.07.2008	234	104,37	0,84		
21.07.2008	238	104,41	0,89	23.07.2008	232	104,35	0,79		

Źródło danych: IMiGW. Opracowanie własne.

Rozdział 6

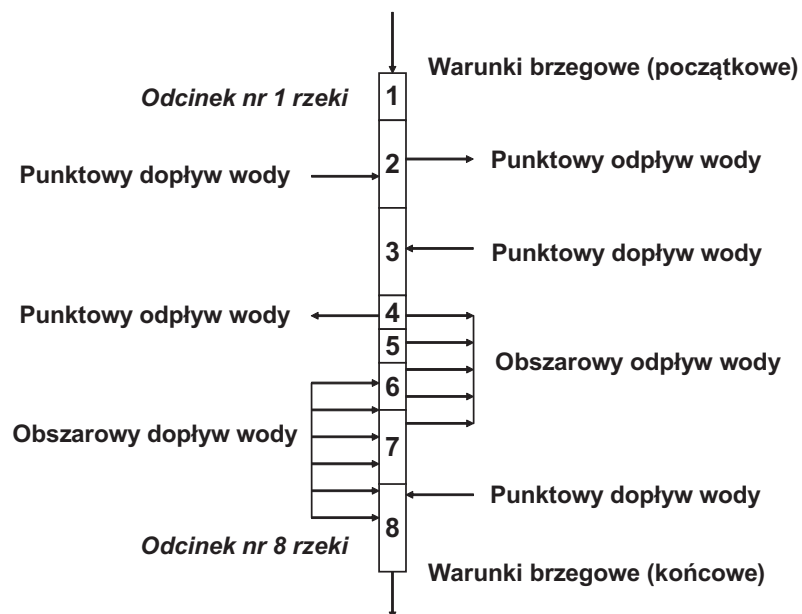
Konstrukcja, kalibracja oraz weryfikacja matematycznego modelu jakości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy

Matematyczny model jakości wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy został skonstruowany na bazie modułu programowego QUAL2K. W jego skład weszły trzy, współzależne człony: model przepływu wody, model meteorologiczny oraz model przemian biochemicznych. Budowa poprawnie działającego modelu jakości wody wymagała skonstruowania, kalibracji, a następnie weryfikacji poszczególnych jego członów, przeprowadzonych w odpowiedniej kolejności dla każdej z trzech kampanii pomiarowych.

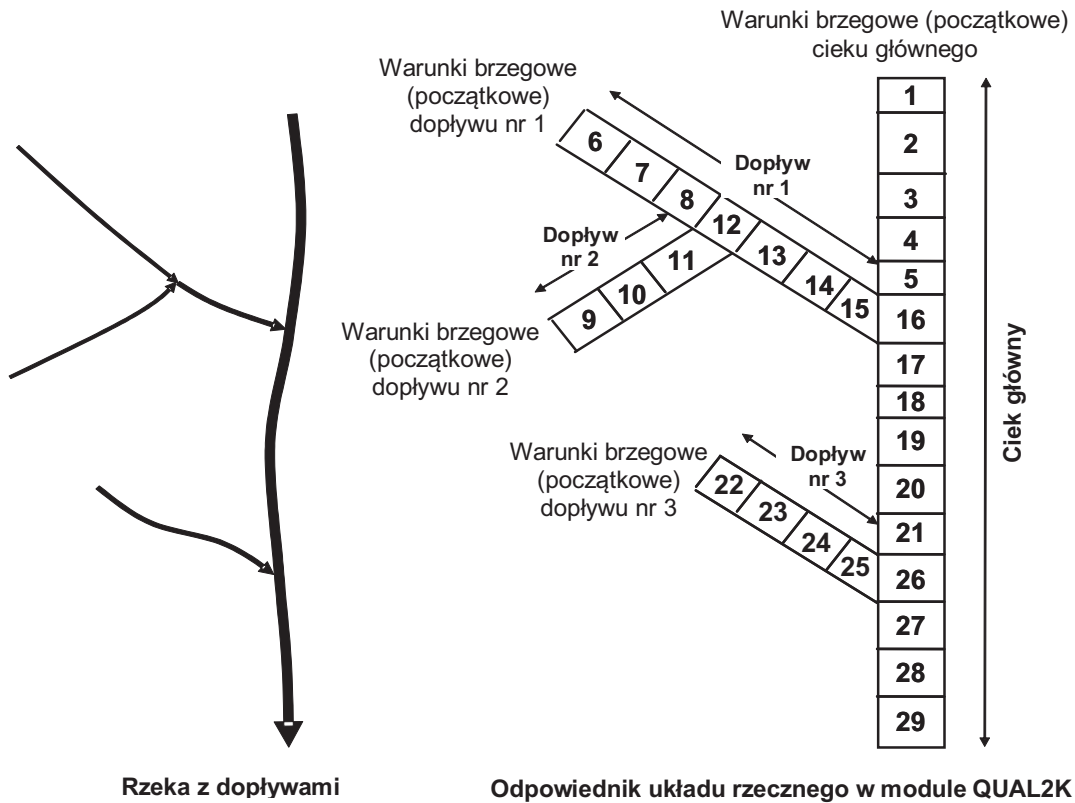
6.1 Konstrukcja, kalibracja oraz weryfikacja modelu przepływu wody

6.1.1 Sposób odwzorowania w modelu sieci hydrograficznej

Biebrza Dolna została przedstawiona w modelu przepływu wody jako ciąg 14 odcinków o różnej długości (wahającej się od 2,3 do 8 km) zawartych pomiędzy poszczególnymi przekrojami poprzecznymi koryta (od BD_00_M do BD_19_M). Numeracja odcinków odbyła się zgodnie z naturalnym biegiem rzeki w taki sposób, że odcinek nr 1 rozpoczynał się w pierwszym przekroju pomiarowym (BD_00_M). W module programowym QUAL2K można modelować jakość wody nie tylko w głównym cieku, ale również w dowolnej ilości jego dopływów, przy czym możliwe jest przyporządkowanie do każdego odcinka rzeki wybranej liczby punktowych dopływów/odpływów wody.

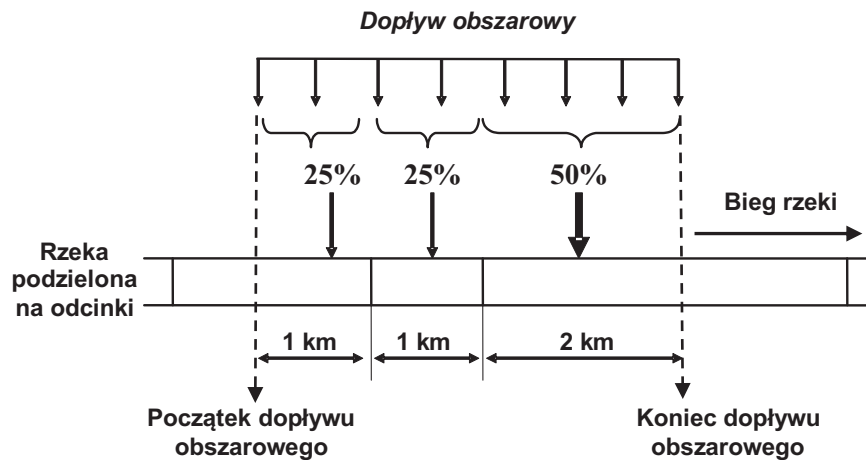


Rys. 6.1 Schemat segmentacji rzeki w module programowym QUAL2K (Chapra et al. 2007)



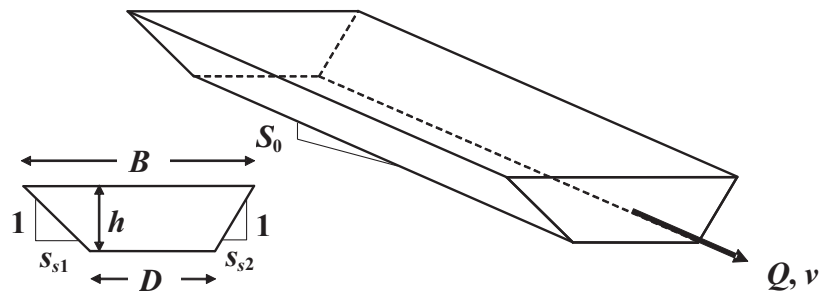
Rys. 6.2 Sposób odzwierciedlenia cieków naturalnych w module QUAL2K (Chapra et al. 2007)

W niniejszym modelu Biebrza Dolna została zaimplementowana jako ciek główny, natomiast poszczególne jej dopływy (Kanał Rudzki, Klimaszewnica, Kosódka i Wissa) jako punktowe dopływy wody do ciek głównego. Obszarowe dopływy oraz obszarowe odpływy wody z rzeki zostały zdefiniowane w modelu jako przepływy zachodzące liniowo wzdłuż koryta rzecznoego pomiędzy nim a otoczeniem, na wybranym odcinku określonym poprzez podanie kilometra biegu rzeki początku i końca dopływu/odpływu. W przypadku występowania obszarowego dopływu/odpływu wody wzdłuż kilku odcinków rzeki wielkość bocznego przepływu wody była proporcjonalna do długości danego odcinka (rys. 6.3).



Rys. 6.3 Sposób implementacji obszarowych dopływów/odpływów wody w module programowym QUAL2K (Chapra et al. 2007)

Naturalne koryto Biebrzy Dolnej (przedstawione w poprzednim rozdziale, na rysunkach 5.2-5.20) cechujące się nieregularnością kształtów, zostało uproszczone do koryta trapezoidalnego z zachowaniem obliczonych lub zmierzonych w terenie wymiarów geometrycznych (szerokość koryta, szerokość dna, nachylenie skarp, pole powierzchni przekroju poprzecznego) oraz wyznaczonych za pomocą obliczeń parametrów hydraulicznych (obwód zwilżony, promień hydrauliczny, przepływ, napełnienie koryta, współczynnik szorstkości dna) występujących w poszczególnych przekrojach pomiarowych.



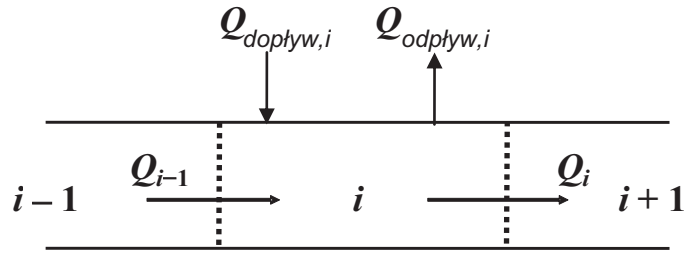
Rys. 6.4 Ilustracja koryta trapezoidalnego zastępującego w module programowym QUAL2K koryto naturalne (Chapra et al. 2007)

6.1.2 Sposób definiowania warunków przepływu wody – przepływ ustalony

Analiza procesu przepływu wody w rzekach i kanałach jest wyjątkowo złożona ze względu na naturalną zmienność przekroju poprzecznego koryt, spadku dna na jego długości oraz dodatkową zmienność natężenia przepływu w korycie, zarówno na jego długości jak i w czasie (Kubrak, Nachlik 2003). W takim przypadku mamy do czynienia z tzw. przepływem nieustalonym, jednak wiele zagadnień inżynierskich rozwiązuje się przy założeniu niezmienności kształtu i spadku dna koryta na jego długości oraz natężenia przepływu wody w czasie (Kubrak, Nachlik 2003).

Takie założenia z kolei pozwalają zdefiniować przepływ wody w korycie jako jednostajny ustalony charakteryzujący się stałą głębokością przepływu, jednakowym rozkładem prędkości w przekrojach poprzecznych oraz równoległością linii dna koryta i linii zwierciadła wody, co oznacza że spadek dna (S_0) jest równy co do wartości spadkowi zwierciadła wody (i). W przekroju, gdzie występuje roślinność zmiana ulega kształt oraz pole przekroju poprzecznego strumienia, jednak gdy zmiany te są niewielkie można przyjąć, iż warunki przepływu w korycie są nadal zbliżone do występujących w ruchu jednostajnym ustalonym (Kubrak, Nachlik 2003).

Dlatego też dla uproszczenia niezwykle skomplikowanych i zmieniających się warunków naturalnych panujących w korycie Biebrzy Dolnej przyjęto, że poszczególne odcinki rzeki mają stałe parametry hydrauliczne oraz geometryczne (szerokość koryta, głębokość, współczynnik szorstkości itp.) zdefiniowane w przekroju zamykającym dany odcinek.



Rys. 6.5 Ilustracja przepływu ustalonego w module programowym QUAL2K (Chapra et al. 2007)

Przepływ stanu ustalonego zastosowany w module programowym QUAL2K można opisać w sposób następujący, dla „i”-tego elementu obliczeniowego koryta (Chapra et al. 2007):

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{\text{dopływ},i} - Q_{\text{odpływ},i} \quad (6.1)$$

gdzie:

Q_i – przepływ wody wzdłuż biegu rzeki, z elementu „i” do elementu „i+1” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

Q_{i-1} – przepływ wody wzdłuż biegu rzeki, z elementu „i – 1” do elementu „i” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

$Q_{\text{dopływ},i}$ – całkowity dopływ wody do elementu „i” ze źródeł punktowych i obszarowych [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

$Q_{\text{odpływ},i}$ – całkowity odpływ wody (punktowy + obszarowy) z elementu „i” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$].

$$Q_{\text{dopływ},i} = \sum_{j=1}^{dpi} Q_{dp,i,j} + \sum_{j=1}^{doi} Q_{do,i,j} \quad (6.2)$$

gdzie:

$\sum_{j=1}^{dpi} Q_{dp,i,j}$ – suma wszystkich dopływów punktowych do elementu „i” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

$\sum_{j=1}^{doi} Q_{do,i,j}$ – suma wszystkich dopływów obszarowych do elementu „i” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$].

$$Q_{\text{odpływ},i} = \sum_{j=1}^{opi} Q_{op,i,j} + \sum_{j=1}^{ooi} Q_{oo,i,j} \quad (6.3)$$

gdzie:

$\sum_{j=1}^{opi} Q_{op,i,j}$ – suma wszystkich odpływów punktowych z elementu „i” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

$\sum_{j=1}^{ooi} Q_{oo,i,j}$ – suma wszystkich odpływów obszarowych z elementu „i” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$].

6.1.3 Obliczenia parametrów hydraulicznych i geometrycznych koryta rzeczego

Konstrukcja modelu przepływu wody rozpoczęła się od wyznaczenia – na podstawie danych uzyskanych z pomiarów terenowych – geometrii oraz parametrów hydraulicznych poszczególnych przekrojów poprzecznych, co umożliwiło zdefiniowanie warunków przepływu na poszczególnych odcinkach rzeki.

6.1.3.1 Obliczenia własne – konstrukcja modelu

W pierwszej kolejności, tj. przed przystąpieniem do wprowadzania danych do programu obliczeniowego, wyznaczono dla każdego przekroju poprzecznego (na podstawie danych uzyskanych z sondowania głębokości koryta) obwód zwilżony, a następnie promień hydrauliczny korzystając ze wzoru:

$$R = \frac{A}{U} \quad (6.4)$$

gdzie:

- R – promień hydrauliczny [m],
- A – pole powierzchni [m²],
- U – obwód zwilżony [m].

Następnie, znając wartości powyższych parametrów oraz opierając się na danych przedstawionych w tabelach 5.4-5.8, obliczono średni współczynnik szorstkości dna dla poszczególnych odcinków rzeki, korzystając z przekształconego wzoru Manninga:

$$n = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}}{Q} \quad (6.5)$$

gdzie:

- n – współczynnik szorstkości dna [s·m^{-1/3}],
- A – pole powierzchni przekroju poprzecznego zamykającego dany odcinek rzeki [m²],
- R – promień hydrauliczny przekroju zamykającego dany odcinek rzeki [m],
- i – spadek podłużny zwierciadła wody na odcinku do przekroju zamykającego [‰].

Kolejnym krokiem było przekształcenie (metodą graficzną) poszczególnych przekrojów naturalnych w przekroje trapezoidalne, z zachowaniem ich parametrów geometrycznych. W ten sposób możliwe było odczytanie wartości szerokości dna, a następnie obliczenie dla każdego przekroju średniej głębokości przepływu wykorzystując do tego celu przekształcony wzór na pole powierzchni trapezu:

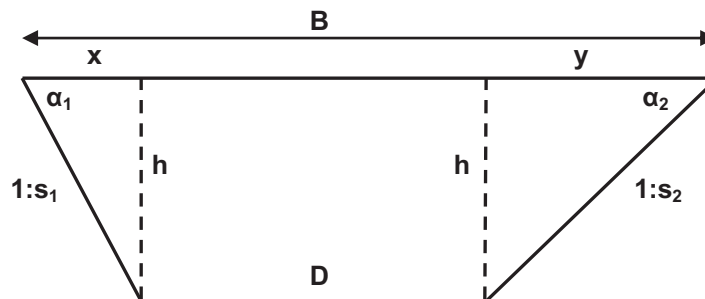
$$h = \frac{2A}{B + D} \quad (6.6)$$

gdzie:

h – średnia głębokość przepływu (napętnienie koryta) [m],

B – szerokość koryta [m],

D – szerokość dna [m].



Rys. 6.6 Ilustracja trapezoidalnego przekroju poprzecznego koryta rzeki

Następnie, na podstawie zwymiarowanych rysunków koryt trapezoidalnych, wyznaczono w poszczególnych przekrojach (odcinkach rzeki) nachylenia skarp, korzystając ze wzorów:

$$s_1 = \operatorname{ctg} \alpha_1 = \frac{x}{h} \quad (6.7)$$

$$s_2 = \operatorname{ctg} \alpha_2 = \frac{y}{h} \quad (6.8)$$

gdzie:

s_1 – nachylenie skarpy lewej [$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$],

s_2 – nachylenie skarpy prawej [$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$].

Wyznaczone w powyższy sposób lub zmierzone w terenie parametry hydrauliczne (Q , v , n , h , i) oraz zmierzone lub obliczone wymiary geometryczne koryt odcinków rzeki (A , B , D , s_1 , s_2) zostały ostatecznie wprowadzone do programu QUAL2K tworząc dla każdej kampanii pomiarowej odrębny model matematyczny przepływu wody w Biebrzy Dolnej. Kolejnym etapem było skalibrowanie w/w modelu wykorzystując do tego celu obliczenia numeryczne programu.

6.1.3.2 Obliczenia numeryczne – kalibracja modelu

Generalnie, kalibracja modelu polega na dostosowywaniu jego parametrów (których wartość jest szacowana w sposób pośredni na podstawie procedury przybliżania wyników symulacji) do wartości wyników pomiarów terenowych parametrów przepływu.

Moduł programowy QUAL2K został zaprojektowany jako wielostronnicowy arkusz kalkulacyjny Excel, do którego na odpowiednich stronach oraz we właściwych rubrykach wprowadza się dane definiujące model jakości wód powierzchniowych. Aktywacja modelu

odbywa się poprzez uruchomienie programu obliczeniowego FORTRAN działającego w obrębie modułu QUAL2K, który pobiera dane z arkuszy kalkulacyjnych, dokonuje obliczeń numerycznych a następnie wyświetla wyniki obliczeń w innych arkuszach kalkulacyjnych. Obliczenia numeryczne wykonywane są za pomocą metody łamanej Eulera umożliwiającej przybliżone całkowanie równań różniczkowych zwyczajnych. Krok obliczeniowy zdefiniowany przez użytkownika został ustalony jako najkrótszy czas potrzebny na przemieszczenie się pojedynczej cząstki wody na odcinku o długości 100 m, biorąc pod uwagę najwyższą prędkość przepływu wody zmierzoną w danej kampanii pomiarowej. Wyniósł on odpowiednio: dla pomiarów 26-28.07.2007 r. – 3,5 minuty, dla 21-24.09.2007 r. – 3,3 minuty oraz dla 19-22.07.2008 r. – 3,6 minuty. Krok obliczeniowy wygenerowany przez program był zawsze mniejszy od podanego przez użytkownika i wyniósł we wszystkich trzech przypadkach 2,8 minuty.

Kalibracja modelu przepływu wody w Biebrzy Dolnej polegała w praktyce na wielokrotnym sprawdzaniu wyników obliczeń numerycznych, a następnie poddawaniu nieznacznym korektom wartości parametrów s_1 , s_2 oraz n w taki sposób, aby poprzez kolejne przybliżenia osiągnąć wyznaczone pomiarami terenowymi lub wcześniejszymi obliczeniami wartości parametrów: A , B , v_{sr} oraz h . Obliczenia numeryczne generowane przez program FORTRAN dla każdego odcinka rzeki oparte były na formułach opisujących parametry geometryczne i hydrauliczne obliczeniowych sekcji modelu. Proces iteracyjny, dostosowany do numerycznego opisu ruchu ustalonego, był prowadzony do osiągnięcia kryterium końcowego, określonego wg wzoru (Chapra et al. 2007):

$$\varepsilon_a = \left| \frac{h_{k+1} - h_k}{h_{k+1}} \right| \cdot 100\% \quad (6.9)$$

gdzie:

- h – średnia głębokość przepływu [m],
- k = 1,2,... n (n = liczba iteracji).

W modelu przepływu wody w Biebrzy Dolnej, ze względu na znaczną długość cieku głównego (ok. 50 km), podzielono poszczególne odcinki rzeki na mniejsze elementy obliczeniowe (każdy o długości ok. 500 m), dzięki czemu możliwe było dokładniejsze zobrazowanie zmian zachodzących w różnych punktach koryta rzeczno, dotyczy to zwłaszcza miejsc o gwałtownych zmianach charakterystyki przepływu i jakości wody (dopływy punktowe). Wyniki kalibracji parametrów geometrycznych oraz hydraulicznych modelu przepływu wody zostały zamieszczone w tabelach 6.1-6.2.

Tabela 6.1 Wyniki obliczeń i kalibracji parametrów hydraulicznych koryta Biebrzy Dolnej oraz ujęć jej dopływów (wartości średnie dla całych odcinków)

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data pomiarów terenowych	Szerokość koryta B [m]	Szerokość dna D [m]	Pole powierzchni przekroju A [m ²]	Średnia głębokość przepływu $h = \frac{2A}{B+D}$ [m]	Nachylenie skarpy lewej 1:s ₁	Nachylenie skarpy prawej 1:s ₂	Obwód zwilżony U [m]	Promień hydrauliczny $R = \frac{A}{U}$ [m]	Średni współczynnik szorstkości n [s·m ^{-1/3}]	Przepływ na końcu odcinka Q [m ³ ·s ⁻¹]	Dopływ punktowy [m ³ ·s ⁻¹]	Dopływ obszarowy [m ³ ·s ⁻¹]	Dopływ obszarowy [m ³ ·s ⁻¹]	Ilość elementów obliczeniowych w modelu
Przekrój BD_00_M (początek modelu)	-	26.07.2007	31,00	6,5	77,522	4,13	1:4,113	1:1,813	33,800	2,293	0,0855	18,867	-	-	-	-
		21.09.2007	28,52	6,0	74,215	4,30	1:3,959	1:1,280	30,549	2,429	0,1036	13,205	-	-	-	-
		19.07.2008	31,40	18,0	101,688	4,12	1:1,724	1:1,530	33,502	3,035	0,2778	8,368	-	-	-	-
Od BD_00_M Do BD_03_M	2,941	21.09.2007	28,96	25,5	47,365	1,74	1:1,064	1:0,924	30,512	1,552	0,03145	20,638	7,877	-	0,444	6
		19.07.2008	28,76	25,5	33,853	1,25	1:1,025	1:1,587	29,560	1,145	0,0303	13,377	4,165	0,844	-	-
Od BD_03_M Do BD_05_M	5,122	21.09.2007	24,55	17,0	43,642	2,10	1:2,165	1:1,429	25,642	1,702	0,0399	18,275	-	-	2,363	10
		19.07.2008	21,00	13,0	26,138	1,54	1:3,510	1:1,691	21,949	1,191	0,02945	12,141	-	-	1,236	-
Od BD_05_M Do BD_06_M	4,065	22.09.2007	23,47	16,0	45,559	2,31	1:1,169	1:2,066	25,026	1,820	0,0427	20,336	0,225	1,836	-	8
		19.07.2008	22,20	17,0	26,834	1,37	1:0,511	1:3,291	23,439	1,145	0,02985	12,248	0,055	0,052	-	-
Od BD_06_M Do BD_07_M	2,804	22.09.2007	25,50	20,5	44,787	1,95	1:1,542	1:1,026	26,951	1,662	0,03565	20,778	-	0,442	-	6
		20.07.2008	24,02	22,0	26,950	1,17	1:1,554	1:0,175	25,291	1,066	0,02675	12,627	-	0,379	-	-
Od BD_07_M Do BD_08_M	3,171	22.09.2007	32,27	29,0	62,586	2,04	1:1,013	1:0,588	34,359	1,821	0,0433	20,507	-	-	0,271	6
		20.07.2008	30,00	27,5	42,815	1,49	1:0,838	1:0,838	31,721	1,350	0,0374	12,602	-	-	0,025	-
Od BD_08_M Do BD_09_M	2,356	22.09.2007	25,63	21,5	49,487	2,10	1:0,380	1:1,589	27,776	1,782	0,0355	19,756	-	-	0,751	5
		20.07.2008	25,34	21,0	34,792	1,50	1:1,079	1:1,813	26,615	1,307	0,0256	13,279	-	0,677	-	-
Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649	22.09.2007	28,29	19,5	53,430	2,24	1:1,338	1:2,592	29,569	1,807	0,04895	21,468	2,166	-	0,454	15
		20.07.2008	26,12	17,5	33,635	1,54	1:2,079	1:3,512	26,772	1,256	0,0412	12,836	0,829	-	1,272	-
Od BD_11_M Do BD_13_M	2,686	23.09.2007	26,01	19,0	48,527	2,16	1:1,742	1:1,507	27,291	1,778	0,03495	22,028	-	0,560	-	5
		21.07.2008	24,89	19,5	34,146	1,54	1:1,783	1:1,718	25,755	1,326	0,02865	13,271	-	0,435	-	-
Od BD_13_M Do BD_14_M	3,955	23.09.2007	28,00	12,5	55,099	2,72	1:0,931	1:4,765	29,879	1,844	0,0454	21,043	-	-	0,985	8
		21.07.2008	23,32	14,0	43,964	2,36	1:1,191	1:2,765	24,658	1,783	0,05235	13,585	-	0,314	-	-
Od BD_14_M Do BD_15_M	2,515	24.09.2007	36,67	33,0	52,538	1,51	1:0,596	1:1,836	37,808	1,390	0,03055	22,390	-	1,347	-	5
		21.07.2008	35,27	33,0	30,957	0,91	1:0,870	1:1,637	35,955	0,861	0,0259	13,712	-	0,127	-	-
Od BD_15_M Do BD_16_M	2,882	24.09.2007	34,35	28,0	65,197	2,09	1:2,460	1:0,578	36,082	1,807	0,04505	21,504	-	-	0,886	6
		21.07.2008	34,44	27,5	40,440	1,31	1:3,659	1:1,657	35,140	1,151	0,0313	13,776	-	0,064	-	-
Od BD_16_M Do BD_17_M	2,261	24.09.2007	31,03	17,0	51,607	2,15	1:1,721	1:4,806	31,979	1,614	0,03205	21,967	-	0,463	-	5
		22.07.2008	27,26	16,5	33,352	1,52	1:1,631	1:5,424	27,878	1,196	0,02195	13,347	-	-	0,429	-

Tabela 6.2 Wyniki obliczeń i kalibracji parametrów hydraulicznych koryta Biebrzy Dolnej oraz ujęć jej dopływów (wartości średnie dla całego odcinka)

Odcinek Biebrzy	Długość [km]	Data pomiarów terenowych	Szerokość Koryta B [m]	Szerokość dna D [m]	Pole powierzchni przelotne A [m ²]	Średnia głębokość przepływu $h = \frac{2A}{B+D}$ [m]	Nachylenie skarpy lewej 1:s ₁	Nachylenie skarpy prawej 1:s ₂	Obwód zwilżony U [m]	Promień hydrauliczny $R = \frac{A}{U}$ [m]	Średni współczynnik szorstkości dna n [s·m ^{-1/3}]	Przepływ na końcu odcinka Q [m ³ ·s ⁻¹]	Dopływ punktowy [m ³ ·s ⁻¹]	Dopływ obszarowy [m ³ ·s ⁻¹]	Dopływ obszarowy [m ³ ·s ⁻¹]	Ilość elementów obliczeniowych w modelu
Od BD_17_M	2,807	24.09.2007	34,79	15,0	44,820	1,80	1:1,555	1:9,438	35,807	1,252	0,02745	22,717	-	0,750	-	6
Do BD_18_M		22.07.2008	28,69	12,0	40,680	2,00	1:2,049	1:6,297	29,601	1,374	0,04535	13,602	-	0,255	-	
Od BD_18_M	2,236	24.09.2007	24,60	15,5	43,676	2,18	1:2,962	1:1,217	25,941	1,684	0,0309	22,064	-	-	0,653	5
Do BD_19_M		22.07.2008	21,38	17,5	31,493	1,62	1:1,993	1:0,399	22,598	1,394	0,02885	13,007	-	-	0,595	
Od BD_00_M	8,063	26.07.2007	23,52	14,0	43,515	2,32	1:3,033	1:1,073	25,030	1,738	0,04065	18,170	4,176	-	4,873	16
Do BD_05_M		27.07.2007	25,60	21,0	45,366	1,95	1:1,334	1:1,027	27,132	1,672	0,0381	20,844	0,090	2,584	-	
Od BD_05_M	5,527	27.07.2007	25,51	21,0	49,926	2,15	1:0,698	1:1,404	27,503	1,815	0,03665	20,332	-	-	0,512	11
Do BD_07_M		27.07.2007	27,78	18,5	54,300	2,35	1:1,488	1:2,465	29,047	1,869	0,05035	21,926	1,952	-	0,358	
Od BD_07_M	7,649	27.07.2007	27,78	13,0	55,417	2,72	1:1,213	1:4,226	29,525	1,877	0,04325	21,169	-	-	0,757	13
Do BD_09_M		28.07.2007	27,78	27,0	67,075	2,14	1:2,792	1:1,262	36,964	1,815	0,0506	20,804	-	-	0,365	
Od BD_09_M	5,397	28.07.2007	24,98	15,5	44,670	2,21	1:2,709	1:1,584	26,131	1,709	0,03145	21,032	-	0,228	-	15
Do BD_11_M		26.07.2007	12,30	7,5	18,531	1,87	1:1,176	1:1,390	13,527	1,370	-	4,176	-	-	-	
Od BD_11_M	6,641	21.09.2007	11,80	7,5	17,087	1,77	1:1,186	1:1,243	13,103	1,304	-	7,877	-	-	-	-
Do BD_14_M		19.07.2008	9,50	7,5	11,082	1,30	1:0,383	1:1,150	10,631	1,042	-	4,165	-	-	-	
Od BD_14_M	7,304	27.07.2007	3,70	1,0	0,956	0,41	1:3,931	1:2,703	3,828	0,250	-	0,090	-	-	-	-
Do BD_16_M		23.09.2007	4,10	2,0	1,817	0,55	1:1,273	1:1,818	4,450	0,408	-	0,225	-	-	-	
Od BD_16_M	7,304	20.07.2008	3,00	2,0	0,429	0,17	1:5,233	1:0,581	3,123	0,137	-	0,055	-	-	-	-
Do BD_19_M		27.07.2007	7,30	3,0	6,257	1,21	1:2,058	1:1,481	7,918	0,790	-	0,556	-	-	-	
Od BD_19_M	8,063	23.09.2007	7,50	2,5	5,841	1,06	1:2,075	1:1,698	8,150	0,717	-	0,463	-	-	-	-
Do BD_01_M		20.07.2008	5,10	3,0	1,972	0,49	1:2,464	1:1,848	5,304	0,372	-	0,053	-	-	-	
Od BD_01_M	8,063	28.07.2007	7,80	3,5	12,484	2,21	1:0,701	1:1,244	9,810	1,273	-	1,396	-	-	-	-
Do BD_01_M		23.09.2007	8,00	3,5	11,875	2,06	1:1,092	1:1,092	9,598	1,237	-	1,703	-	-	-	
Od BD_01_M	8,063	20.07.2008	6,50	3,5	7,607	1,52	1:0,657	1:1,315	7,728	0,984	-	0,776	-	-	-	-
Do BD_01_M		26.07.2007	12,30	7,5	18,531	1,87	1:1,176	1:1,390	13,527	1,370	-	4,176	-	-	-	
Od BD_01_M	8,063	21.09.2007	11,80	7,5	17,087	1,77	1:1,186	1:1,243	13,103	1,304	-	7,877	-	-	-	-
Do BD_01_M		19.07.2008	9,50	7,5	11,082	1,30	1:0,383	1:1,150	10,631	1,042	-	4,165	-	-	-	
Od BD_01_M	8,063	27.07.2007	3,70	1,0	0,956	0,41	1:3,931	1:2,703	3,828	0,250	-	0,090	-	-	-	-
Do BD_01_M		23.09.2007	4,10	2,0	1,817	0,55	1:1,273	1:1,818	4,450	0,408	-	0,225	-	-	-	
Od BD_01_M	8,063	20.07.2008	3,00	2,0	0,429	0,17	1:5,233	1:0,581	3,123	0,137	-	0,055	-	-	-	-
Do BD_01_M		27.07.2007	7,30	3,0	6,257	1,21	1:2,058	1:1,481	7,918	0,790	-	0,556	-	-	-	
Od BD_01_M	8,063	23.09.2007	7,50	2,5	5,841	1,06	1:2,075	1:1,698	8,150	0,717	-	0,463	-	-	-	-
Do BD_01_M		20.07.2008	5,10	3,0	1,972	0,49	1:2,464	1:1,848	5,304	0,372	-	0,053	-	-	-	
Od BD_01_M	8,063	28.07.2007	7,80	3,5	12,484	2,21	1:0,701	1:1,244	9,810	1,273	-	1,396	-	-	-	-
Do BD_01_M		23.09.2007	8,00	3,5	11,875	2,06	1:1,092	1:1,092	9,598	1,237	-	1,703	-	-	-	
Od BD_01_M	8,063	20.07.2008	6,50	3,5	7,607	1,52	1:0,657	1:1,315	7,728	0,984	-	0,776	-	-	-	-
Do BD_01_M		26.07.2007	12,30	7,5	18,531	1,87	1:1,176	1:1,390	13,527	1,370	-	4,176	-	-	-	

6.1.4 Obliczenia czasu transportu wody w korycie rzeczonym

Czas rezydencyjny każdego elementu obliczeniowego koryta, czyli czas, jaki pojedyncza cząsteczka wody potrzebowała na przemieszczenie się pomiędzy początkiem a końcem tego elementu, został wygenerowany przez program wg wzoru (Chapra et al. 2007):

$$t_k = \frac{V_k}{Q_k} \quad (6.10)$$

gdzie:

t_k – czas rezydencyjny elementu obliczeniowego „k” [doba],

Q_k – przepływ wody w elemencie „k” [$m^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

V_k – objętość elementu „k” [m^3].

Tabela 6.3 Wyniki obliczeń numerycznych czasu transportu wody w Biebrzy Dolnej

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data pomiarów terenowych	Czas transportu wody liczony narastająco od przekroju BD_00_M [h]	Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data pomiarów terenowych	Czas transportu wody liczony narastająco od przekroju BD_00_M [h]
Od BD_00_M Do BD_03_M	2,941	21.09.2007	1,92	Od BD_00_M Do BD_05_M	8,063	26.07.2007	5,38
		19.07.2008	2,16				
Od BD_03_M Do BD_05_M	5,122	21.09.2007	5,28	Od BD_05_M Do BD_07_M	6,869	27.07.2007	9,53
		19.07.2008	5,04				
Od BD_05_M Do BD_06_M	4,065	22.09.2007	7,92	Od BD_07_M Do BD_09_M	5,527	27.07.2007	13,30
		19.07.2008	7,68				
Od BD_06_M Do BD_07_M	2,804	22.09.2007	9,60	Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649	27.07.2007	18,55
		20.07.2008	9,36				
Od BD_07_M Do BD_08_M	3,171	22.09.2007	12,24	Od BD_11_M Do BD_13_M	2,686	23.09.2007	20,64
		20.07.2008	12,24				
Od BD_08_M Do BD_09_M	2,356	22.09.2007	13,92	Od BD_13_M Do BD_14_M	3,955	23.09.2007	23,52
		20.07.2008	13,92				
Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649	22.09.2007	19,20	Od BD_14_M Do BD_15_M	2,515	24.09.2007	25,20
		20.07.2008	19,44				
Od BD_11_M Do BD_13_M	2,686	23.09.2007	20,64	Od BD_15_M Do BD_16_M	2,882	24.09.2007	27,60
		21.07.2008	21,36				
Od BD_13_M Do BD_14_M	3,955	23.09.2007	23,52	Od BD_16_M Do BD_17_M	2,261	24.09.2007	29,04
		21.07.2008	24,96				
Od BD_14_M Do BD_15_M	2,515	24.09.2007	25,20	Od BD_17_M Do BD_18_M	2,807	24.09.2007	30,72
		21.07.2008	26,64				
Od BD_15_M Do BD_16_M	2,882	24.09.2007	27,60	Od BD_18_M Do BD_19_M	2,236	24.09.2007	31,92
		21.07.2008	29,04				
Od BD_16_M Do BD_17_M	2,261	24.09.2007	29,04			22.07.2008	30,48
		22.07.2008	30,48			22.07.2008	32,88
Od BD_17_M Do BD_18_M	2,807	24.09.2007	30,72			22.07.2008	34,32
		22.07.2008	32,88				
Od BD_18_M Do BD_19_M	2,236	24.09.2007	31,92				
		22.07.2008	34,32				

$$V_k = A_k \cdot \Delta x_k \quad (6.11)$$

gdzie:

A_k – pole powierzchni elementu obliczeniowego „k” [m²],

Δx_k – długość elementu „k” [m].

Następnie, czasy rezydencyjne poszczególnych odcinków rzeki zostały zsumowane, dzięki czemu możliwe było wyznaczenie czasu transportu wody od początku modelu do dowolnego miejsca położonego wzdłuż biegu koryta, wg wzoru (Chapra et al. 2007):

$$t_{i,j} = \sum_{k=1}^j t_k \quad (6.12)$$

gdzie:

$t_{i,j}$ – czas transportu wody [doba].

6.1.5 Obliczenia dyspersji wzdłuż biegu rzeki

W oparciu o skalibrowane parametry hydrauliczne oraz geometryczne koryta program FORTRAN obliczył dyspersję, czyli zjawisko przenoszenia cząstek wody z jednego miejsca koryta do drugiego wywołane powtarzającą się dyfuzją burzliwą wzdłuż gradientu prędkości. Dyspersja podłużna, czyli dyspersja zachodząca wzdłuż biegu rzeki, została wygenerowana dla każdego elementu obliczeniowego „i” z równania (Chapra et al. 2007):

$$E_{p,i} = 0,011 \frac{v_{sr,i}^2 \cdot B_{sr,i}^2}{h_i \cdot \sqrt{g \cdot h_i \cdot i_i}} \quad (6.13)$$

gdzie:

$E_{p,i}$ – dyspersja podłużna pomiędzy elementem obliczeniowym „i” a „i+1” [m² · s⁻¹],

$v_{sr,i}$ – średnia prędkość przepływu wody w elemencie „i” [m · s⁻¹],

$B_{sr,i}$ – średnia szerokość elementu „i” [m],

h_i – średnia głębokość przepływu wody w elemencie „i” [m],

i_i – spadek podłużny zwierciadła wody w elemencie „i” [m · m⁻¹],

g – przyspieszenie ziemskie [m · s⁻²].

Po obliczeniu dyspersji ze wzoru uwzględniającego parametry hydrauliczne oraz geometryczne koryta ($E_{p,i}$) wyznaczona została dyspersja numeryczna ($E_{n,i}$), której wartość uzależniona była od długości elementu obliczeniowego „i”, wg wzoru:

$$E_{n,i} = \frac{v_i \cdot \Delta x_i}{2} \quad (6.14)$$

Dyspersja wykorzystywana w modelu przepływu do wyznaczania w dowolnym elemencie obliczeniowym „i” stopnia natlenienia się wody na skutek jej mieszania się (E_i) została wyznaczona wg reguły:

- a) gdy $E_{n,i} \leq E_{p,i}$ to wtedy $E_i = E_{p,i} - E_{n,i}$
 b) gdy $E_{n,i} > E_{p,i}$ to wtedy $E_i = 0$

Następnie, znając wartość E_i obliczono tzw. współczynnik dyspersji objętościowej, wg wzoru:

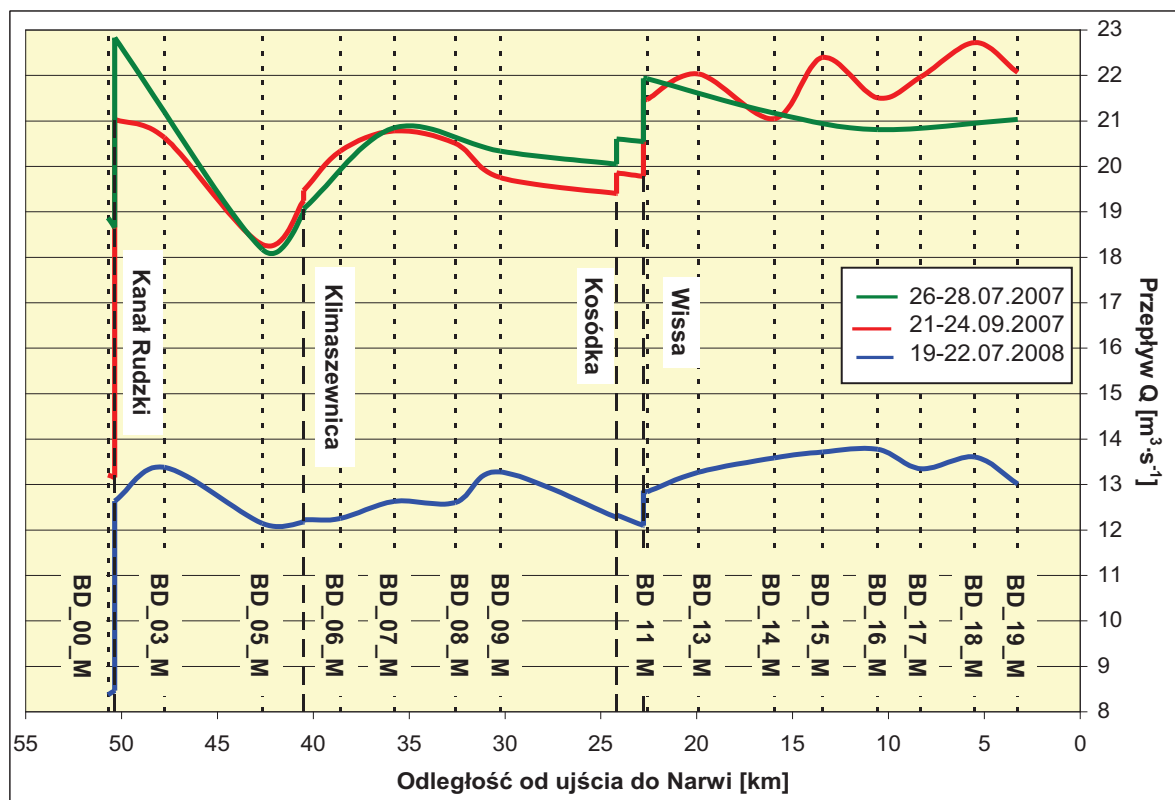
$$E'_i = \frac{2E_i \cdot A_i}{(\Delta x_i + \Delta x_{i+1})} \quad (6.15)$$

gdzie:

- E'_i – współczynnik dyspersji objętościowej pomiędzy elementem „i” a „i+1” [$m^3 \cdot d^{-1}$],
 A_i – pole powierzchni przekroju poprzecznego elementu „i” [m^2],
 $\Delta x_i, \Delta x_{i+1}$ – długości elementów „i” oraz „i+1” [m].

Tabela 6.4 Wyniki obliczeń numerycznych współczynnika dyspersji objętościowej wzdłuż biegu Biebrzy Dolnej (wartości średnie dla całych odcinków)

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data pomiarów terenowych	Współczynnik dyspersji objętościowej E' [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data pomiarów terenowych	Współczynnik dyspersji objętościowej E' [$m^3 \cdot s^{-1}$]
Od BD_00_M Do BD_03_M	2,941	21.09.2007	10,37	Od BD_00_M Do BD_05_M	8,063	26.07.2007	10,23
		19.07.2008	6,49				
Od BD_03_M Do BD_05_M	5,122	21.09.2007	9,67	Od BD_05_M Do BD_07_M	6,869	27.07.2007	9,80
		19.07.2008	6,35				
Od BD_05_M Do BD_06_M	4,065	22.09.2007	9,76	Od BD_07_M Do BD_09_M	5,527	27.07.2007	10,28
		19.07.2008	6,13				
Od BD_06_M Do BD_07_M	2,804	22.09.2007	10,19	Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649	27.07.2007	10,19
		20.07.2008	6,17				
Od BD_07_M Do BD_08_M	3,171	22.09.2007	10,41	Od BD_11_M Do BD_14_M	6,641	28.07.2007	10,78
		20.07.2008	6,37				
Od BD_08_M Do BD_09_M	2,356	22.09.2007	9,95	Od BD_14_M Do BD_16_M	5,397	28.07.2007	10,49
		20.07.2008	6,45				
Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649	22.09.2007	9,86	Od BD_16_M Do BD_17_M	2,261	22.07.2008	6,74
		20.07.2008	6,32				
Od BD_11_M Do BD_13_M	2,686	23.09.2007	10,99	Od BD_17_M Do BD_18_M	2,807	24.09.2007	11,24
		21.07.2008	6,60				
Od BD_13_M Do BD_14_M	3,955	23.09.2007	10,73	Od BD_18_M Do BD_19_M	2,236	24.09.2007	11,16
		21.07.2008	6,72				
Od BD_14_M Do BD_15_M	2,515	24.09.2007	10,98				
		21.07.2008	6,86				
Od BD_15_M Do BD_16_M	2,882	24.09.2007	10,99				
		21.07.2008	6,91				
Od BD_16_M Do BD_17_M	2,261	24.09.2007	10,85				
		22.07.2008	6,74				
Od BD_17_M Do BD_18_M	2,807	24.09.2007	11,24				
		22.07.2008	6,77				
Od BD_18_M Do BD_19_M	2,236	24.09.2007	11,16				
		22.07.2008	6,62				

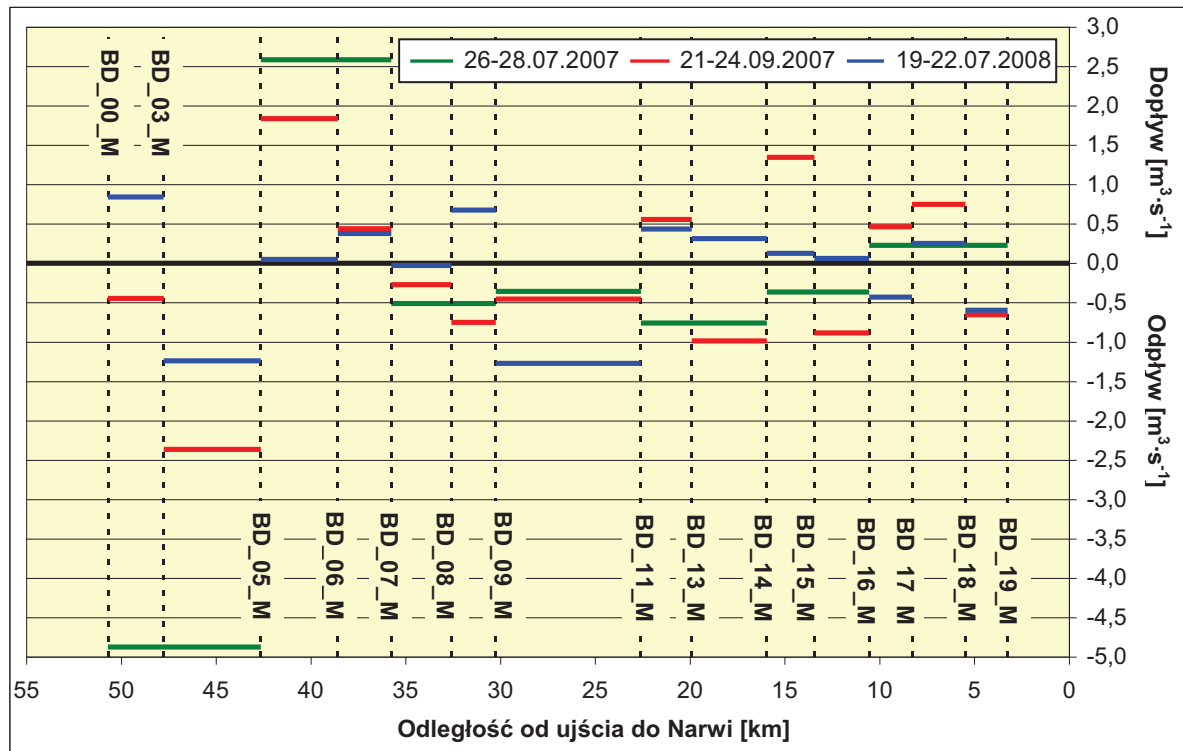


Rys. 6.7 Wielkość natężenia przepływu wody na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

6.1.6 Prezentacja oraz omówienie efektów działania skalibrowanego modelu przepływu

W wyniku kalibracji parametrów geometrycznych oraz hydraulicznych koryta Biebrzy Dolnej dla poszczególnych kampanii pomiarowych powstały trzy odrębne modele przepływu wody odzwierciedlające zachowanie rzeki w odmiennych warunkach hydrologicznych, panujących w różnych porach roku („mokre” lato 2007, jesień 2007, „suche” lato 2008). Efekty symulacji przepływu wody oraz wynikające z niej zmiany wartości poszczególnych parametrów na całej długości rzeki zostały przedstawione na rysunkach 6.7-6.16.

Wykresy zmian wielkości przepływu na całym odcinku Biebrzy Dolnej wskazują, że we wszystkich okresach pomiarowych istotny wpływ na przepływ w rzece miały tylko dwa jej dopływy, tj. Kanał Rudzki oraz Wissa. Pozostałe ciek, tzn. Klimaszewnica oraz Kosódka transportowały niewielkie ilości wody, dlatego też nawet przy wysokich stanach ich znaczenie w bilansie przepływu wody w Biebrzy było marginalne (np. przepływ w końcowym odcinku Kosódki wynosił w lipcu 2007 r. zaledwie 2% przepływu Biebrzy na wysokości ujścia). Nasuwa się tutaj prosty wniosek, iż biorąc pod uwagę przede wszystkim ładunek zanieczyszczeń transportowanych poszczególnymi dopływami (który jest wprost proporcjonalny do wielkości przepływu) na jakość Biebrzy Dolnej teoretycznie powinny mieć największy wpływ Kanał Rudzki oraz Wissa, natomiast wpływ Klimaszewnicy oraz Kosódki wydaje się być tylko lokalny, tzn. obejmujący strefę przyujściową.



Rys. 6.8 Obszarowe dopływy i odpływy wody na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

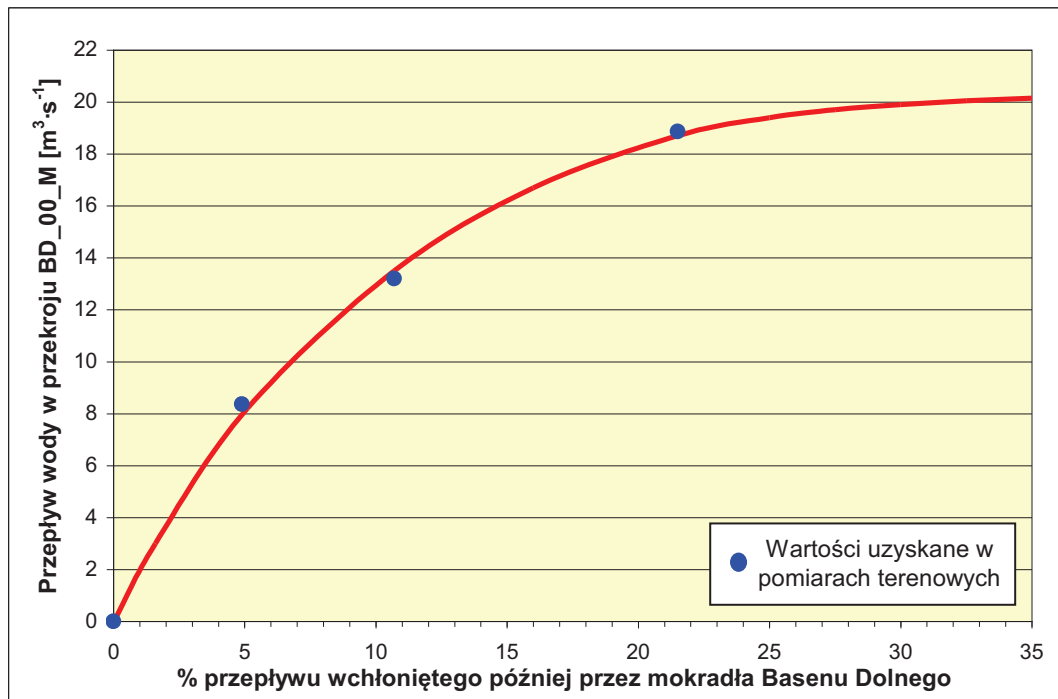
Tabela 6.5 Charakterystyka przepływu wody pomiędzy korytem głównym a mokradłami na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej

Odcinek Biebrzy	Km biegu Biebrzy (od ujścia do Narwi)	Charakterystyka zjawiska
BD_00_M → BD_03_M	50,7 → 47,8	Odwadnianie mokradeł (przy niskich stanach wody) Zasilanie mokradeł (przy wysokich stanach wody)
BD_03_M → BD_05_M	47,8 → 42,6	Zasilanie mokradeł (*)
BD_05_M → BD_06_M	42,6 → 38,6	Odwadnianie mokradeł (*)
BD_06_M → BD_07_M	38,6 → 35,8	
BD_07_M → BD_08_M	35,8 → 32,6	Zasilanie mokradeł (*)
BD_08_M → BD_09_M	32,6 → 30,2	Odwadnianie mokradeł (przy niskich stanach wody) Zasilanie mokradeł (przy wysokich stanach wody)
BD_09_M → BD_11_M	30,2 → 22,6	Zasilanie mokradeł (*)
BD_11_M → BD_13_M	22,6 → 19,9	Odwadnianie mokradeł (*)
BD_13_M → BD_14_M	19,9 → 15,9	Odwadnianie mokradeł (przy niskich stanach wody) Zasilanie mokradeł (przy wysokich stanach wody)
BD_14_M → BD_15_M	15,9 → 13,4	Odwadnianie mokradeł (*)
BD_15_M → BD_16_M	13,4 → 10,6	Odwadnianie mokradeł (przy niskich stanach wody) Zasilanie mokradeł (przy wysokich stanach wody)
BD_16_M → BD_17_M	10,6 → 8,3	Odwadnianie mokradeł (przy wysokich stanach wody) Zasilanie mokradeł (przy niskich stanach wody)
BD_17_M → BD_18_M	8,3 → 5,5	Odwadnianie mokradeł (*)
BD_18_M → BD_19_M	5,5 → 3,2	Zasilanie mokradeł (*)

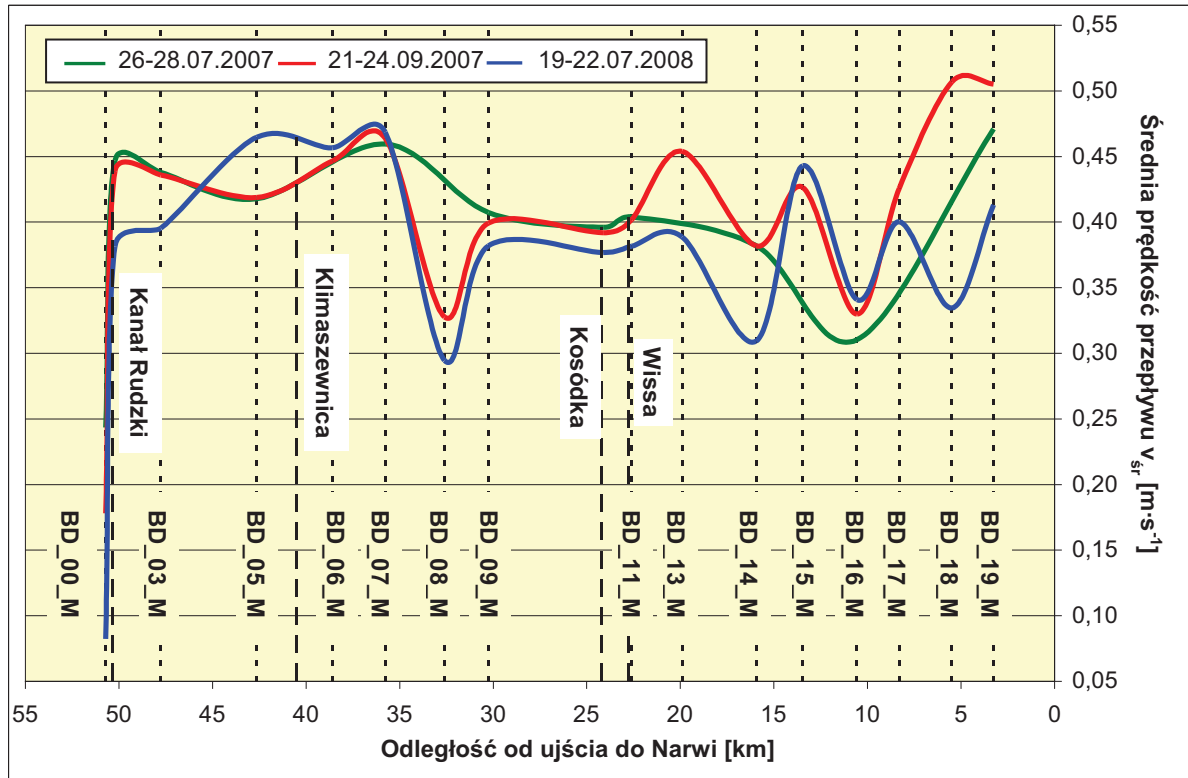
(*) – oznaczone gwiazdką zjawisko występuje zawsze, bez względu na stan wody w Biebrzy Dolnej

Bardzo wyraźna jest różnica w poziomie przepływu wody pomiędzy poszczególnymi latami pomiarowymi, przepływ z 2007 r. wynoszący (dla obydwu kampanii) średnio $18-23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ był znacznie większy niż przepływ z roku 2008 (ok. $12-14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Porównanie tych informacji z danymi wieloletnimi wskazuje, że 2007 r. był tzw. „mokrym rokiem” obfitującym w opady atmosferyczne, natomiast 2008 r. okazał się być tzw. „suchym rokiem” z niewielką ilością opadów oraz niskimi przepływami w okresie letnim. Przy wysokich stanach wody widoczne były znaczne wahania przepływu pomiędzy poszczególnymi odcinkami Biebrzy, w 2007 r. wynosiły one średnio $\Delta Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast w 2008 r. średnio $\Delta Q = 2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Zjawisko to wskazuje na ciągłą wymianę wody (przepływ boczny) pomiędzy korytem głównym a otoczeniem. Występowanie na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej obszarowych dopływów wody (powierzchniowe odwadnianie mokradeł, dopływ wód gruntowych) oraz odpływów wody (powierzchniowe zasilanie mokradeł, podnoszenie poziomu wód gruntowych torfowisk) z koryta obrazuje rysunek 6.8. Charakterystyczne jest to, że bez względu na stan wody w Biebrzy (niski lub wysoki) na niektórych odcinkach rzeka zawsze oddaje wodę na mokradła, natomiast na innych zawsze jest przez nie obszarowo zasilana, przy czym występuje tu wyraźna prawidłowość polegająca na tym, że im wyższy jest stan wody na Biebrzy tym intensywniejsza jest wymiana wody pomiędzy korytem rzeki a otaczającymi ją mokradłami. Nasuwa to przypuszczenie, że wraz ze wzrostem wielkości przepływu w Biebrzy rośnie znaczenie obszarowych źródeł zasilania w wodę jako potencjalnych źródeł oddziaływania na chemizm rzeki. Podsumowanie poczynionych w tym temacie obserwacji przedstawiono w tabeli 6.5



Rys. 6.9 Zależność pomiędzy przepływem w Biebrzy zmierzonym na początku Basenu Dolnego (przekrój BD_00_M) a ilością wody wchłoniętej później przez mokradła na odcinku do ujścia do Narwi

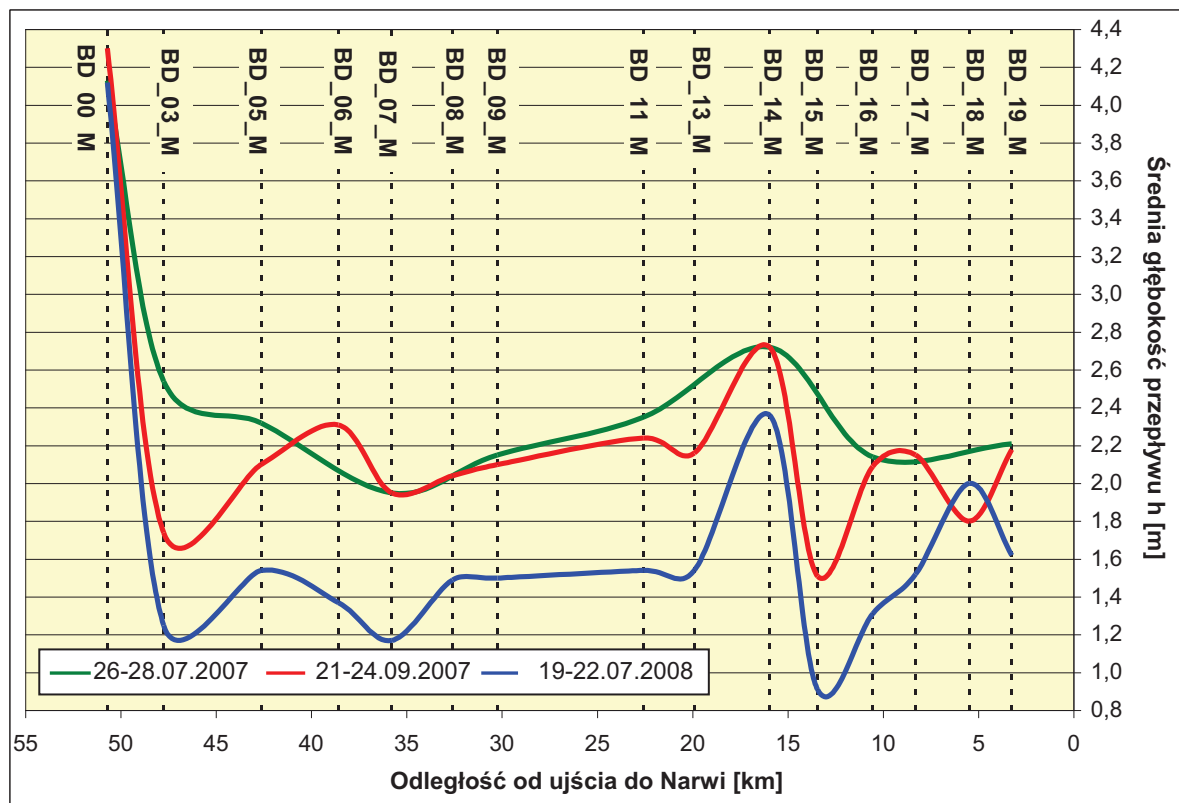


Rys. 6.10 Średnia prędkość przepływu wody na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Kolejnym zaobserwowanym we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych zjawiskiem było to, że przepływ wody w końcowym odcinku Biebrzy (ujście do Narwi w przekroju BD_19_M) był zawsze mniejszy od sumy przepływu w Biebrzy zmierzonego na samym początku Basenu Dolnego (przekrój BD_00_M) oraz przepływów zmierzonych w ujściowych odcinkach jej czterech dopływów. Zjawisko to występowało bez względu na stan wody (niski, wysoki) oraz bez względu na porę roku (lato, jesień), z tym że im wyższy był stan wody na Biebrzy tym różnica pomiędzy ilością wody wpływającą do Basenu Dolnego a wypływającą z niego była większa (obrazuje to rysunek 6.9).

Przeczy to popularnej tezie jakoby Biebrza w ostatecznym rozrachunku odwadniała torfowiska Basenu Dolnego, bowiem widać wyraźnie, że w skali całego 50-cio kilometrowego odcinka rzeka zawsze więcej wody oddawała niż jej zabierała. Z uzyskanej na podstawie pomiarów krzywej widać wyraźnie, że przepływ (na początku Basenu Dolnego) rzędu 20-21 m³·s⁻¹ jest poziomem granicznym, powyżej którego gwałtownie rośnie ilość wody pozostawianej przez Biebrzę na mokradłach, nawet przy niewielkim wzroście przepływu. Wniosek ten ma swoje odzwierciedlenie w danych uzyskanych z pomiarów terenowych, bowiem zaobserwowano, że już przy przepływie w przekroju BD_00_M rzędu 18-19 m³·s⁻¹ na znacznej długości Biebrzy Dolnej występowała woda brzegowa, a zatem powyżej tego stanu woda swobodnie przelewa się poza koryto zasilając otaczające je mokradła.

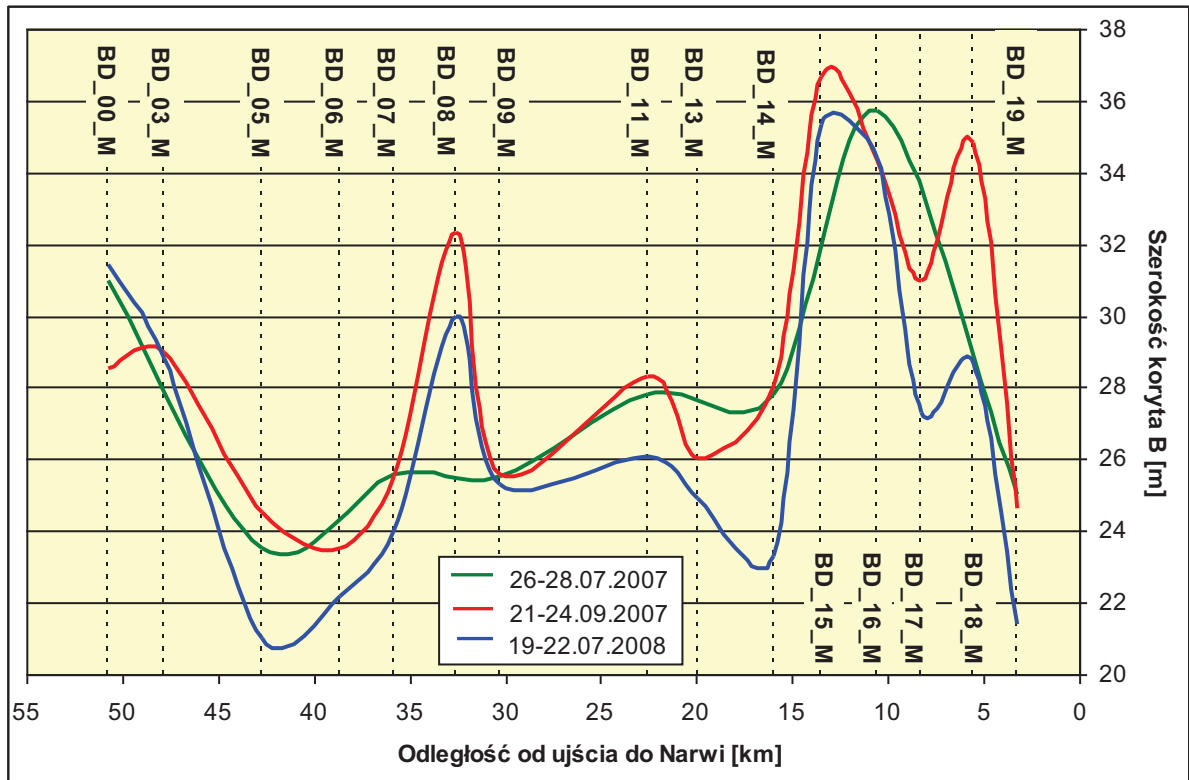
Podobnie jak w przypadku wielkości przepływu na całej długości Biebrzy Dolnej zaobserwowano znaczne wahania prędkości przepływu, dotyczyło to zarówno prędkości



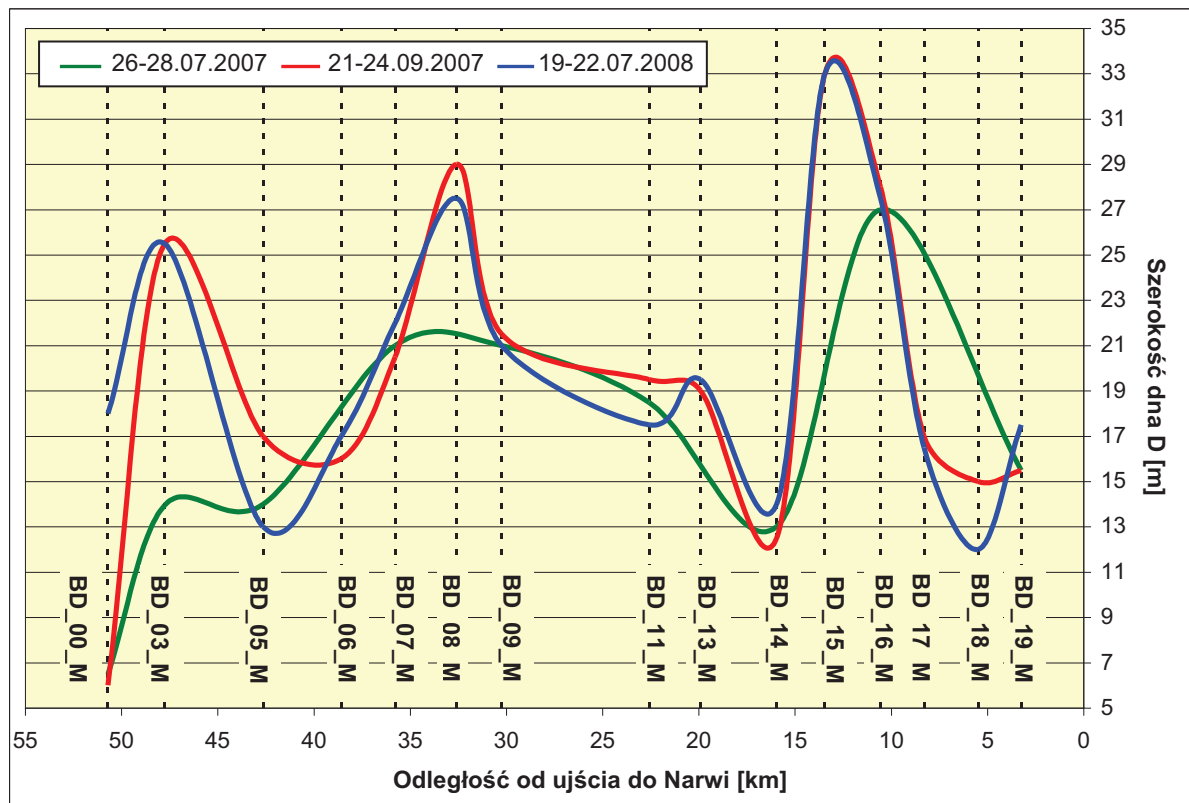
Rys. 6.11 Średnia głębokość przepływu wody na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

średnich na poszczególnych odcinkach rzeki jak i też różnic pomiędzy maksymalnymi a minimalnymi prędkościami występującymi w konkretnych przekrojach pomiarowych. Zmierzone we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych prędkości w Biebrzy wahały się (w zależności od przekroju pomiarowego oraz pionu hydrometrycznego) od 0 do $1,008 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, natomiast obliczone na ich podstawie prędkości średnie w przekrojach oscylowały w granicach od $0,082$ do $0,507 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. We wszystkich trzech kampaniach pomiarowych najwyższe średnie prędkości występowały na odcinku od BD_06_M do BD_07_M oraz w pobliżu ujścia Biebrzy do Narwi (poniżej BD_18_M).

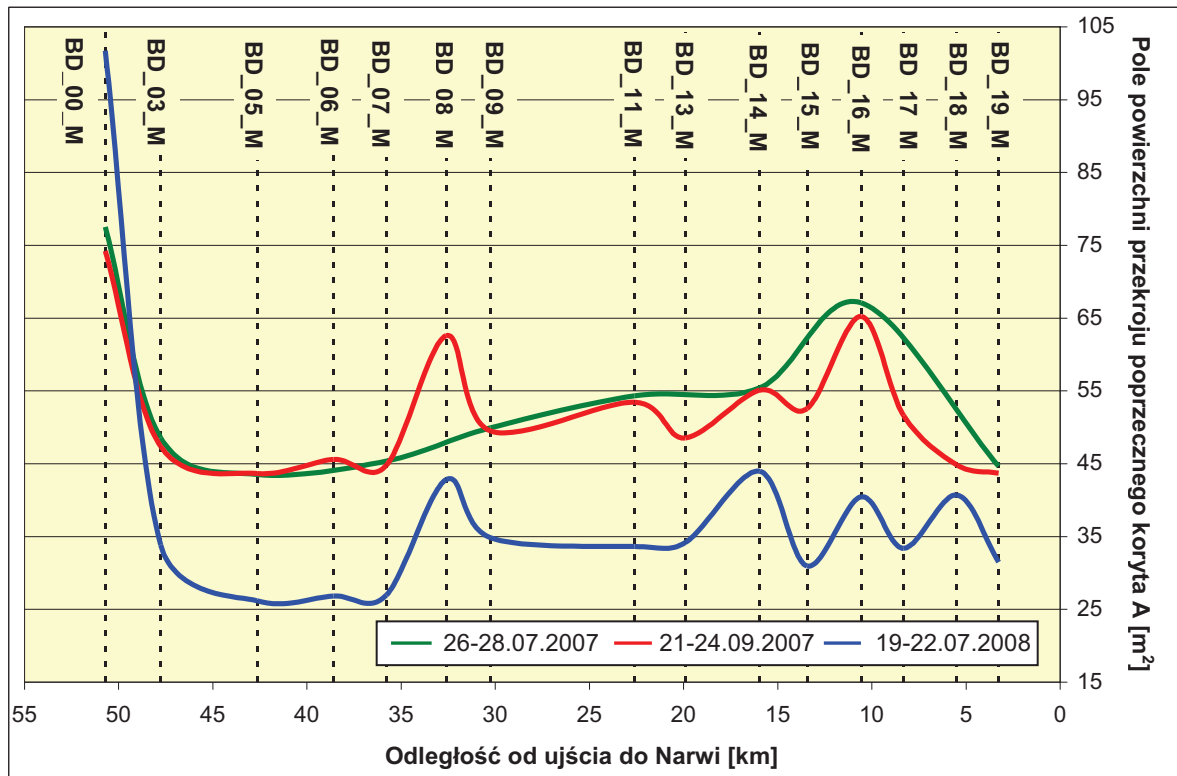
Najgwałtowniejszy wzrost średniej prędkości przepływu występował na odcinku od BD_00_M do BD_03_M, w miejscu dopływu Kanału Rudzkiego zanotowano przyrost rzędu: 80% (lipiec 2007), 145% (wrzesień 2007), a nawet 380% (lipiec 2008). Z kolei najwyższy spadek średniej prędkości występował we wszystkich trzech kampaniach na odcinku od BD_07_M do BD_08_M i wynosił: -11% (lipiec 2007), -29% (wrzesień 2007) oraz -37% (lipiec 2008). Pewną prawidłowością, wydawałoby się występującą wbrew logice, było to, że wszędzie tam, gdzie koryto Biebrzy gwałtownie rozszerzało się oraz wypłycało prędkość przepływu rosła, natomiast gdy tylko rzeka zwężała się a głębokość przepływu wzrastała prędkość automatycznie malała. Biebrza sprawia wrażenie rzeki płynącej wolno i leniwie, jednak są to tylko pozory, bowiem jej nurt jest bardzo szybki i burzliwy.



Rys. 6.12 Szerokość koryta na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008



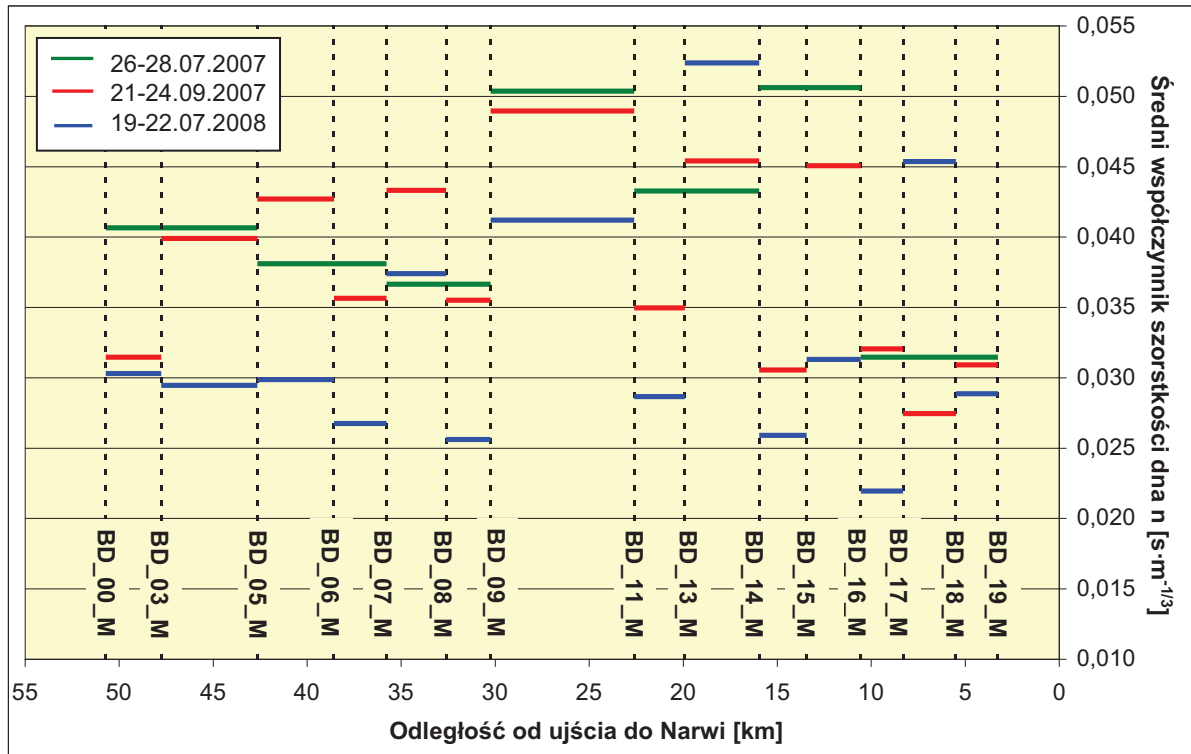
Rys. 6.13 Szerokość dna na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008



Rys. 6.14 Pole powierzchni przekroju poprzecznego koryta na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Średnia głębokość przepływu, szerokość koryta i szerokość dna były parametrami, które najdobitniej ukazały ogromną zmienność Biebrzy Dolnej. Wyznaczone we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych średnie napełnienie koryta na poszczególnych odcinkach wahało się od 0,91 do 4,30 m, przy czym maksymalna głębokość przepływu zmierzona bezpośrednio w terenie wynosiła 4,45 m (w przekroju BD_00_M). Największe spadki wartości napełnienia koryta występowały na odcinkach od BD_00_M do BD_03_M (lipiec 2007 -1,6 m, wrzesień 2007 -2,6 m, lipiec 2008 -2,9 m) oraz od BD_14_M do BD_15_M (wrzesień 2007 -1,2 m, lipiec 2008 -1,4 m). Na tych właśnie odcinkach koryto rzeki oraz jej dno ulegały gwałtownemu rozszerzeniu. Z kolei najwyższy wzrost głębokości przepływu występował we wszystkich trzech kampaniach na odcinku od BD_13_M do BD_14_M wynosząc +0,6 m (wrzesień 2007) lub +0,8 m (lipiec 2008). W tej części rzeki, a także na odcinkach od BD_03_M do BD_05_M oraz od BD_15_M do BD_17_M koryto oraz dno ulegały znacznemu zwężeniu.

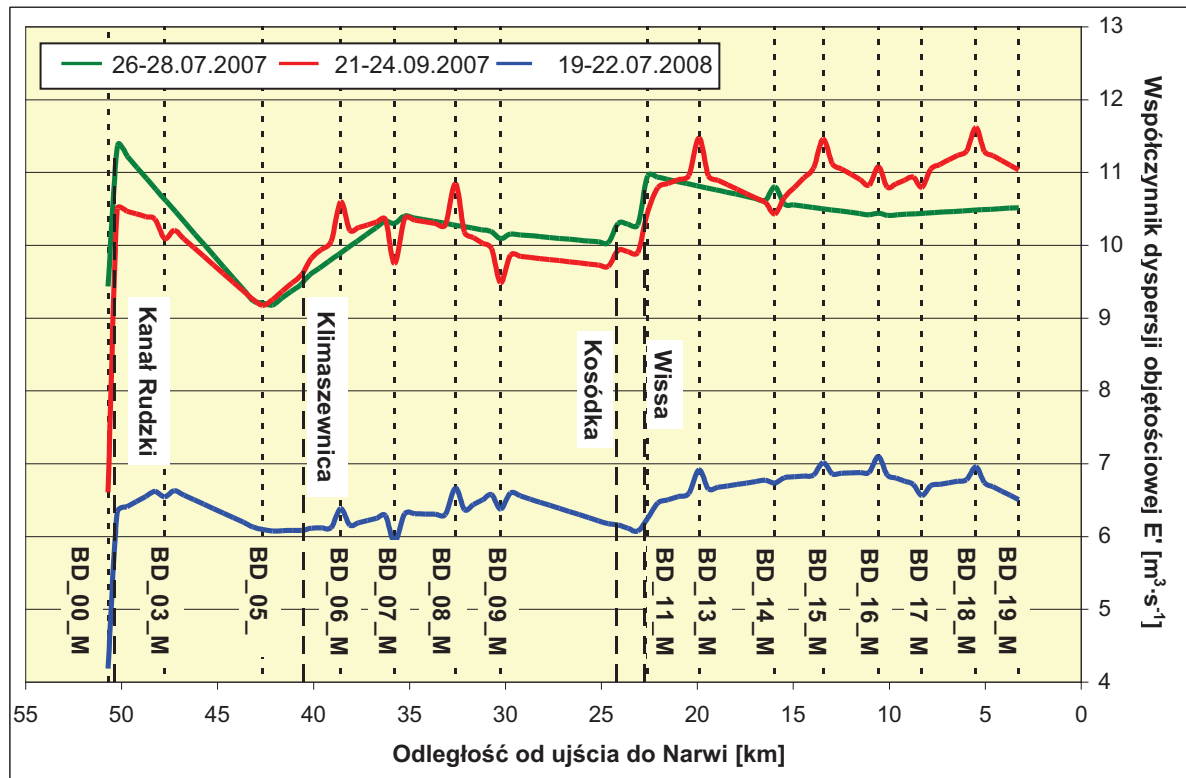
Przedstawiona graficznie zmienność parametrów geometrycznych (A , B , D) oraz hydraulicznych (h , n) koryta Biebrzy Dolnej pokrywa się z obserwacjami poczynionymi bezpośrednio w terenie, bowiem rzeka ta na całym swym 50-cio kilometrowym odcinku mocno meandruje, tworzy liczne i szerokie zakola bardzo często powodując, że niesiona przez nią woda zamiast płynąć bezpośrednio w kierunku Narwi jest transportowana w kierunku przeciwnym, tzn. koryto zawraca w górę biegu rzeki. Silny nurt rzeczny oraz



Rys. 6.15 Średni współczynnik szorstkości dna na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

meandrujące koryto powodują, że na zakrętach występuje duże zróżnicowanie w geometrii przekroju poprzecznego. Podczas gdy jeden z brzegów, na skutek omywania przez nurt rzeczny, tworzy niemal pionową skarpe, przeciwległy brzeg jest zazwyczaj łachą piasku łagodnie obniżającą się w kierunku wody.

Analizując zmiany współczynnika szorstkości dna na całej długości Biebrzy zauważono, że na dwóch odcinkach tej rzeki, tj. od BD_09_M do BD_11_M oraz od BD_13_M do BD_14_M, wartość współczynnika n była zawsze, tzn. we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych, znacznie wyższa od średniej arytmetycznej. Dużo wyższy n nie wynikał ze wzrostu oporu stawianego przez roślinność wodną, ponieważ najintensywniejsze zarastanie koryt zanotowano na innych odcinkach, tj. od BD_07_M do BD_08_M, od BD_11_M do BD_13_M oraz od BD_15_M do BD_18_M, zatem musiał być spowodowany (co wynika ze wzoru Manninga) wzrostem wartości pola powierzchni przekroju poprzecznego koryta A przy jednoczesnym spadku wartości przepływu Q . Średnia arytmetyczna (dla całej długości Biebrzy Dolnej) wartości współczynnika n była najwyższa dla lipca 2007 r. (0,0416), co jest zrozumiałe, gdyż z powodu wysokich stanów wody oraz szczytu sezonu wegetacyjnego powierzchnia pokrycia brzegów przez roślinność wodną była największa, generując tym samym najwyższy opór płynącej wodzie. Nieco mniejsza wartość średniej arytmetycznej n zanotowana we wrześniu 2007 r. (0,0374), przy niemal identycznym stanie wody jak w lipcu tego samego roku, pokazuje w jaki sposób jesienne obumieranie roślinności wodnej wpływa na obniżenie oporów stawianych płynącej wodzie. Najniższą średnią



Rys. 6.16 Średnia wartość współczynnika dyspersji objętościowej na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

arytmetyczną n zanotowano w lipcu 2008 r. (0,0325), gdy na skutek o wiele niższych (średnio o ok. 70-80 cm w stosunku do 2007 r.) stanów wody procent zarastania koryta rzecznego przez roślinność wodną był znacznie mniejszy.

Objętościowa dyspersja podłużna, czyli dyspersja zachodząca wzdłuż biegu rzeki równocześnie w trzech wymiarach koryta (długość, szerokość i głębokość) jest parametrem obrazującym szybkość rozpraszania się cząstek wody na skutek zachodzącego przepływu. Znając wartość dyspersji można oszacować stopień natleniania się płynącej w korycie wody oraz zdolność rzeki do wstępnego samooczyszczania się polegającego na zmniejszaniu się stężenia rozpraszanych z biegiem rzeki cząstek danego związku chemicznego. Analizując zmiany wartości dyspersji, jakie zachodziły na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych, zauważyć można gwałtowny jej przyrost poniżej ujścia Kanału Rudzkiego. Świadczy to o niebagatelnej roli kanału jako dopływu znacznie podnoszącego poziom natleniania się wód Biebrzy. Równie pozytywne oddziaływanie, choć na znacznie mniejszą skalę, cechowało Wisłę, natomiast wpływ w tym zakresie Klimaszewnicy oraz Kosódki był marginalny. W przypadku dyspersji zauważyć można, analogicznie do zmian wielkości przepływu oraz średniej prędkości przepływu, że wielkość amplitudy pomiędzy minimalną a maksymalną wartością zanotowaną w Biebrzy jest wprost proporcjonalna do wielkości przepływu w tej rzece. Najmniejsze wahania miały miejsce w lipcu 2008 r. (najmniejsze przepływy), natomiast największe wahania w lipcu oraz we wrześniu 2007 r. (przepływy największe).

6.1.7 Podsumowanie i wnioski

Wykresy obrazujące zmiany poszczególnych parametrów geometrycznych oraz hydraulicznych koryta Biebrzy w Basenie Dolnym wykazują znaczne podobieństwo do siebie w poszczególnych kampaniach pomiarowych. Jedyne różnice, jakie występują dotyczą modelu symulującego warunki przepływu wody w kampanii 26-28.07.2007 r., co jest skutkiem wykonania mniejszej ilości (z przyczyn losowych niezależnych od autora niniejszych badań) przekrojów poprzecznych. Jednak ze względu na fakt, iż warunki przepływu oraz stany wody w kampanii z lipca 2007 r. były niemal identyczne jak we wrześniu tego samego roku z dużym prawdopodobieństwem (graniczącym z pewnością) można przyjąć, że na odcinkach o mniejszej ilości przekrojów poprzecznych zmiany parametrów zachodziły w sposób bardzo zbliżony do siebie.

Wyniki symulacji przepływu wody w Biebrzy Dolnej w poszczególnych kampaniach pomiarowych dowodzą, że wszystkie trzy modele zostały poprawnie skonstruowane i skalibrowane, natomiast wyraźna porównywalność danych końcowych świadczy o pełnej weryfikacji poszczególnych modeli. Ostateczne wnioski, jakie nasuwają się po analizie wyników symulacji komputerowych są następujące:

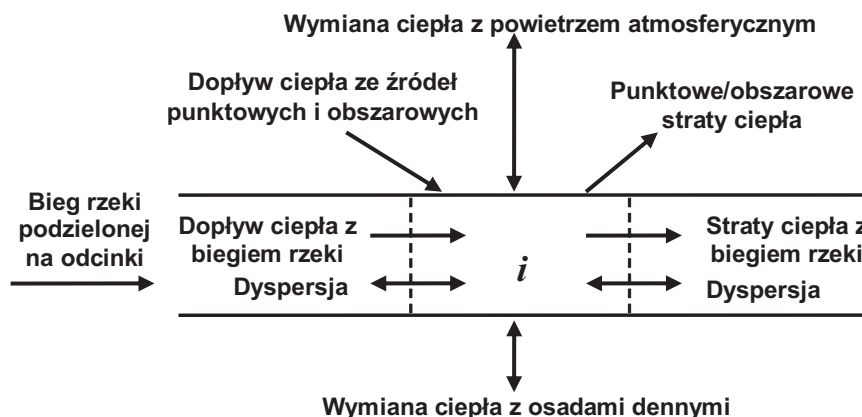
- 1) Spośród czterech dopływów Biebrzy Dolnej tylko Kanał Rudzki oraz Wissa miały istotny udział w bilansie jej przepływu, dotyczyło to zwłaszcza Kanału Rudzkiego, którego przepływ wynosił od 22 do 60% przepływu Biebrzy na wysokości jego ujścia (w przypadku Wissy od 6 do 8%).
- 2) Im notowano wyższe stany wody na Biebrzy Dolnej, a co za tym idzie większe przepływy, tym występowały większe wahania wielkości przepływu pomiędzy poszczególnymi odcinkami rzeki.
- 3) Im notowano wyższe stany wody na Biebrzy Dolnej, a co za tym idzie większe przepływy, tym znaczniejsza była dwukierunkowa wymiana wody (poprzez przepływ obszarowy) pomiędzy korytem głównym a otaczającymi rzekę mokradłami. Oznacza to, że wraz z podnoszeniem się zwierciadła wody na Biebrzy wzrasta znaczenie odwadnianych torfowisk jako potencjalnego źródła obszarowych oddziaływań na chemizm rzeki oraz równocześnie wzrasta wpływ samej Biebrzy na chemizm nawadnianych mokradeł.
- 4) Wymiana wody (poprzez przepływ obszarowy) pomiędzy korytem Biebrzy Dolnej a torfowiskami odbywała się na dwa sposoby:
 - a) poprzez grawitacyjny spływ powierzchniowy, polegający na przelewaniu się nadmiaru wody poza krawędź brzegów rzeki,
 - b) poprzez infiltrację wód gruntowych.
- 5) Całkowita ilość wody wpływającej do Basenu Dolnego, liczona jako suma przepływu w Biebrzy na wysokości wodowskazu Osowiec + przepływy w ujściowych odcinkach dopływów (Kanał Rudzki, Klimaszewnica, Kosódka, Wissa) była we wszystkich kampaniach pomiarowych większa od ilości wody wypływającej z basenu, liczonej

jako przepływ na Biebrzy w pobliżu jej ujścia do Narwi. Okazało się zatem, że Biebrza Dolna w ostatecznym rozrachunku zawsze, tzn. bez względu na porę sezonu wegetacyjnego (lato/jesień) oraz charakter roku (suchy/mokry) zasila torfowiska częścią transportowanej przez siebie wody.

- 6) Im notowano wyższe stany wody na Biebrzy Dolnej na wysokości wodowskazu Osowiec, a co za tym idzie większe przepływy, tym większa ilość wody zostawała później wchłonięta obszarowo przez mokradła, np. przy przepływie rzędu $20-21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wartość ta wynosiła ok. 30-35% przepływu. Powyżej $20-21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ilość pozostawianej na torfowiskach wody gwałtownie wzrastała, nawet przy niewielkim przyroście Q .
- 7) Najwyższą średnią prędkość przepływu wody na Biebrzy Dolnej zaobserwowano w ujściowym jej odcinku, co potwierdza odwadniające działanie Narwi, a także poniżej ujścia Kanału Rudzkiego. Oznacza to, że Kanał Rudzki bardzo korzystnie wpływa na mieszanie się wód Biebrzy (a co za tym idzie ich natlenienie), co sprzyja rozcieńczaniu się stężeń transportowanych substancji chemicznych.
- 8) Dwuletnie pomiary terenowe wykazały, że Biebrza Dolna jest rzeką o bardzo zmiennej (na długości i w czasie) geometrii oraz hydraulice koryta. Na odcinku o długości blisko 50 km, w zależności od pory roku (lato/jesień) oraz jego charakteru (mokry/suchy) szerokość koryta wahała się od 21 do 37 m, szerokość dna od 6 do 33 m, średnia głębokość przepływu od 0,9 do 4,3 m (maksymalne 4,5 m) oraz średni współczynnik szorstkości dna od 0,022 do 0,052 $\text{s} \cdot \text{m}^{-1/3}$. Koryto Biebrzy Dolnej silnie meandrowało, zakola rzeczne były przy tym tak ostre, że koryto niejednokrotnie zawracało w górę rzeki, a przy wyższych stanach wód zmieniało swoje położenie tworząc starorzecza.

6. 2 Konstrukcja, kalibracja oraz weryfikacja modelu meteorologicznego

Podstawowym celem skonstruowania modelu meteorologicznego było odzwierciedlenie w modelu jakości wód powierzchniowych Biebrzy Dolnej wpływu warunków atmosferycznych na przemiany biochemiczne zachodzące w rzece w czasie trwania poszczególnych symulacji. Działanie modelu meteorologicznego, funkcjonującego w ramach



Rys. 6.17 Schemat bilansu ciepła dla „i”-tego elementu modelu Biebrzy Dolnej (Chapra et al. 2007) modułu programowego QUAL2K, opierało się w głównej mierze na matematycznym zbilansowaniu wymiany ciepła pomiędzy modelowaną rzeką a jej bezpośrednim otoczeniem, chodzi tu zarówno o wymianę ciepła wywołaną przepływem wody (transport w rzece, punktowe i obszarowe dopływy/odpływy), jak i też spowodowaną oddziaływaniem czynników atmosferycznych (promieniowanie słoneczne, wiatr itp.) oraz zjawiskami zachodzącymi na granicy osady denne-woda (rys. 6.17). Wszystkie procesy zostały opisane za pomocą powszechnie znanych równań matematycznych uzyskanych drogą empiryczną lub za pomocą fizycznych badań laboratoryjnych, dostępnych w bogatej literaturze międzynarodowej związanej z tematyką badań naukowych w dziedzinie fizyki atmosfery oraz meteorologii. Równanie matematyczne, zastosowane do zbilansowania wymiany ciepła pomiędzy dowolnym elementem obliczeniowym „i” rzeki a jej otoczeniem, uwzględniało następujące wielkości fizyczne (Chapra et al. 2007):

$$\frac{dT_{w,i}}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{w,i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_{w,i} - \frac{Q_{odpływi}}{V_i} T_{w,i} + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{w,i-1} - T_{w,i}) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{w,i+1} - T_{w,i}) + \frac{W_{c,i}}{\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_i} + \frac{J_{p-w,i}}{\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot h_i} + \frac{J_{os-w,i}}{\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot h_i} \quad (6.16)$$

gdzie:

$T_{w,i}$ – temperatura wody w elemencie „i” [°C],

t – czas [doba],

V_i – objętość elementu „i” [m³],

$Q_{odpływi}$ – całkowity odpływ wody (punktowy + obszarowy) z elementu „i” [m³·doba⁻¹],

E'_i – współczynnik dyspersji objętościowej pomiędzy elementem „i” a „i+1” [m³·doba⁻¹],

ρ_w – gęstość wody [g·cm⁻³],

$c_{p,w}$ – ciepło właściwe wody [cal·°C⁻¹·g⁻¹],

$J_{p-w,i}$ – strumień ciepła pomiędzy powietrzem atmosferycznym a wodą zawartą w elemencie „i” [cal·cm⁻²·doba⁻¹],

h_i – głębokość przepływu w elemencie „i” [m],

$J_{os-w,i}$ – strumień ciepła pomiędzy osadami dennymi a wodą zawartą w elemencie „i” [cal·cm⁻²·doba⁻¹],

$W_{c,i}$ – sumaryczny ładunek ciepła pochodzącego z punktowych i obszarowych dopływów wody do elementu „i” [cal·doba⁻¹], wyznaczony z równania:

$$W_{c,i} = \rho \cdot c_{p,w} \cdot \left(\sum_{j=1}^{dpi} Q_{dp,i,j} T_{dp,i,j} + \sum_{j=1}^{doi} Q_{do,i,j} T_{do,i,j} \right) \quad (6.17)$$

gdzie:

$\sum_{j=1}^{dpi} Q_{dp,i,j}$ – suma wszystkich punktowych dopływów wody do elementu „i” [m³·doba⁻¹],

$\sum_{j=1}^{doi} Q_{do,i,j}$ – suma wszystkich obszarowych dopływów wody do elementu „i” [$m^3 \cdot doba^{-1}$],

$T_{dp,i,j}$ – temperatura „j”-tego punktowego źródła ciepła dla elementu „i” [$^{\circ}C$],

$T_{do,i,j}$ – temperatura „j”-tego obszarowego źródła ciepła dla elementu „i” [$^{\circ}C$].

6.2.1 Wymiana ciepła pomiędzy rzeką a powietrzem atmosferycznym

Wymiana ciepła pomiędzy powierzchnią zwierciadła wody w rzece a powietrzem atmosferycznym J_h została zdefiniowana jako proces składający się z pięciu elementów składowych, wg równania (Chapra et al. 2007):

$$J_h = I(0) + J_{atm} - J_w - J_{prz} - J_{ut} \quad (6.18)$$

gdzie:

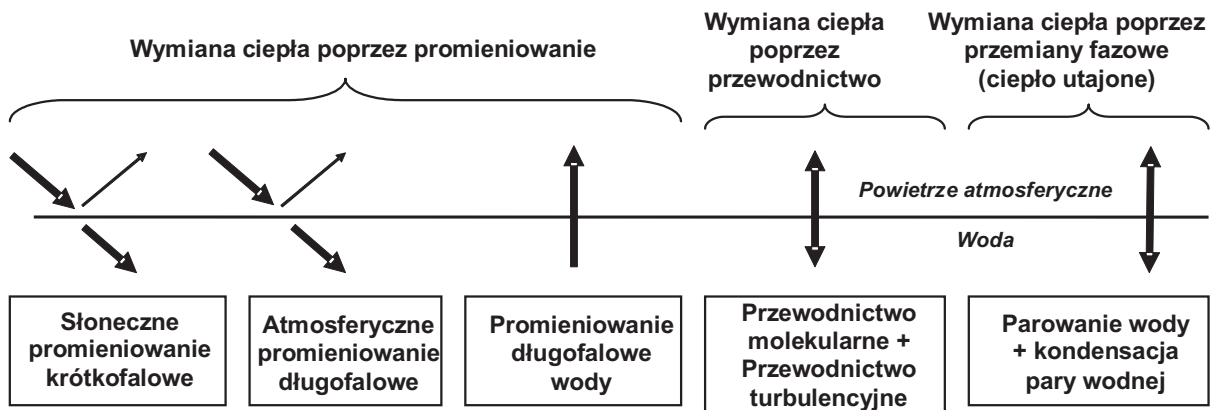
$I(0)$ – słoneczne promieniowanie krótkofalowe mierzone przy pow. wody [$cal \cdot cm^{-2} \cdot doba^{-1}$],

J_{atm} – atmosferyczne promieniowanie długofalowe [$cal \cdot cm^{-2} \cdot doba^{-1}$],

J_w – promieniowanie długofalowe wody [$cal \cdot cm^{-2} \cdot doba^{-1}$],

J_{prz} – molekularne i turbulencyjne przewodnictwo ciepła [$cal \cdot cm^{-2} \cdot doba^{-1}$],

J_{ut} – ciepło utajone jako suma parowania wody oraz kondensacji pary wodnej [$cal \cdot cm^{-2} \cdot doba^{-1}$].



Rys. 6.18 Schemat wymiany ciepła pomiędzy rzeką a powietrzem atmosferycznym zastosowany w modelu meteorologicznym Biebrzy Dolnej (Chapra et al. 2007)

6.2.1.1 Słoneczne promieniowanie krótkofalowe

Ponad 99% całej energii promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi przypada na fale o długości poniżej 4 μm (Kożuchowski 2006), dlatego też mówiąc o promieniowaniu słonecznym właściwie powinno się używać określenia „słoneczne promieniowanie krótkofalowe”. Całkowite ciepło przechodzące z powietrza atmosferycznego do rzeki jest funkcją promieniowania słonecznego, które w trakcie przenikania przez kolejne warstwy atmosfery zostaje częściowo rozproszone, zaabsorbowane lub odbite natrafiając na różnego rodzaju naturalne przeszkody, np. chmury (w atmosferze) lub też wysoką roślinność

(przy powierzchni Ziemi) zacinającą koryta rzeczne. W modelu meteorologicznym Biebrzy Dolnej wyznaczono wartość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni zwierciadła wody $I(0)$, a następnie przenikającego w jej głąb na poszczególnych odcinkach rzeki w oparciu o współrzędne geograficzne koryta oraz położenie względem nich Słońca, wg równania (Chapra et al. 2007):

$$I(0) = I_0 \cdot a_{atm} \cdot a_{ch} \cdot (1 - R_s)(1 - S_{ef}) \quad (6.19)$$

gdzie:

a_{atm} – współczynnik ekstynkcji atmosferycznej, czyli osłabienia bezpośredniego promieniowania słonecznego w atmosferze ziemskiej na skutek rozproszenia i absorpcji przez gazy atmosferyczne,

a_{ch} – współczynnik ekstynkcji wywołanej rozproszeniem oraz absorpcją promieniowania słonecznego przez chmury,

R_s – albedo, czyli część padającego promieniowania słonecznego ulegającego odbiciu od chmur, zwierciadła wody itp.,

S_{ef} – zacienienie efektywne, czyli część padającego promieniowania słonecznego nie docierającego do zwierciadła wody w wyniku zasłonięcia koryta rzeczno-wysoką roślinnością lub elementami topografii terenu (wzgórza, budowle itp.),

I_0 – promieniowanie słoneczne pozaziemskie, tzn. docierające do górnej granicy atmosfery ziemskiej [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$], wyznaczone z równania:

$$I_0 = \frac{W_0}{r^2} \cdot \sin \alpha \quad (6.20)$$

gdzie:

W_0 – stała słoneczna, czyli natężenie promieniowania słonecznego docierającego do górnej granicy atmosfery ziemskiej ($1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 2823 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$),

r – znormalizowany promień orbity ziemskiej, czyli stosunek aktualnej odległości Ziemi od Słońca do średniej odległości Ziemi od Słońca,

α – wysokość Słońca nad horyzontem [radiany], wyznaczona z równania:

$$\sin \alpha = \sin \delta \cdot \sin L_{sz} + \cos \delta \cdot \cos L_{sz} \cdot \cos(\tau) \quad (6.21)$$

gdzie:

δ – deklinacja Słońca, czyli kąt pomiędzy płaszczyzną równika a kierunkiem na Słońce [radiany],

L_{sz} – szerokość geograficzna danego elementu obliczeniowego koryta [radiany],

τ – lokalny kąt padania promieniowania słonecznego względem powierzchni Ziemi, tzn. kąt padania dla danego elementu obliczeniowego koryta rzeczno-wysoką [radiany], wyznaczony z równania:

$$\tau = \left(\frac{\text{trueSolarTime}}{4} - 180 \right) \cdot \frac{\pi}{180} \quad (6.22)$$

gdzie:

$trueSolarTime$ – prawdziwy czas słoneczny, czyli czas wynikający bezpośrednio z pozycji Słońca na niebie [minuty], wyznaczony z równania:

$$trueSolarTime = localTime + eqtime - 4L_d - 60 \cdot timezone \quad (6.23)$$

gdzie:

L_d – długość geograficzna danego elementu obliczeniowego koryta rzecznoego [°],

$localTime$ – czas lokalny wynikający z długości geograficznej [minuty],

$eqtime$ – różnica pomiędzy prawdziwym czasem słonecznym a średnim czasem słonecznym [minuty],

$timezone$ – strefa czasowa odniesiona do czasu uniwersalnego UTC [godziny].

Wymienione wyżej parametry, tzn. deklinację Słońca, kąt padania promieni słonecznych, wysokość Słońca nad horyzontem, znormalizowany promień orbity ziemskiej, a także czas wschodu i zachodu Słońca zostały obliczone przez program FORTRAN w oparciu o algorytmy opracowane przez amerykańską agencję rządową *U. S. National Oceanic and Atmospheric Administration* zajmującą się m. in. pomiarami meteorologicznymi na terenie Stanów Zjednoczonych (<http://www.srb.noaa.gov/highlights/sunrise/azel.html>). Zastosowana metoda obliczeniowa uwzględniała m. in. poprawkę na refrakcję atmosferyczną, czyli załamanie promieniowania słonecznego przenikającego przez atmosferę. Program FORTRAN wymagał wprowadzenia danych wyznaczonych według Uniwersalnego Czasu Koordynowanego UTC (z ang. *Universal Coordinated Time*), tymczasem obiekt badań położony był pomiędzy 15 a 30° długości geograficznej wschodniej, a więc znajdował się w drugiej strefie czasowej przesuniętej względem UTC o 2 godziny (UTC + 2h).

Współczynnik ekstynkcji atmosferycznej a_{atm} został obliczony z równania Brasa:

$$a_{atm} = e^{-n_{turb} a_1 m} \quad (6.24)$$

gdzie:

n_{turb} – współczynnik turbulencji atmosferycznej o wartości od 2 (niebo bezchmurne) do 5 (silnie zachmurzone niebo ze smogiem nad obszarami zurbanizowanymi),

a_1 – współczynnik atmosferycznego rozproszenia molekularnego, wyznaczony ze wzoru:

$$a_1 = 0,128 - 0,054 \cdot \log m \quad (6.25)$$

gdzie:

m – optyczna masa atmosfery, czyli stosunek drogi jaką pokonuje promieniowanie słoneczne w czasie przechodzenia przez atmosferę do grubości atmosfery, liczonej w momencie pojawienia się Słońca w zenicie, wyznaczona z równania:

$$m = \frac{1}{\sin \alpha + 0,15 \cdot (\alpha_d + 3,885)^{-1,253}} \quad (6.26)$$

gdzie:

$$\alpha_d = \alpha \cdot \left(\frac{180^\circ}{\pi} \right) - \text{wysokość Słońca nad horyzontem [^\circ]}.$$

Współczynnik ekstynkcji wywołanej rozproszeniem oraz absorpcją promieniowania słonecznego przez chmury a_{ch} został wyznaczony z równania:

$$a_{ch} = 1 - 0,65 \cdot (C_L)^2 \quad (6.27)$$

gdzie:

C_L – zachmurzenie, czyli stopień pokrycia nieba chmurami, w skali od 0 (niebo bezchmurne) do 1 (niebo całkowicie zachmurzone).

Albedo R_s zostało wyznaczone z równania:

$$R_s = A \cdot (\alpha_d)^B \quad (6.28)$$

gdzie:

A, B – współczynniki wynikające z zachmurzenia, przedstawione w tabeli 6.6.

Tabela 6.6 Wartości współczynników wykorzystywanych do obliczania albedo na podstawie zachmurzenia nieba (Chapra et al. 2007)

Zachmurzenie	Niebo bezchmurne		Zachmurzenie niewielkie/umiarkowane		Zachmurzenie umiarkowane/duże		Niebo całkowicie pokryte chmurami	
C_L	0		0,1-0,5		0,5-0,9		1	
Współczynnik	A	B	A	B	A	B	A	B
Wartość współczynnika	1,18	-0,77	2,20	-0,97	0,95	-0,75	0,35	-0,45

6.2.1.2 Atmosferyczne promieniowanie długofalowe

Długofalowe promieniowanie emitowane przez atmosferę w kierunku powierzchni Ziemi, czyli tzw. promieniowanie zwrotne, jest jednym z dwóch najważniejszych składników bilansu ciepła pomiędzy Biebrzą Dolną a powietrzem atmosferycznym. Dotyczy to zwłaszcza dni pochmurnych, gdyż natężenie promieniowania zwrotnego zależy wprost proporcjonalnie od rodzaju i wysokości zachmurzenia (Kožuchowski 2006). Atmosferyczne promieniowanie długofalowe J_{atm} zostało wyznaczone z równania (Chapra et al. 2007):

$$J_{atm} = \sigma \cdot (T_p + 273)^4 \cdot \varepsilon_{atm} \cdot (1 - R_L) \quad (6.29)$$

gdzie:

$$\sigma = 11,7 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{doba} \cdot \text{K}^4} \right] - \text{stała Stefana-Boltzmann},$$

T_p – temperatura powietrza [°C],

$R_L = 0,03$ – bezwymiarowy współczynnik odbicia promieniowania,

ε_{atm} – efektywna emisyjność atmosfery, czyli jej zdolność do emisji promieniowania, obliczana jako stosunek wartości atmosferycznego promieniowania długofalowego do promieniowania długofalowego z doskonałego emitera o tej samej temperaturze, wyznaczona z równania:

$$\varepsilon_{\text{atm}} = \varepsilon_{\text{atm}}^* \cdot (1 + 0,17 \cdot (C_L)^2) \quad (6.30)$$

gdzie:

$\varepsilon_{\text{atm}}^*$ – efektywna emisyjność atmosfery przy bezchmurnym niebie, wyliczona z równania Brunta wyznaczonego w sposób empiryczny:

$$\varepsilon_{\text{atm}}^* = A_a + A_b \cdot \sqrt{e_{pw}} \quad (6.31)$$

gdzie:

A_a, A_b – współczynniki empiryczne, których wartości w modelu ustalono na poziomie optymalnych warunków pogodowych ($A_a = 0,6$; $A_b = 0,031 \text{ mm Hg}^{-1/2}$),

e_{pw} – aktualna prężność pary wodnej, czyli ciśnienie cząstkowe wywierane przez parę wodną zawartą w powietrzu [mm Hg], wyznaczona z równania:

$$e_{pw} = 4,596 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot T_{pr}}{237,3 + T_{pr}}} \quad (6.32)$$

gdzie:

T_{pr} – temperatura punktu rosy [°C].

6.2.1.3 Promieniowanie długofalowe wody

Kolejną wielkością fizyczną, która została uwzględniona w bilansie wymiany ciepła pomiędzy wodą rzeczną a powietrzem atmosferycznym było promieniowanie długofalowe J_w emitowane przez wodę a zdefiniowane poprzez prawo Stefana-Boltzmann (Chapra et al. 2007):

$$J_w = \varepsilon_w \cdot \sigma \cdot (T_w + 273)^4 \quad (6.33)$$

gdzie:

$\varepsilon_w = 0,97$ – emisyjność wody,

T_w – temperatura wody [°C].

6.2.1.4 Molekularne i turbulencyjne przewodnictwo ciepła

Istotnym składnikiem bilansu wymiany ciepła Biebrzy Dolnej z otoczeniem było zjawisko przewodnictwa ciepła, zarówno molekularne (cząsteczkowe) jak i też turbulencyjne. Przewodnictwo molekularne to przenoszenie ciepła poprzez molekuly z ośrodka o wyższej temperaturze do ośrodka o niższej temperaturze, natomiast przewodnictwo turbulencyjne to przenoszenie ciepła na skutek ruchu poszczególnych ośrodków. Obydwie formy przewodnictwa mogą wystąpić na granicy zwierciadła wody rzecznej i powietrza atmosferycznego, co wyraża się równaniem (Chapra et al. 2007):

$$J_{prz} = c_1 \cdot f(v_w) \cdot (T_{wp} - T_p) \quad (6.34)$$

gdzie:

$$c_1 = 0,47 \left[\frac{mm \ Hg}{^\circ C} \right] - \text{współczynnik Bowena,}$$

T_p – temperatura powietrza [$^\circ C$],

T_{wp} – temperatura wody przy powierzchni [$^\circ C$],

$f(v_w)$ – funkcja określająca zależność wymiany ciepła pomiędzy wodą a powietrzem atmosferycznym od prędkości wiatru v_w mierzonej nad powierzchnią zwierciadła wody, wyznaczana z równania Brady'ego, Gravesa i Geyera:

$$f(v_w) = 19,0 + 0,95 \cdot (v_w)^2 \quad (6.35)$$

gdzie:

v_w – prędkość wiatru na wysokości 7 m powyżej zwierciadła wody [$m \cdot s^{-1}$].

6.2.1.5 Parowanie wody oraz kondensacja pary wodnej

Największy udział w nieradiacyjnym transporcie energii ma ciepło utajone (Kożuchowski 2006), w tym zjawisko parowania wody (ewaporacji) oraz kondensacji pary wodnej. Starty ciepła wynikające z parowania wody zostały opisane prawem Daltona (Chapra et al. 2007):

$$J_{ut} = f(v_w) \cdot (e_s - e_{pw}) \quad (6.36)$$

gdzie:

e_s – ciśnienie nasyconej pary wodnej przy powierzchni zwierciadła wody [mm Hg],

e_{pw} – aktualna prężność pary wodnej [mm Hg].

6.2.2 Wymiana ciepła pomiędzy rzeką a jej osadami dennymi

Ostatnią wielkością fizyczną, która została uwzględniona w bilansie wymiany ciepła Biebrzy Dolnej z otoczeniem był strumień przepływu ciepła pomiędzy osadami dennymi a znajdującą się nad nimi wodą, opisany dla dowolnego elementu obliczeniowego „i” następującym równaniem (Chapra et al. 2007):

$$\frac{dT_{os,i}}{dt} = - \frac{J_{os,i}}{\rho_{os} \cdot c_{p,os} \cdot H_{os,i}} \quad (6.37)$$

gdzie:

$T_{os,i}$ – temperatura osadów dennych zalegających pod elementem „i” [°C],

ρ_{os} – gęstość osadów dennych [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],

$H_{os,i}$ – miąższość efektywnej warstwy osadów dennych, czyli warstwy osadów faktycznie biorącej udział w wymianie ciepła z wodą [cm],

$c_{p,os}$ – ciepło właściwe osadów dennych [$^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$],

$J_{os,i}$ – strumień przepływu ciepła pomiędzy osadami dennymi a wodą zawartą w elemencie obliczeniowym „i” [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$], wyznaczony z równania:

$$J_{os,i} = \rho_{os} \cdot c_{p,os} \cdot \frac{2\alpha_s}{H_{os,i}} \cdot (T_{os,i} - T_{w,i}) \cdot 86400 \cdot \frac{s}{d} \quad (6.38)$$

gdzie:

$T_{w,i}$ – temperatura wody elementu obliczeniowego „i” [°C],

α_s – dyfuzyjność cieplna osadów dennych [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],

s – współczynnik wymiany masy pomiędzy wodą a warstwą osadów dennych, w której zachodzą procesy konsumujące tlen [$\text{m} \cdot \text{doba}^{-1}$],

d – współczynnik rozproszenia (wymycia) najdrobniejszej frakcji osadów.

6.2.3 Dane meteorologiczne z posterunków klimatologicznych

W celu uzupełnienia własnych badań terenowych o dane meteorologiczne pozyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku wyniki pomiarów parametrów meteorologicznych z poszczególnych dni pomiarowych, w tym:

- 1) Dane meteorologiczne z najbliższego posterunku klimatologicznego zlokalizowanego w miejscowości Biebrza (obrzeża Basenu Dolnego):
 - temperatura powietrza,
 - temperatura punktu rosy,
 - prędkość wiatru na wys. 13 m,
 - zachmurzenie,
 - nasłonecznienie.
- 2) Wysokość opadu atmosferycznego z posterunków opadowych znajdujących się w granicach Basenu Dolnego lub jego otuliny, tzn. w miejscowościach: Osowiec, Burzyn, Radziłów oraz Wizna.

Dane średniodobowe dla całych okresów trwania poszczególnych kampanii pomiarowych zostały przedstawione w tabelach 6.7-6.8

Tabela 6.7 Sumy dobowe wysokości opadu atmosferycznego w posterunkach opadowych Basenu Dolnego Biebrzy w poszczególnych kampaniach pomiarowych 2007-2008 [mm]

Data pomiarów	Posterunek opadowy (miejsowość)			
	Osowiec	Burzyn	Radziłów	Wizna
26.07.2007	Brak opadów		1,0	Brak opadów
27.07.2007	7,6	1,3	12,8	3,7
28.07.2007	1,6	2,7	1,9	3,2
29.07.2007	10,0	7,6	9,0	9,8
21-25.09.2007	Brak opadów			
19.07.2008	Brak opadów	0,8	1,0	5,3
20.07.2008	4,2	0,9	2,5	1,3
21.07.2008	3,2	2,7	1,3	4,7
22.07.2008	Brak opadów			
23.07.2008	1,0	1,2	Brak opadów	1,4

Źródło danych: IMGW. Opracowanie własne. Uwaga: 1 mm = 1 dm³·m⁻²

Tabela 6.8 Dane meteorologiczne (średnie dobowe) z Posterunku Klimatologicznego „Biebrza” w poszczególnych kampaniach pomiarowych 2007-2008

Data pomiarów	Parametr meteorologiczny				
	Temperatura powietrza [°C]	Temperatura punktu rosy [°C]	Prędkość wiatru na wys. 13 m [m·s ⁻¹]	Zachmurzenie [%]	Ustłonecznienie – suma dobową [godz.]
26.07.2007	17,8	13,1	3,7	59	11,3
27.07.2007	18,1	15,7	1,0	50	5,0
28.07.2007	18,4	14,6	1,7	59	7,5
29.07.2007	17,3	14,4	1,7	66	5,1
21.09.2007	10,1	6,8	2,3	25	9,0
22.09.2007	11,0	7,7	1,3	41	7,9
23.09.2007	9,2	8,0	0,7	34	8,3
24.09.2007	11,8	8,9	1,3	25	7,5
25.09.2007	12,1	9,7	1,7	25	9,2
19.07.2008	19,2	12,0	2,0	50	10,1
20.07.2008	16,8	12,3	2,0	59	7,4
21.07.2008	14,4	12,5	2,3	96	brak Słońca
22.07.2008	15,3	11,1	0,7	75	7,5
23.07.2008	17,1	12,5	3,3	59	7,2

Źródło danych: IMGW. Opracowanie własne.

6.2.4 Obliczenia własne – konstrukcja modelu

Konstrukcja modelu meteorologicznego polegała na wprowadzeniu do odpowiednich arkuszy kalkulacyjnych modułu QUAL2K wartości poszczególnych parametrów meteorologicznych obrazujących wymianę ciepła pomiędzy rzeką a powietrzem

atmosferycznym oraz wielkości fizycznych opisujących wymianę ciepła pomiędzy wodą rzeczną a osadami dennymi, tzn. pojemność cieplną wody i osadów, miąższość warstwy osadów biorącej udział w wymianie ciepła z wodą, dyfuzyjność cieplną osadów oraz gęstość wody i osadów. Wartości wielkości fizycznych charakteryzujących właściwości cieplne osadów rzecznych zostały oszacowane na podstawie dostępnej literatury fachowej (Chapra et al. 2007; Chapra 1997; Schnoor 1996).

Wyniki symulacji przepływu w Biebrzy Dolnej pokazały, że czas transportu wody na modelowanym odcinku rzeki wahał się od 32 do 34 godzin. Teoretycznie więc, aby możliwe było jak najdoskonalsze odzwierciedlenie zmian jakości wody w ciągu dwóch kolejnych dób zachodzące na całym 50-cio kilometrowym odcinku rzeki próbki wód powierzchniowych powinny były zostać pobrane w takiej samej rozciągłości czasowej. W praktyce jednak było to niewykonalne, bowiem pobieranie próbek wody w tak dużych odstępach czasu, a następnie ich przewożenie i transportowanie w terenie spowodowałoby niechybnie zmiany fizyko-chemiczne w pobranej wodzie, a tym samym utratę ich wiarygodności jako źródła informacji o stanie czystości badanej rzeki. Ostatecznie więc wyniki analiz chemicznych odzwierciedlały warunki fizyko-chemiczne panujące w Biebrzy i jej dopływach *de facto* w czasie poboru próbek dlatego też przyjęto, że dla każdej kampanii pomiarowej model meteorologiczny będzie symulował warunki pogodowe panujące dokładnie w tych samych terminach, tzn. w dniach: 29.07.2007 (od godz. 10:30 do 13:00), 25.09.2007 (od godz. 10:30 do 13:00) oraz 23.07.2008 (od godz. 10:00 do 14:00).

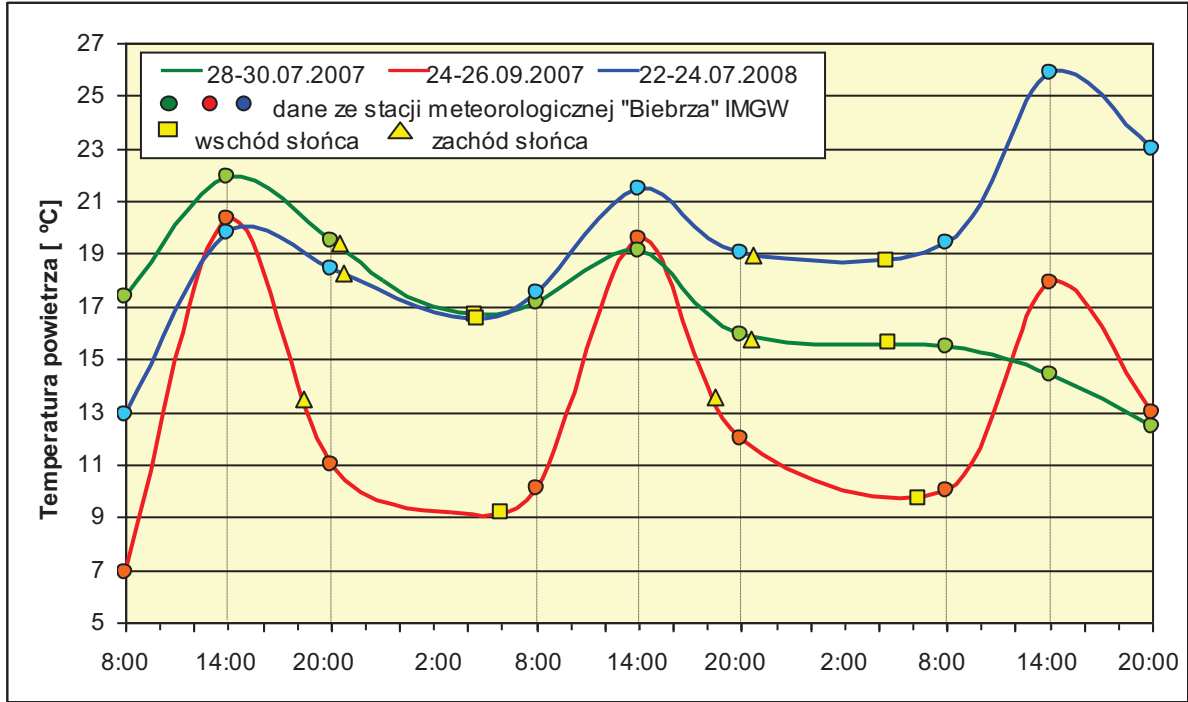
Wartości średniodobowe parametrów meteorologicznych były wystarczające do zobrazowania warunków pogodowych panujących w trakcie poszczególnych kampanii pomiarowych, jednakże do konstrukcji modelu meteorologicznego konieczne były dane z bezpośrednich odczytów wykonanych na stacjach klimatologicznych IMGW. Odczyty te prowadzone były na stacji „Biebrza” trzy razy na dobę, tj. o godz. 8.00, 14.00 oraz 20.00, jednakże ze względu na fakt, iż model meteorologiczny wymagał wprowadzenia danych nie tylko dla każdej pełnej godziny, ale również w czasie pomiędzy nimi konieczna była interpolacja danych, co zobrazowano na rysunkach 6.19-6.22. Odczytane w ten sposób dane wprowadzono do arkuszy kalkulacyjnych modułu QUAL2K, przy czym przeliczenie prędkości wiatru odczytanej na wysokości 13 m ponad poziomem gruntu na wysokość 7 m odbyło się z wykorzystaniem następującego równania (Chapra et al. 2007):

$$v_w = v_{wz} \cdot \left(\frac{z}{z_w} \right)^{0.15} \quad (6.39)$$

gdzie:

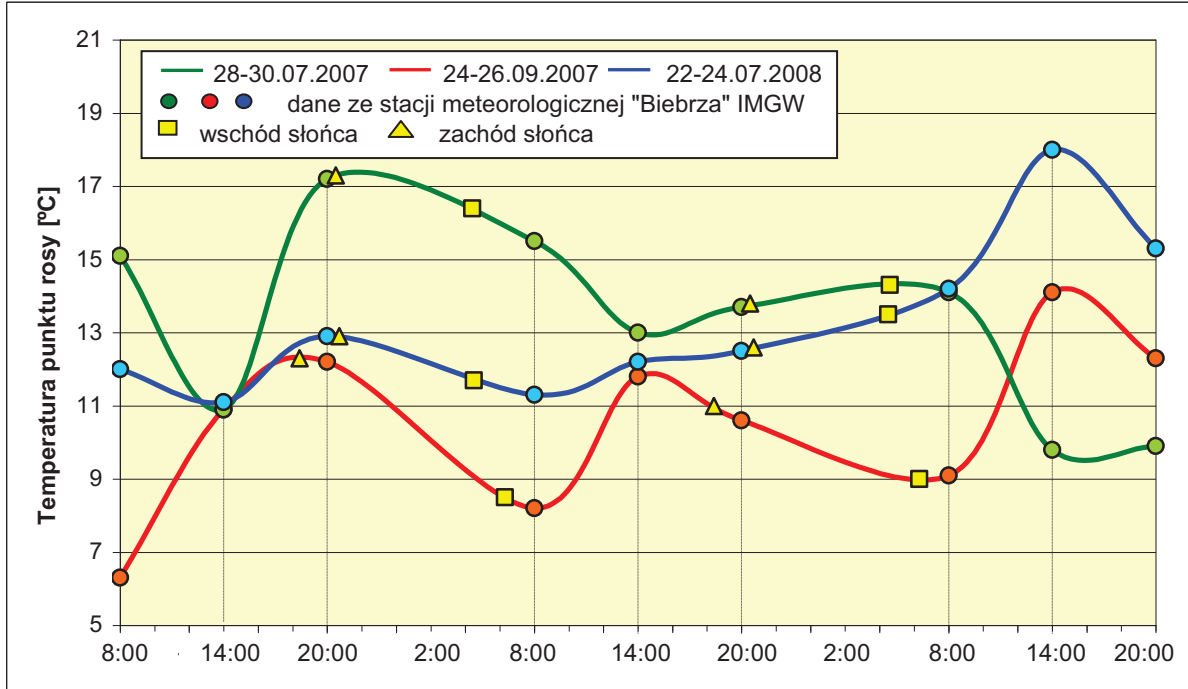
v_w – prędkość wiatru na wysokości $z = 7$ m powyżej poziomu gruntu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

v_{wz} – prędkość wiatru na dowolnej wysokości z_w powyżej poziomu gruntu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].



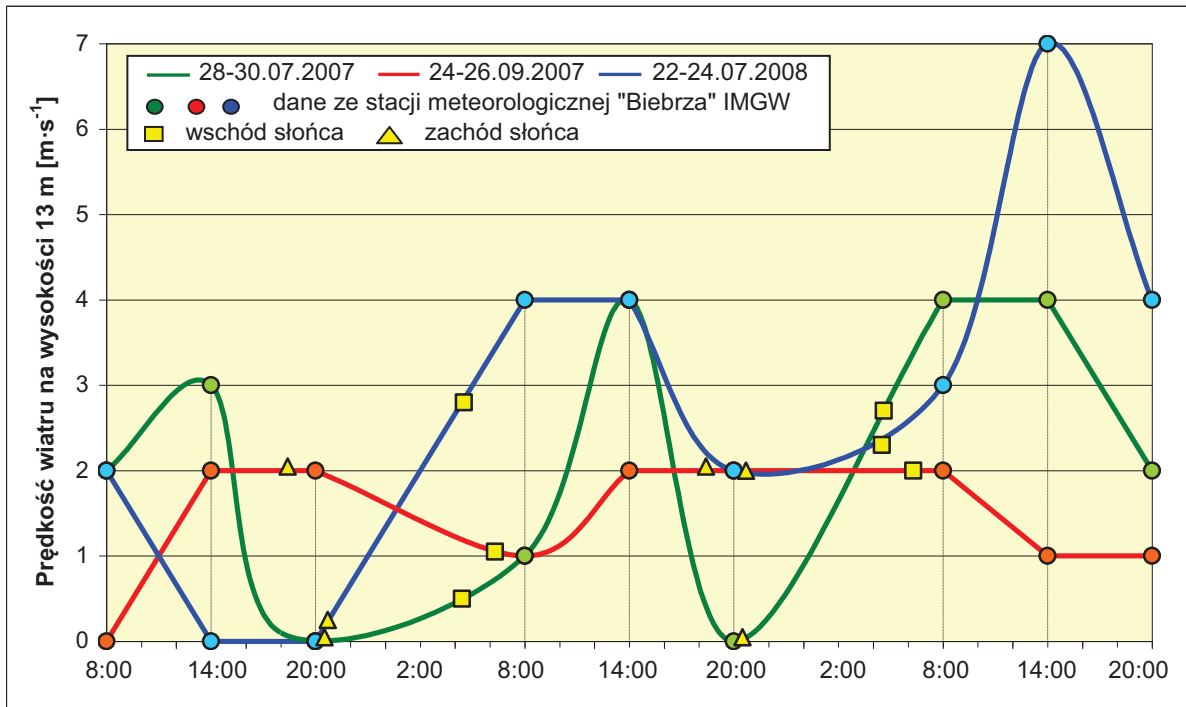
Źródło danych: IMGW. Opracowanie własne.

Rys. 6.19 Interpolacja dobowych zmian temperatury powietrza na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w okresach poboru próbek wód powierzchniowych



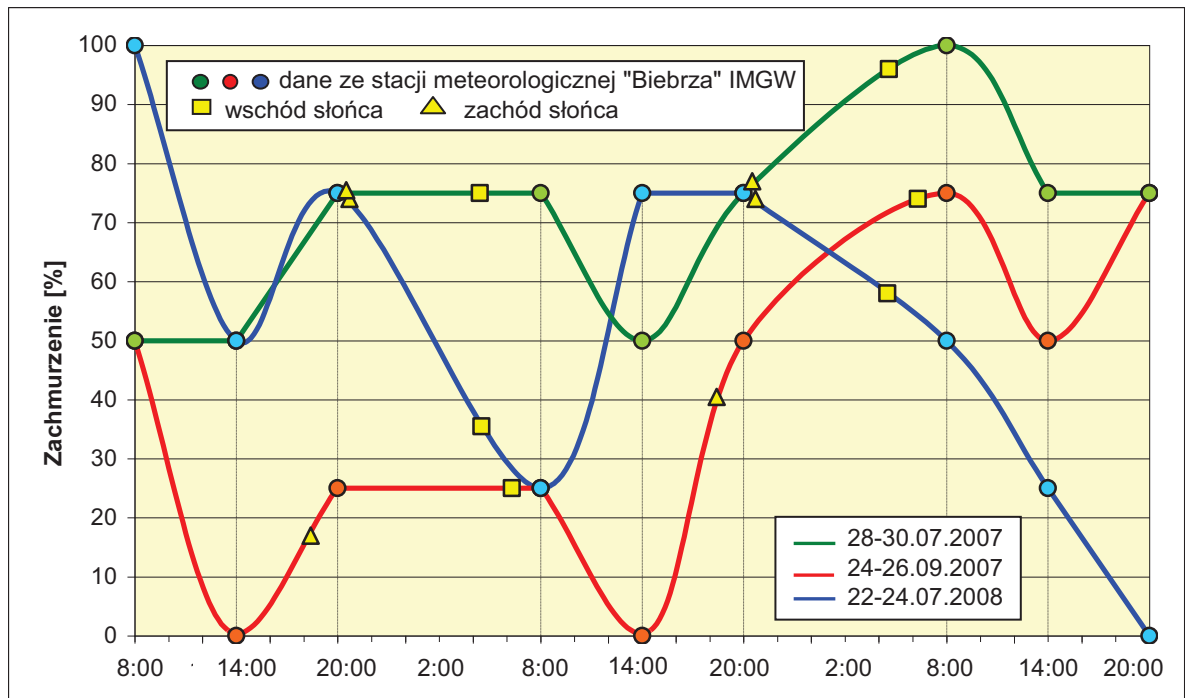
Źródło danych: IMGW. Opracowanie własne.

Rys. 6.20 Interpolacja dobowych zmian temperatury punktu rosy na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w okresach poboru próbek wód powierzchniowych



Źródło danych: IMGW. Opracowanie własne.

Rys. 6.21 Interpolacja dobowych zmian prędkości wiatru na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w okresach poboru próbek wód powierzchniowych



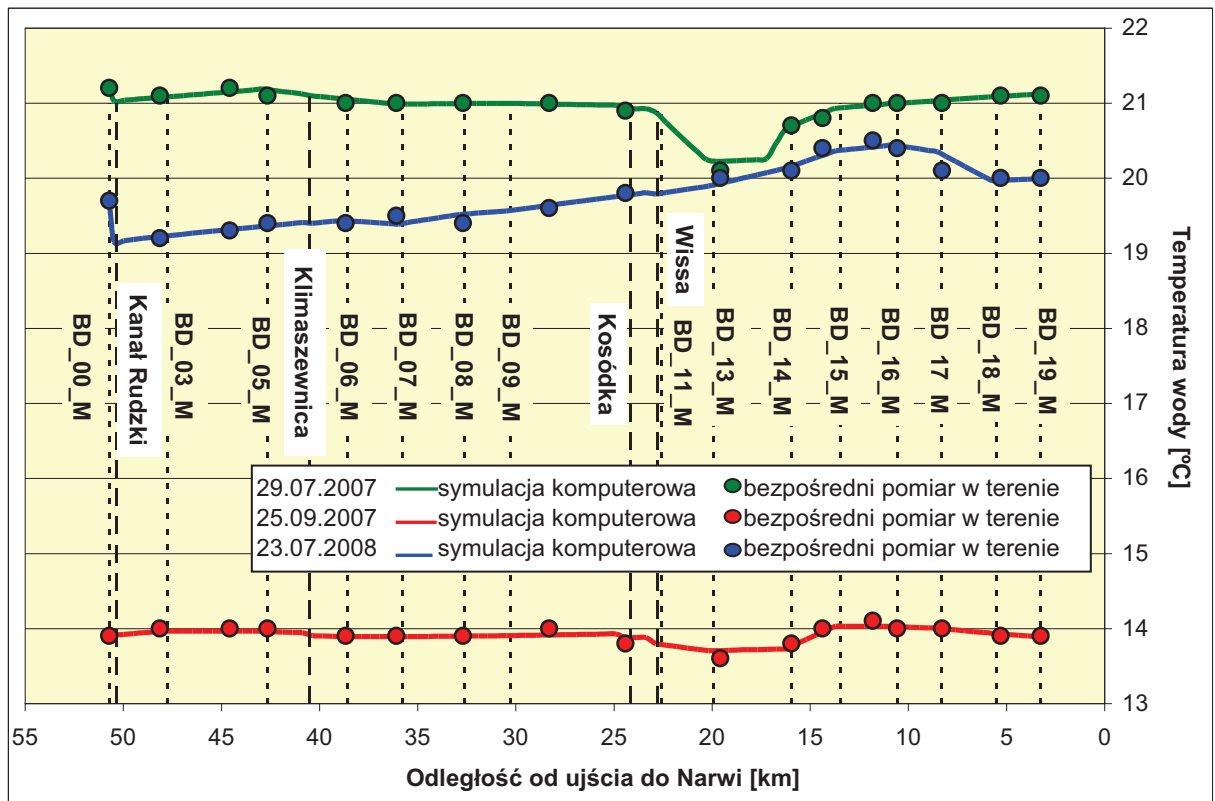
Źródło danych: IMGW. Opracowanie własne.

Rys. 6.22 Interpolacja dobowych zmian zachmurzenia na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy w okresach poboru próbek wód powierzchniowych

W module programowym QUAL2K możliwe było dwójakie zastosowanie modelu meteorologicznego: albo do symulacji warunków pogodowych i wymiany ciepła z otoczeniem na długości całego koryta przy założeniu niezmienności w czasie (dla danego odcinka rzeki) zadanych parametrów meteorologicznych albo w trybie quasi-dynamicznym, tzn. pokazując zmiany warunków pogodowych na wybranym odcinku rzeki w czasie jednej doby (od godz. 0:00 do 24:00). Z powodów wymienionych wcześniej wybrano wariant pierwszy.

6.2.5 Obliczenia numeryczne – kalibracja modelu

Kalibracja modelu meteorologicznego symulującego wymianę ciepła pomiędzy Biebrzą Dolną a jej otoczeniem polegała w praktyce na wielokrotnym sprawdzaniu wyników obliczeń numerycznych, a następnie poddawaniu korekcie wartości temperatury powietrza, temperatury punktu rosy, zachmurzenia, zacienienia oraz temperatury wód dopływających/odpływających obszarowo (dla każdego odcinka rzeki) w taki sposób, aby poprzez kolejne przybliżenia osiągnąć wyznaczone pomiarami terenowymi zmiany temperatury wody w Biebrzy na odcinku od m. Osowiec (przekrój BD_00_M) aż po jej ujście do Narwi (BD_19_M). Uzyskane w wyniku kalibracji wartości poszczególnych parametrów meteorologicznych oraz wielkości fizyczne charakteryzujące wymianę ciepła przedstawiono w tabelach 6.9-6.10, natomiast zmiany temperatury wody w Biebrzy Dolnej wzdłuż biegu koryta zaprezentowano na rys. 6.23.



Rys. 6.23 Rozkład temperatury wody na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Tabela 6.9 Wyniki kalibracji parametrów meteorologicznych oraz parametrów wymiany ciepła w modelu Biebrzy Dolnej (wartości średnie dla całych odcinków)

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data symulacji warunków pogodowych	Temperatura powietrza [°C]	Temperatura punktu rosy [°C]	Zachmurzenie [%]	Zacienienie tafl wody [%]	Prędkość wiatru na wysokości 7 m [m·s ⁻¹]	Przeptyw obszarowy		Dopływy punktowe		Pojemność cieplina		Miaższosć efektywnej warstwy osadów dennych [cm]	Dyfuzyjność cieplna osadów dennych [cm ² ·s ⁻¹]	Gęstość [g·cm ⁻³]		
								Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi	Od	Do	Od	Do	Od			Do	Wody	Osadów dennych
Od BD_00_M Do BD_03_M	2,941	25.09.2007	19,0	13,5	15	0	1,0	0,444	-	14,0	7,877	13,9	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	20,0	11,9	25	0	3,6	-	0,844	19,0	4,165	18,0	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_03_M Do BD_05_M	5,122	25.09.2007	15,5	8,9	14	0	1,0	2,363	-	14,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	20,1	12,0	24	0	3,6	1,236	-	19,5	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_05_M Do BD_06_M	4,065	25.09.2007	15,8	9,0	13	0	1,0	-	1,836	13,5	0,225	11,0	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	20,2	12,1	23	0	3,6	-	0,052	15,0	0,055	15,0	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_06_M Do BD_07_M	2,804	25.09.2007	16,0	9,1	12	0	1,0	-	0,442	13,5	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	20,3	12,2	22	0	3,6	-	0,379	15,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_07_M Do BD_08_M	3,171	25.09.2007	16,2	9,2	11	0	2,0	0,271	-	14,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	20,4	12,3	21	0	3,6	0,025	-	19,5	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_08_M Do BD_09_M	2,356	25.09.2007	16,4	9,3	10	0	2,0	0,751	-	14,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	20,5	12,4	20	0	3,6	-	0,677	19,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649	25.09.2007	16,6	9,4	9	0	2,0	0,454	-	14,0	0,463	11,7	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	20,6	12,5	19	0	3,6	1,272	-	19,5	0,053	19,3	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_11_M Do BD_13_M	2,686	25.09.2007	16,8	9,5	8	0	2,0	-	0,560	9,5	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	21,1	12,8	15	0	3,6	-	0,435	20,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_13_M Do BD_14_M	3,955	25.09.2007	17,0	9,6	7	0	3,0	0,985	-	14,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	21,6	13,1	10	0	3,6	-	0,314	23,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_14_M Do BD_15_M	2,515	25.09.2007	17,1	9,7	6	0	4,0	-	1,347	18,5	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	22,7	13,6	20	0	3,6	-	0,127	26,5	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
Od BD_15_M Do BD_16_M	2,882	25.09.2007	17,2	9,8	5	0	7,0	0,886	-	14,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	21,0	12,7	50	0	3,6	-	0,064	15,0	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6

Tabela 6.10 Wyniki kalibracji parametrów meteorologicznych oraz parametrów wymiany ciepła w modelu Biebrzy Dolnej (wartości średnie dla całych odcinków)

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data symulacji warunków pogodowych	Temperatura powietrza [°C]	Temperatura punktu rosy [°C]	Zachmurzenie [%]	Zacienienie tafli wody [%]	Prędkość wiatru na wysokości 7 m [m·s ⁻¹]	Przepływ obszarowy				Dopływy punktowe			Pojemność ciepła $\left[\frac{cal}{^{\circ}C \cdot g}\right]$		Miaższość efektywnej warstwy osadów dennych [cm]	Dyfuzyjność cieplna osadów dennych [cm ² ·s ⁻¹]	Gęstość [g·cm ⁻³]	
								Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi	Od	Do	Odpyw [m ³ ·s ⁻¹]	Dopływ [m ³ ·s ⁻¹]	Temperatura [°C]	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi	Dopływ [m ³ ·s ⁻¹]	Temperatura [°C]			Wody	Osadów dennych
Od BD_16_M Do BD_17_M	2,261	25.09.2007	17,2	9,9	15	10	11,0	10,556	8,295	0,463	15,0	-	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	17,5	10,5	80	15	3,6													
Od BD_17_M Do BD_18_M	2,807	25.09.2007	17,3	10,0	35	15	14,0	8,295	5,488	0,750	15,0	-	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	16,0	10,0	100	20	3,6													
Od BD_18_M Do BD_19_M	2,236	25.09.2007	17,6	10,2	60	10	15,0	5,488	3,252	-	14,0	-	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		23.07.2008	19,5	11,5	60	0	3,6													
Od BD_00_M Do BD_05_M	8,063	29.07.2008	21,0	15,0	30	0	2,0	50,702	42,639	0,000	21,5	50,353 (Kanał Rudzki)	4,176	20,2	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		29.07.2008	19,5	14,5	40	0	2,5													
Od BD_07_M Do BD_09_M	5,527	29.07.2008	19,0	14,0	60	0	2,5	35,770	30,243	0,512	21,0	-	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		29.07.2008	18,7	13,8	70	0	2,5													
Od BD_11_M Do BD_14_M	6,641	29.07.2008	18,8	13,9	50	0	3,0	22,594	19,908	1,807	12,0	-	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		29.07.2008	19,4	14,2	25	0	3,5													
Od BD_14_M Do BD_16_M	5,397	29.07.2008	19,4	14,2	10	10	3,5	10,556	8,295	0,188	22,0	-	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		29.07.2008	20,0	14,6	10	10	3,5													
Od BD_16_M Do BD_19_M	7,304	29.07.2008	20,0	14,6	10	10	3,5	5,488	3,252	0,000	21,0	-	-	-	1	0,5	10	0,0077	1	1,6
		29.07.2008	20,0	14,6	10	10	3,5													

6.2.6 Podsumowanie i wnioski

Wyniki symulacji warunków pogodowych oraz wymiany ciepła pomiędzy Biebrzą Dolną a jej otoczeniem w poszczególnych kampaniach pomiarowych dowodzą, że wszystkie trzy modele zostały poprawnie skonstruowane i skalibrowane, natomiast wyraźna porównywalność danych końcowych świadczy o pełnej weryfikacji poszczególnych modeli. Ostateczne wnioski, jakie nasuwają się po analizie wyników symulacji komputerowych wygenerowanych przez współdziałające ze sobą modele meteorologiczne (wraz z wymianą ciepła z otoczeniem) oraz modele przepływu wody w Biebrzy są następujące:

- 1) Przy wysokich stanach wody (pomimo zmieniających się warunków pogodowych) temperatura wody w Biebrzy Dolnej niemal na całej jej długości wykazywała dużą stabilność oscylując wokół wartości 14°C (wrzesień 2007 r.) lub 21°C (lipiec 2007 r.), natomiast przy niskich stanach wody (lipiec 2008 r.) temperatura rzeki stopniowo wzrastała wraz z jej biegiem, od 19°C (początek Basenu Dolnego) do 21,5°C (ujście do Narwi). Nasuwa się spostrzeżenie, że im mniej wody płynie w korycie Biebrzy tym większy wpływ na termikę jej wód mają warunki pogodowe, a zwłaszcza nasłonecznienie. W przypadku wysokich stanów, gdy w korycie rzeki płynęły duże ilości wody i jednocześnie dochodziło do znacznych przepływów obszarowych, wpływ promieniowania słonecznego był zbyt mały (nawet w środku lata), aby podnieść temperaturę wód powierzchniowych nawet o 1°C.
- 2) Wszędzie tam, gdzie dochodziło do obszarowej wymiany wody pomiędzy Biebrzą a otaczającymi ją mokradłami występowały różnice w temperaturze wód powierzchniowych. Zazwyczaj były one niewielkie (ok. 1-2°C), jednak na niektórych odcinkach były większe i wynosiły od 5°C (wrzesień 2007 r. na odcinku od 22,5 do 19,9 km biegu rzeki; lipiec 2008 r. na odcinku od 42,6 do 35,8 km oraz od 13,4 do 10,5 km) do 9-10°C (lipiec 2007 r. na odcinku od 22,5 do 19,9 km; lipiec 2008 r. na odcinku od 8,3 do 5,5 km). W przypadku różnicy rzędu 1-2°C *in minus* należy przypuszczać, że Biebrza była zasilana swoimi własnymi wodami powierzchniowymi odprowadzonymi kilka kilometrów wcześniej na mokradła, gdzie na skutek mniejszego wystawienia na działanie promieniowania słonecznego (zasłonięcie tafli wody przez wysokie na ok. 2 m trzcinowiska) nieznacznie spadła ich temperatura. W przypadku różnicy rzędu 1-2°C *in plus* mogła zachodzić sytuacja odwrotna, tzn. dopływająca obszarowo woda pochodziła z otwartych, nie zarośniętych rozlewisk, gdzie była cały czas nagrzewana przez promieniowanie słoneczne. Z kolei w przypadku dopływu wód chłodniejszych o 5-10°C nasuwa się przypuszczenie, że Biebrza była zasilana wodami podziemnymi lub mieszanymi, tzn. powierzchniowo-podziemnymi. Zasilanie chłodniejszymi wodami mieszanymi lub podziemnymi było najbardziej widoczne w lipcu 2008 r. (występowało na kilku odcinkach rzeki) przy niskim stanie wody na Biebrzy, natomiast przy wysokich stanach (lipiec oraz wrzesień 2007 r.) zjawisko to występowało tylko na odcinku od 22,5 do 19,9 km biegu rzeki. W

poszczególnych kampaniach pomiarowych największe różnice pomiędzy temperaturą wody w Biebrzy a temperaturą dopływów obszarowych występowały w lipcu 2007 r. oraz lipcu 2008 r., natomiast najmniejsze we wrześniu 2007 r.

- 3) We wszystkich kampaniach na odcinku od 15,9 do 13,4 km biegu Biebrzy dochodziło do wzrostu temperatury w rzece, co jest zrozumiałe biorąc pod uwagę fakt, iż właśnie na tym odcinku koryto oraz dno Biebrzy ulegało gwałtownemu poszerzeniu (do ponad 30 m), a sama rzeka wypłycała się, np. w lipcu 2008 r. głębokość przepływu wynosiła tu tylko 0,9 m, przy czym na wysokości wsi Brzostowo na odcinku o długości ok. kilkuset metrów Biebrza miała zaledwie 0,5 m głębokości z widocznymi na środku rzeki mieliznami. Równocześnie na tym samym odcinku dochodziło we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych do obszarowego zasilania rzeki wodami cieplejszymi o 3-6°C. Ponieważ okoliczny teren to podmokłe pastwiska z niemal doszczętnie wygryzioną roślinnością przez pasące się stada krów oraz koni, należy przypuszczać, że źródłem ciepła są nagrzane od słońca, płytkie wody zaskórne zalegające na pastwiskach, które powoli przesączają się przez torf w kierunku rzeki.
- 4) Bez względu na porę roku oraz warunki pogodowe we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych dopływy Biebrzy zasilaty rzekę wodami nieznacznie od niej chłodniejszymi, różnica ta wynosiła: 1°C (Kanał Rudzki, Wissa), 1-2°C (Kosódka) oraz 2-5°C (Klimaszewnica). Pomimo tego, iż temperatura wody w Kanale Rudzkim była tylko o 1°C niższa niż w Biebrzy to w okresie letnim, tj. w lipcu 2007 r. oraz w lipcu 2008 r. wody Biebrzy poniżej ujścia kanału ulegały zauważalnemu schłodzeniu (o ok. 0,5°C) ze względu na znaczny przepływ w Kanale Rudzkim. Skoro w nie osłoniętym żadną roślinnością, biegnącym wśród otwartych pól i pastwisk Kanale Klimaszewnickim (Klimaszewnicy) zanotowano temperaturę wody niższą nawet o 5°C w stosunku do wód Biebrzy to tym bardziej pokryte wysokimi trzcinowiskami mokradła mogły zasilać obszarowo Biebrzę wodami chłodniejszymi od niej o 5-10°C, zwłaszcza na obszarach z wysiękiem wód podziemnych.
- 5) Pomiary wykonane w lipcu 2008 r. wykazały, że na całej długości Biebrzy temperatura wód przydennych była zawsze wyższa o 0,2-0,5°C w stosunku do temperatury wód przypowierzchniowych, mierzonej 0,5 m pod powierzchnią zwierciadła wody. Sytuacja, w której bez względu na głębokość koryta rzecznoego oraz pomimo panujących w czasie pomiarów dobrych warunków pogodowych (silne nasłonecznienie) temperatura przy dnie cieku była wyższa niż przy powierzchni może wskazywać, iż osady denne są w pewnym stopniu źródłem ciepła dla wód powierzchniowych, najprawdopodobniej na skutek przebiegu biochemicznych procesów rozkładu materii organicznej, w czasie których wydzielane jest ciepło.
- 6) W końcowym odcinku Biebrzy, tj. od 10,5 do 3 km przed ujściem do Narwi, zaznaczył się wpływ porastającej brzegi rzeki wysokiej roślinności (drzewa, zarośla wierzbowe) zacieniającej taflę wody i ograniczającej dopływ do niej promieniowania słonecznego.

6.3 Konstrukcja, kalibracja oraz weryfikacja modelu przemian biochemicznych

Podstawowym celem skonstruowania modelu przemian biochemicznych było odzwierciedlenie w modelu jakości wód powierzchniowych Biebrzy Dolnej wpływu różnego rodzaju reakcji chemicznych oraz procesów biologicznych zachodzących w rzece na stężenia parametrów jakościowych, w czasie trwania poszczególnych symulacji komputerowych.

6.3.1 Ogólna zasada zachowania masy

Dla wszystkich parametrów jakości wód powierzchniowych Biebrzy Dolnej (oprócz glonów przydennych) modelowanych w programie QUAL2K zastosowano następujące równanie zachowania masy w dowolnym elemencie obliczeniowym „i” (Chapra et al. 2007):

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} \cdot c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} \cdot c_i - \frac{Q_{odpływ_i}}{V_i} \cdot c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} \cdot (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} \cdot (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (6.40)$$

gdzie:

c_i – stężenie danego parametru jakościowego wody [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],

t – czas [doba],

V_i – objętość elementu „i” [m^3],

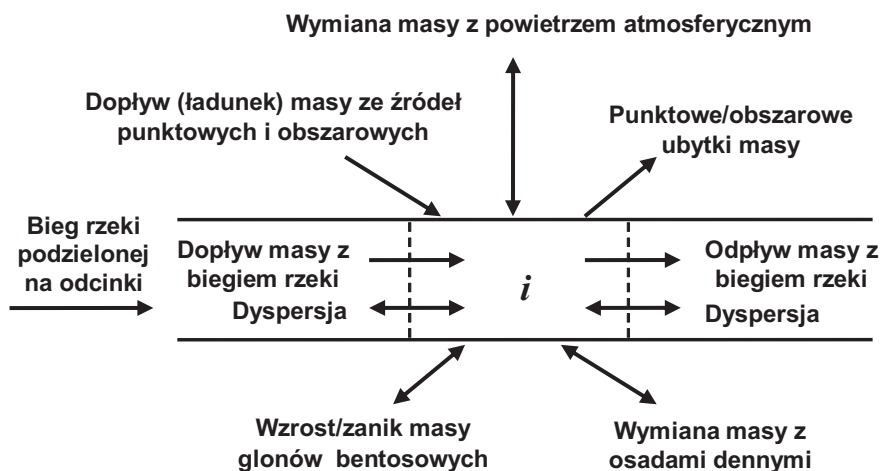
Q_i – przepływ wody wzdłuż biegu rzeki z elementu „i” do „i+1” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

$Q_{odpływ_i}$ – całkowity odpływ wody (punktowy + obszarowy) z elementu „i” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

E'_i – współczynnik dyspersji objętościowej pomiędzy elementem „i” a „i+1” [$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$],

S_i – wzrost lub spadek stężenia danego parametru jakościowego w elemencie „i” na skutek reakcji biochemicznych oraz mechanizmów wymiany masy [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$],

W_i – sumaryczny ładunek danego parametru jakościowego doprowadzany ze źródeł punktowych oraz obszarowych do elementu „i” [$\text{g} \cdot \text{doba}^{-1}$], wyznaczony z równania:



Rys. 6.24 Ilustracja zasady zachowania masy zaimplementowanej w modelu jakości wód powierzchniowych Biebrzy Dolnej (Chapra et al. 2007)

$$W_i = \sum_{j=1}^{dpi} Q_{dp,i,j} C_{dp,i,j} + \sum_{j=1}^{doi} Q_{do,i,j} C_{do,i,j} \quad (6.41)$$

gdzie:

$C_{dp,i,j}$ – stężenie danego parametru jakościowego w „j”-tym dopływie punktowym do elementu „i” [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ lub $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$],

$C_{do,i,j}$ – stężenie danego parametru jakościowego w „j”-tym dopływie obszarowym do elementu „i” [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ lub $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$].

6.3.2 Wpływ temperatury wody na przebieg reakcji biochemicznych

Wpływ temperatury wody na przebieg wszystkich reakcji biochemicznych zerowego oraz pierwszego rzędu został wyznaczony w modelu przemian biochemicznych na podstawie równania (Chapra et al. 2007):

$$k(T) = k(20) \cdot \theta^{T-20} \quad (6.42)$$

gdzie:

$k(T)$ – szybkość reakcji zachodzącej przy temperaturze T [doba^{-1}],

$k(20)$ – szybkość reakcji zachodzącej przy temperaturze 20°C [doba^{-1}],

θ – współczynnik temperaturowy dla danej reakcji.

6.3.3 Wpływ warunków hydraulicznych koryta na stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie

Napowietrzanie wody wynikające z jej ruchu w obrębie koryta rzecznoego zostało zdefiniowane w modelu przemian biochemicznych jako funkcja parametrów hydraulicznych koryta oraz dodatkowo prędkości wiatru wiejącego nad zwierciadłem wody, wg równania (Chapra et al. 2007):

$$k_a(20) = k_{ah}(20) + \frac{K_{Lw}(20)}{h} \quad (6.43)$$

gdzie:

$k_a(20)$ – tempo napowietrzania wody w temperaturze 20°C [doba^{-1}],

$K_{Lw}(20)$ – współczynnik wymiany masy pomiędzy wodą a powietrzem atmosferycznym [$\text{m} \cdot \text{doba}^{-1}$] wynikający z prędkości wiatru (v_w), wyznaczony z równania Banksa-Herrera:

$$K_{Lw} = 0,728 \cdot \sqrt{v_w} - 0,317 \cdot v_w + 0,0372 \cdot v_w^2 \quad (6.44)$$

$k_{ah}(20)$ – tempo napowietrzania wody w temperaturze 20°C wynikające z hydrauliki koryta rzecznoego [doba^{-1}], wyznaczone z równań:

a) Owensa-Gibbsa, gdy $h < 0,61$, wtedy $k_{ah}(20) = 5,32 \cdot \frac{v_{sr}^{0,67}}{h^{1,85}} \quad (6.45)$

b) O'Connora-Dobbinsa, gdy $h > 0,61$ oraz $h > 3,45 \cdot (v_{sr})^{2,5}$, wtedy $k_{ah}(20) = 3,93 \cdot \frac{v_{sr}^{0,5}}{h^{1,5}}$

(6.46)

c) Churchilla, w pozostałych przypadkach, wtedy $k_{ah}(20) = 5,026 \cdot \frac{v_{sr}}{h^{1,67}}$

(6.47)

6.3.4 Stechiometria materii organicznej

W modelu przemian biochemicznych zastosowano następujące proporcje pomiędzy poszczególnymi składnikami materii organicznej (fitoplankton, glony bentosowe i detrytus) (Chapra et al. 2007):

$$100 \text{ g D} : 40 \text{ g C} : 7200 \text{ mg N} : 1000 \text{ mg P} : 1000 \text{ mg A} \quad (6.48)$$

gdzie:

D – sucha masa, C – węgiel, N – azot, P – fosfor, A – chlorofil a.

Następnie wyznaczono współczynniki stechiometryczne równań reakcji, wg ogólnego wzoru:

$$r_{xy} = \frac{X}{Y} \quad (6.49)$$

gdzie:

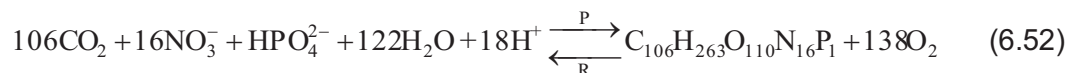
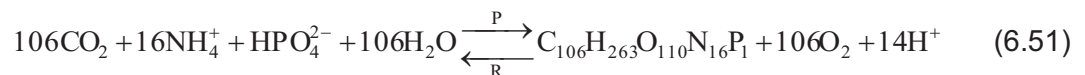
X – masa elementu X [g], Y – masa elementu Y [g].

Przykład. Współczynnik stechiometryczny umożliwiający obliczenie masy detrytusu uwalnianej do toni wodnej na skutek obumarcia jednostki fitoplanktonu:

$$r_{da} = \frac{100 \text{ g D}}{1000 \text{ mg A}} = 0,1 \frac{\text{g D}}{\text{mg A}} \quad (6.50)$$

6.3.5 Fotosynteza

W modelu przemian biochemicznych zastosowano następujące równania opisujące przebieg procesu fotosyntezy, w zależności od tego czy substratem reakcji był azot amonowy czy azot azotanowy(V) (Chapra et al. 2007):



Na podstawie równania (6.51) wyznaczono w modelu ilość tlenu zużywanego przez rośliny w procesie oddychania, natomiast w celu obliczenia ile gram tlenu powstało na skutek wytworzenia w procesie fotosyntezy jednego grama materii roślinnej wykorzystano

współczynniki ilościowe, których wartość uzależniona była od substratu reakcji – azotu amonowego (równanie 6.53) lub azotu azotanowego(V) (równanie 6.54), wg wzorów:

$$r_{oca} = \frac{106 [\text{moli O}_2] \cdot 32 \left[\frac{\text{g O}_2}{\text{mol O}_2} \right]}{106 [\text{moli C}] \cdot 12 \left[\frac{\text{g C}}{\text{mol C}} \right]} = 2,67 \left[\frac{\text{g O}_2}{\text{g C}} \right] \quad (6.53)$$

$$r_{ocn} = \frac{138 [\text{moli O}_2] \cdot 32 \left[\frac{\text{g O}_2}{\text{mol O}_2} \right]}{106 [\text{moli C}] \cdot 12 \left[\frac{\text{g C}}{\text{mol C}} \right]} = 3,47 \left[\frac{\text{g O}_2}{\text{g C}} \right] \quad (6.54)$$

6.3.6 Fitoplankton

Biomasa fitoplanktonu rośnie wraz z przebiegiem procesu fotosyntezy, natomiast maleje na skutek procesu oddychania, obumierania komórek oraz opadania na dno cieku, wg równania (Chapra et al. 2007):

$$S_{ap} = a_p \cdot \mu_p - F_{\text{oxp}} \cdot k_{\text{tp}}(T) \cdot a_p - k_{\text{dp}}(T) \cdot a_p - \frac{v_a}{h} \cdot a_p \quad (6.55)$$

gdzie:

S_{ap} – wzrost lub zanik biomasy fitoplanktonu określany pośrednio poprzez zmianę stężenia w wodzie chlorofilu a [$\mu\text{g A} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$],

a_p – stężenie chlorofilu a w wodzie [$\mu\text{g A} \cdot \text{dm}^{-3}$],

μ_p – tempo przebiegu procesu fotosyntezy fitoplanktonu [doba^{-1}], uzależnione od temperatury wody, dostępności składników pokarmowych oraz natężenia promieniowania słonecznego, wyznaczone z równania:

$$\mu_p = k_{\text{gp}}(T) \cdot \phi_{Np} \cdot \phi_{Lp} \quad (6.56)$$

gdzie:

$k_{\text{gp}}(T)$ – maksymalne tempo przebiegu procesu fotosyntezy w temperaturze T [doba^{-1}],

Φ_{Np} – współczynnik ekstynkcji (zaniku) przyswajania składników pokarmowych przez fitoplankton, o wartości od 0 (całkowity brak przyswajania) do 1 (swobodne przyswajanie), wyznaczony w oparciu o funkcję Michaelisa-Mentena opisującą wzrost fitoplanktonu wynikający z dostępności składników pokarmowych:

$$\phi_{Np} = \min \left(\frac{N_A + N_N}{k_{sNp} + N_A + N_N}, \frac{P_M}{k_{sPp} + P_M}, \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]}{k_{sCp} + [\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]} \right) \quad (6.57)$$

gdzie:

N_A – stężenie azotu amonowego w wodzie [$\mu\text{g N} \cdot \text{dm}^{-3}$],

N_N – suma stężenia azotu azotanowego(V) oraz azotanowego(III) w wodzie [$\mu\text{g N}\cdot\text{dm}^{-3}$],

P_M – stężenie fosforu mineralnego w wodzie [$\mu\text{g P}\cdot\text{dm}^{-3}$],

k_{sNp} – stała połowicznego nasycenia azotem pozakomórkowym [$\mu\text{g N}\cdot\text{dm}^{-3}$],

k_{sPp} – stała połowicznego nasycenia fosforem pozakomórkowym [$\mu\text{g P}\cdot\text{dm}^{-3}$],

k_{sCp} – stała połowicznego nasycenia węglem mineralnym pozakomórkowym [$\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$],

$[\text{H}_2\text{CO}_3^*]$ – stężenie rozpuszczonego w wodzie ditlenku węgla oraz kwasu węglowego [$\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$],

$[\text{HCO}_3^-]$ – stężenie wodorowęglanów w wodzie [$\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$],

Φ_{Lp} – współczynnik ekstynkcji promieniowania słonecznego, o wartości od 0 (całkowity brak promieniowania) do 1 (100% dostępnego promieniowania), wyznaczony z funkcji Smitha:

$$\phi_{Lp} = \frac{1}{k_e h} \cdot \ln \left(\frac{\frac{I(0)}{K_{Lp}} + \sqrt{1 + \left(\frac{I(0)}{K_{Lp}}\right)^2}}{\left(\frac{I(0)}{K_{Lp}}\right) e^{-k_e h} + \sqrt{1 + \left(\left(\frac{I(0)}{K_{Lp}}\right) e^{-k_e h}\right)^2}} \right) \quad (6.58)$$

gdzie:

k_e – współczynnik ekstynkcji promieniowania słonecznego w wodzie [m^{-1}], wyznaczony z równania:

$$k_e = k_{eb} + \alpha_i \cdot m_i + \alpha_o \cdot m_o + \alpha_p \cdot a_p + \alpha_{pn} \cdot a_p^{2/3} \quad (6.59)$$

gdzie:

k_{eb} – współczynnik tła określający ekstynkcję promieniowania słonecznego w wodzie w zależności od jej koloru [m^{-1}],

$\alpha_i = 0,052$ – współczynnik wpływu zawiesiny mineralnej na ekstynkcję promieniowania słonecznego [$\text{dm}^3\cdot\text{mg D}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$],

$\alpha_o = 0,174$ – współczynnik wpływu drobnej materii organicznej na ekstynkcję promieniowania słonecznego [$\text{dm}^3\cdot\text{mg D}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$],

$\alpha_p = 0,0088$ – współczynnik liniowego wpływu chlorofilu na ekstynkcję promieniowania słonecznego [$\text{dm}^3\cdot\mu\text{g A}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$],

$\alpha_{pn} = 0,054$ – współczynnik nieliniowego wpływu chlorofilu na ekstynkcję promieniowania słonecznego [$\text{dm}^2\cdot\mu\text{g A}^{-2/3}\cdot\text{m}^{-1}$],

m_i – stężenie zawiesiny mineralnej w wodzie [$\text{mg D}\cdot\text{dm}^{-3}$],

m_o – stężenie detrytus w wodzie [$\text{mg D}\cdot\text{dm}^{-3}$].

Ekstynkcja promieniowania słonecznego przenikającego przez wodę została obliczona w oparciu o prawo Beera-Lamberta:

$$PAR(z) = PAR(0) \cdot e^{-k_e z} \quad (6.60)$$

gdzie:

$PAR(z)$ – wartość promieniowania słonecznego dostępnego w procesie fotosyntezy (z ang. *Photosynthetically Available Radiation*), zmierzona na głębokości z [$\text{langley} \cdot \text{doba}^{-1}$],

$PAR(0)$ – wartość promieniowania słonecznego dostępnego w procesie fotosyntezy zmierzona przy powierzchni zwierciadła wody [$\text{langley} \cdot \text{doba}^{-1}$], wg równania:

$$PAR(0) = 0,47 \cdot I(0) \quad (6.61)$$

gdzie:

$I(0)$ – słoneczne promieniowanie krótkofalowe mierzone przy pow. wody [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$],

K_{Lp} – parametr Smitha [$\text{langley} \cdot \text{doba}^{-1}$], czyli wartość promieniowania słonecznego dostępnego w procesie fotosyntezy, przy której wzrost fitoplanktonu osiąga 70,7% swojego maksimum.

$$F_{Lp} = \frac{I(z)}{\sqrt{K_{Lp}^2 + I(z)^2}} \quad (6.62)$$

gdzie:

F_{Lp} – współczynnik ekstynkcji wzrostu fitoplanktonu na skutek ograniczenia dostępu promieniowania słonecznego,

$I(z)$ – słoneczne promieniowanie krótkofalowe mierzone na głębokości z [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$].

F_{exp} – współczynnik ekstynkcji procesu oddychania przez fitoplankton z powodu niskiego stężenia tlenu,

$k_{rp}(T)$ – tempo oddychania oraz wydalania produktów metabolizmu przez fitoplankton, uzależniona od temperatury wody [doba^{-1}],

$k_{dp}(T)$ – tempo obumierania fitoplanktonu, uzależnione od temperatury wody [doba^{-1}],

v_a – prędkość opadania na dno fitoplanktonu [$\text{m} \cdot \text{doba}^{-1}$],

h – napełnienie koryta [m].

6.3.7 Glony bentosowe

Glony bentosowe to glony zamieszkujące strefę przydenną wód powierzchniowych. Ich rola w ekosystemach wodnych sprowadza się do produkcji materii organicznej, dostarczania tlenu na drodze fotosyntezy oraz wydzielania substancji pokarmowych i enzymów. Po obumarciu oraz mineralizacji stają się źródłem substancji pokarmowych, które gromadzą się na dnie cieku.

W modelu przemian biochemicznych zachodzących w Biebrzy Dolnej zmiana wielkości biomasy glonów bentosowych na poszczególnych odcinkach rzeki została wyznaczona na podstawie równań (Chapra et al. 2007):

$$\frac{da_{b,i}}{dt} = S_{b,i} \quad (6.63)$$

gdzie:

$S_{b,i}$ – przyrost lub ubytek biomasy glonów bentosowych wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\text{mg A} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$],

a_b – masa glonów bentosowych występująca na danej powierzchni dna [$\text{mg A} \cdot \text{m}^{-2}$].

$$\frac{dIN_b}{dt} = S_{bN,i} \quad (6.64)$$

gdzie:

$S_{bN,i}$ – przyrost lub ubytek masy azotu wbudowanego w komórki glonów bentosowych wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\text{mg N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$],

IN_b – stężenie azotu wewnątrzkomórkowego [$\text{mg N} \cdot \text{m}^{-2}$].

$$\frac{dIP_b}{dt} = S_{bP,i} \quad (6.65)$$

gdzie:

$S_{bP,i}$ – przyrost lub ubytek masy fosforu wbudowanego w komórki glonów bentosowych wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\text{mg P} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$],

IP_b – stężenie fosforu wewnątrzkomórkowego [$\text{mg P} \cdot \text{m}^{-2}$].

Biomasa glonów bentosowych rośnie wraz z przebiegiem procesu fotosyntezy, natomiast maleje na skutek ich oddychania oraz obumierania, wg równania:

$$S_b = C_{gb}(T) \cdot \phi_{Nb} \cdot \phi_{Lb} \cdot \phi_{Sb} \cdot a_b - F_{oxb} \cdot k_{rb}(T) \cdot a_b - k_{db}(T) \cdot a_b \quad (6.66)$$

gdzie:

S_b – wzrost lub spadek biomasy glonów bentosowych określany poprzez zmianę stężenia w wodzie chlorofilu a [$\text{mg A} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$],

$C_{gb}(T)$ – maksymalne tempo przebiegu procesu fotosyntezy u glonów bentosowych, uzależnione od temperatury wody [doba^{-1}],

Φ_{Nb} – współczynnik ekstynkcji przyswajania składników pokarmowych przez glony bentosowe, o wartości od 0 (całkowity brak przyswajania) do 1 (swobodne przyswajanie),

Φ_{Lb} – współczynnik ekstynkcji promieniowania słonecznego docierającego do glonów bentosowych, o wartości od 0 (całkowity brak promieniowania) do 1 (100% dostępnego promieniowania),

F_{oxb} – współczynnik ekstynkcji procesu oddychania glonów bentosowych na skutek niskiego stężenia tlenu,

$k_{rb}(T)$ – tempo oddychania glonów bentosowych, uzależnione od temp. wody [doba^{-1}],

$k_{db}(T)$ – tempo obumierania glonów bentosowych, uzależnione od temp. wody [doba^{-1}].

W przypadku glonów bentosowych wpływ dostępności składników pokarmowych na przebieg procesu fotosyntezy był modelowany nieco inaczej niż dla fitoplanktonu, tzn. zamiast zależęć bezpośrednio od stężeń składników pokarmowych rozpuszczonych w wodzie rzecznej (tzw. biogeny pozakomórkowe) tempo przebiegu fotosyntezy zostało oparte o zawartość biogenów wewnątrz komórek glonów, zgodnie z funkcją Droopa:

$$\phi_{Nb} = \min \left[1 - \frac{q_{0,N}}{q_N}, 1 - \frac{q_{0,P}}{q_P}, \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]}{k_{sCb} + [\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]} \right] \quad (6.67)$$

gdzie:

$q_{0,N}$ – minimalna zawartość azotu w komórkach glonów bentosowych [$\text{mg N} \cdot \text{mg A}^{-1}$],

q_N – zawartość azotu w komórkach glonów bentosowych [$\text{mg N} \cdot \text{mg A}^{-1}$], wg wzoru:

$$q_N = \frac{IN_b}{a_b} \quad (6.68)$$

$q_{0,P}$ – minimalna zawartość fosforu w komórkach glonów bentosowych [$\text{mg P} \cdot \text{mg A}^{-1}$],

q_P – zawartość fosforu w komórkach glonów bentosowych [$\text{mg P} \cdot \text{mg A}^{-1}$], wg wzoru:

$$q_P = \frac{IP_b}{a_b} \quad (6.69)$$

k_{sCb} – stała połowicznego nasycenia węglem pochodzenia mineralnego w komórkach glonów bentosowych [$\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$].

Inaczej niż w przypadku fitoplanktonu ograniczenie dostępności promieniowania słonecznego dla glonów bentosowych zostało zdefiniowane poprzez wyznaczenie tej części promieniowania słonecznego, które było dostępne w procesie fotosyntezy, tzn. które docierało do dna rzeki. Wartość PAR została obliczona w oparciu o prawo Beera-Lamberta na podstawie równania:

$$I(h) = I(0) \cdot e^{-k_e h} \quad (6.70)$$

gdzie:

$I(h)$ – słoneczne promieniowanie krótkofalowe mierzone przy dnie [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$].

$$\phi_{Lb} = \frac{I(0) \cdot e^{-k_e h}}{\sqrt{K_{Lb}^2 + (I(0) \cdot e^{-k_e h})^2}} \quad (6.71)$$

gdzie:

Φ_{Lb} – współczynnik ekstynkcji promieniowania słonecznego docierającego do dna rzeki, o wartości od 0 (całkowity brak promieniowania) do 1 (dociera 100% promieniowania),

K_{Lb} – parametr Smitha [$\text{langley} \cdot \text{doba}^{-1}$], czyli wartość promieniowania słonecznego dostępnego w procesie fotosyntezy, przy której wzrost glonów bentosowych osiąga 70,7% swojego maksimum.

6.3.8 Detrytus

Stężenie detrytus w wodzie, czyli zawartość drobnej, martwej materii organicznej występującej w postaci zawiesiny, rośnie wraz z obumieraniem roślinności wodnej (głównie fitoplanktonu oraz glonów bentosowych), natomiast maleje wraz z rozpuszczaniem w wodzie oraz opadaniem na dno, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$S_{detr} = r_{da} \cdot k_{dp}(T) \cdot a_p + r_{db} \cdot k_{db}(T) \cdot a_b - k_{dt}(T) \cdot m_o - \frac{v_{dt}}{h} \cdot m_o \quad (6.72)$$

gdzie:

S_{detr} – wzrost lub spadek stężenia detrytus w wodzie wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\text{mg D} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$],

$r_{da} = 0,1 \left[\frac{\text{g D}}{\text{mg A}} \right]$ – współczynnik stechiometryczny określający masę detrytus uwolnioną do wody na skutek obumarcia jednostki fitoplanktonu,

$k_{dt}(T)$ – tempo rozpuszczania detrytus, uzależnione od temperatury wody [doba^{-1}],

m_o – stężenie detrytus w wodzie [$\text{mg D} \cdot \text{dm}^{-3}$],

v_{dt} – prędkość opadania na dno detrytus [$\text{m} \cdot \text{doba}^{-1}$].

6.3.9 Przemiany biochemiczne azotu

Podstawowe procesy, jakim podlega azot występujący w wodzie to nityfikacja oraz denityfikacja, opisane w modelu biochemicznym następującymi równaniami (Chapra et al. 2007):



6.3.9.1 Azot organiczny

Stężenie azotu organicznego w wodzie wzrasta wraz z obumieraniem fitoplanktonu oraz glonów bentosowych, natomiast maleje na skutek hydrolizy oraz opadania na dno, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$S_{No} = r_{na} \cdot k_{dp}(T) \cdot a_p + q_{0,N} \cdot k_{db}(T) \cdot a_b - k_{hn}(T) \cdot N_o - \frac{v_{No}}{h} \cdot N_o \quad (6.75)$$

gdzie:

S_{No} – wzrost lub spadek stężenia azotu organicznego w wodzie wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\mu\text{g N} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$],

$r_{na} = 7,2 \left[\frac{\mu\text{g N}}{\mu\text{g A}} \right]$ – współczynnik stechiometryczny określający masę azotu wbudowanego w komórki fitoplanktonu w oparciu o stężenie chlorofilu a,

$k_{hn}(T)$ – tempo przebiegu hydrolizy azotu organicznego, uzależnione od temperatury wody [doba⁻¹],

N_O – stężenie azotu organicznego w wodzie [$\mu\text{g N}\cdot\text{dm}^{-3}$],

v_{No} – prędkość opadania na dno cząstek azotu organicznego [$\text{m}\cdot\text{doba}^{-1}$].

6.3.9.2 Azot amonowy

Stężenie azotu amonowego w wodzie wzrasta na skutek hydrolizy azotu organicznego, oddychania i wydalania produktów metabolizmu przez fitoplankton oraz oddychania i wydalania produktów metabolizmu przez glony bentosowe, natomiast maleje na skutek nityfikacji, fotosyntezy fitoplanktonu oraz fotosyntezy glonów bentosowych, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$\begin{aligned}
 S_{Na} = & k_{hn}(T) \cdot N_O + r_{na} \cdot F_{oxp} \cdot k_{ip}(T) \cdot a_p + q_N \cdot k_{eb}(T) \cdot a_b - F_{oxna} \cdot k_n(T) \cdot N_A - \\
 & - a_p \cdot r_{na} \cdot \mu_p \cdot \left(\frac{N_A \cdot N_N}{(k_{hnxp} + N_A) \cdot (k_{hnxp} + N_N)} + \frac{N_A \cdot k_{hnxp}}{(N_A + N_N) \cdot (k_{hnxp} + N_N)} \right) - \\
 & - a_b \cdot \rho_{mN} \cdot \left(\frac{N_A + N_N}{k_{snb} + N_A + N_N} \right) \cdot \left(\frac{K_{qN}}{K_{qN} + q_N - q_{0,N}} \right) \cdot \\
 & \cdot \left(\frac{N_A \cdot N_N}{(k_{hnxb} + N_A) \cdot (k_{hnxb} + N_N)} + \frac{N_A \cdot k_{hnxb}}{(N_A + N_N) \cdot (k_{hnxb} + N_N)} \right)
 \end{aligned} \tag{6.76}$$

gdzie:

S_{Na} – wzrost lub spadek stężenia azotu amonowego wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\mu\text{g N}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{doba}^{-1}$],

$k_{eb}(T)$ – tempo wydalania produktów metabolizmu przez glony bentosowe, uzależnione od temperatury wody [doba⁻¹],

F_{oxna} – współczynnik ekstynkcji procesu nityfikacji na skutek niskiego stężenia tlenu,

$k_n(T)$ – tempo przebiegu nityfikacji azotu amonowego, uzależnione od temperatury wody [doba⁻¹],

k_{hnexp} , k_{hnspb} – współczynniki definiujące pierwszeństwo poboru przez fitoplankton oraz glony bentosowe azotu amonowego jako źródła azotu w procesie fotosyntezy [$\mu\text{g N}\cdot\text{dm}^{-3}$].

6.3.9.3 Amoniak

Nie zdysocjowany amoniak (NH_3), stanowiący obok jonu NH_4^+ drugą formę azotu amonowego występującego w wodzie, pojawia się powyżej odczynu $\text{pH}=8$. Stężenie amoniaku zostało wyznaczone w oparciu o wcześniejsze obliczenia stężenia azotu amonowego (N_A), wg równania (Chapra et al. 2007):

$$N_{Au} = F_u \cdot N_A \tag{6.77}$$

gdzie:

N_{Au} – stężenie amoniaku w wodzie [$\mu\text{g N}\cdot\text{dm}^{-3}$],

F_u – udział amoniaku w całkowitej ilości azotu amonowego występującego w wodzie, wyznaczony z równania:

$$F_u = \frac{K_a}{10^{-\text{pH}} + K_a} \quad (6.78)$$

gdzie:

K_a – współczynnik równowagi reakcji dysocjacji azotu amonowego, uzależniony od temperatury T wody, wyznaczony z równania:

$$K_a = 10^{-\left(0,09018 + \frac{2729,92}{T_a}\right)} \quad (6.79)$$

gdzie:

$$T_a = T + 273,15 \text{ [K]}.$$

6.3.9.4 Azot azotanowy(V)

Stężenie azotu azotanowego(V) wzrasta wraz z przebiegiem procesu nityfikacji, natomiast maleje wraz z przebiegiem procesu denityfikacji, fotosyntezy fitoplanktonu oraz fotosyntezy glonów bentosowych, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$\begin{aligned} S_{Ni} = & F_{\text{oxna}} \cdot k_n(T) \cdot N_A - (1 - F_{\text{oxdn}}) \cdot k_{dn}(T) \cdot N_N - \\ & - r_{na} \cdot \mu_p \cdot a_p \cdot \left(1 - \frac{N_A \cdot N_N}{(k_{hnxp} + N_A) \cdot (k_{hnxp} + N_N)} + \frac{N_A \cdot k_{hnxp}}{(N_A + N_N) \cdot (k_{hnxp} + N_N)} \right) - \\ & - a_b \cdot \rho_{Nm} \cdot \left(1 - \frac{N_A \cdot N_N}{(k_{hnxb} + N_A) \cdot (k_{hnxb} + N_N)} + \frac{N_A \cdot k_{hnxb}}{(N_A + N_N) \cdot (k_{hnxb} + N_N)} \right) \cdot \\ & \cdot \left(\frac{N_A + N_N}{k_{sNb} + N_A + N_N} \right) \cdot \left(\frac{K_{qN}}{K_{qN} + q_N - q_{0,N}} \right) \end{aligned} \quad (6.80)$$

gdzie:

S_{Ni} – wzrost lub spadek stężenia azotu azotanowego(V) wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\mu\text{g N}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{doba}^{-1}$],

F_{oxdn} – współczynnik określający wpływ niskiego stężenia tlenu na przebieg procesu denityfikacji azotu azotanowego(V),

$k_{dn}(T)$ – tempo przebiegu denityfikacji azotu azotanowego(V), uzależnione od temperatury wody [doba^{-1}],

ρ_{Nm} – maksymalne tempo poboru azotu przez glony bentosowe [$\text{mg N}\cdot\text{mg A}^{-1}\cdot\text{doba}^{-1}$],

K_{qN} – stała połowicznego nasycenia azotem wewnątrzkomórkowym u glonów bentosowych [$\text{mg N}\cdot\text{mg A}^{-1}$],

k_{sNb} – stała połowicznego nasycenia azotem pozakomórkowym u glonów bentosowych [$\mu\text{g N}\cdot\text{dm}^{-3}$].

6.3.9.5 Azot wewnątrzkomórkowy glonów bentosowych

Stężenie azotu wewnątrzkomórkowego glonów bentosowych wzrasta wraz z poborem z wody azotu pozakomórkowego, natomiast maleje wraz z obumieraniem glonów oraz wydalaniem przez nie azotu na skutek metabolizmu, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$S_{bN} = \rho_{Nm} \cdot a_b \cdot \left(\frac{N_A + N_N}{k_{sNb} + N_A + N_N} \right) \cdot \left(\frac{K_{qN}}{K_{qN} + q_N - q_{0,N}} \right) - q_N \cdot k_{db}(T) \cdot a_b - q_N \cdot k_{eb}(T) \cdot a_b \quad (6.81)$$

gdzie:

S_{bN} – wzrost lub spadek stężenia azotu wewnątrzkomórkowego wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\text{mg N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$].

6.3.9.6 Azot Kjeldahla

Stężenie azotu Kjeldahla w wodzie zostało wyznaczone w oparciu o następujące równanie:

$$TKN = N_O + N_A \quad (6.82)$$

gdzie:

TKN – stężenie azotu Kjeldahla w wodzie [$\mu\text{g N} \cdot \text{dm}^{-3}$].

6.3.9.7 Azot ogólny

Stężenie azotu ogólnego (całkowitego) zostało wyznaczone w oparciu o następujące równanie:

$$TN = N_O + N_A + N_N \quad (6.83)$$

gdzie:

TN – stężenie azotu ogólnego w wodzie [$\mu\text{g N} \cdot \text{dm}^{-3}$].

6.3.10 Przemiany biochemiczne fosforu

6.3.10.1 Fosfor organiczny

Stężenie fosforu organicznego w wodzie wzrasta na skutek obumierania roślin, natomiast maleje wraz z przebiegiem procesu hydrolizy oraz opadania na dno, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$S_{Po} = r_{pa} \cdot k_{dp}(T) \cdot a_p + q_{0,p} \cdot k_{db}(T) \cdot a_b - k_{hp}(T) \cdot P_O - \frac{v_{Po}}{h} \cdot P_O \quad (6.84)$$

gdzie:

S_{P_0} – wzrost lub spadek stężenia fosforu organicznego wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\mu\text{g P}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{doba}^{-1}$],

$r_{pa} = 1 \left[\frac{\mu\text{g P}}{\mu\text{g A}} \right]$ – współczynnik stechiometryczny określający masę fosforu wbudowanego w komórki fitoplanktonu w oparciu o stężenie chlorofilu a,

$k_{hp}(T)$ – tempo przebiegu hydrolizy fosforu organicznego, uzależnione od temperatury wody [doba^{-1}],

P_0 – stężenie fosforu organicznego w wodzie [$\mu\text{g P}\cdot\text{dm}^{-3}$],

v_{P_0} – prędkość opadania na dno cząstek fosforu organicznego [$\text{m}\cdot\text{doba}^{-1}$].

6.3.10.2 Fosfor mineralny

Stężenie fosforu mineralnego w wodzie wzrasta na skutek hydrolizy fosforu organicznego, oddychania i wydalania produktów metabolizmu przez fitoplankton oraz oddychania i wydalania produktów metabolizmu przez glony bentosowe, natomiast maleje na skutek fotosyntezy fitoplanktonu, fotosyntezy glonów bentosowych oraz w wyniku sorpcji na cząstkach materii organicznej opadającej na dno cieku, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$S_{P_m} = k_{hp}(T) \cdot P_0 + r_{pa} \cdot F_{\text{exp}} \cdot k_{hp}(T) \cdot a_p + q_P \cdot k_{eb}(T) \cdot a_b - r_{pa} \cdot \mu_p \cdot a_p - \rho_{P_m} \cdot a_b \cdot \left(\frac{P_M}{k_{sP_b} + P_M} \right) \cdot \left(\frac{K_{qP}}{K_{qP} + q_P - q_{0,P}} \right) - \frac{v_{P_m}}{h} \cdot P_M \quad (6.85)$$

gdzie:

S_{P_m} – wzrost lub spadek stężenia fosforu mineralnego wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\mu\text{g P}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{doba}^{-1}$],

ρ_{P_m} – maksymalne tempo poboru fosforu przez glony bentosowe [$\text{mg P}\cdot\text{mg A}^{-1}\cdot\text{doba}^{-1}$],

K_{qP} – stała połowicznego nasycenia fosforem wewnątrzkomórkowym u glonów bentosowych [$\text{mg P}\cdot\text{mg A}^{-1}$],

k_{sP_b} – stała połowicznego nasycenia fosforem pozakomórkowym u glonów bentosowych [$\mu\text{g P}\cdot\text{dm}^{-3}$],

v_{P_m} – prędkość opadania na dno cząstek fosforu mineralnego [$\text{m}\cdot\text{doba}^{-1}$].

6.3.10.3 Fosfor wewnątrzkomórkowy glonów bentosowych

Stężenie fosforu wewnątrzkomórkowego glonów bentosowych wzrasta wraz z poborem z wody fosforu pozakomórkowego, natomiast maleje wraz z obumieraniem glonów oraz wydalaniem przez nie fosforu na skutek metabolizmu, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$S_{bP} = \rho_{P_m} \cdot a_b \cdot \left(\frac{P_M}{k_{sP_b} + P_M} \right) \cdot \left(\frac{K_{qP}}{K_{qP} + q_P - q_{0,P}} \right) - q_P \cdot k_{db}(T) \cdot a_b - q_P \cdot k_{eb}(T) \cdot a_b \quad (6.86)$$

gdzie:

S_{bP} – wzrost lub spadek stężenia fosforu wewnątrzkomórkowego wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\text{mg P} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$].

6.3.10.4 Fosfor ogólny

Stężenie fosforu ogólnego (całkowitego) zostało wyznaczone w oparciu o następujące równanie:

$$TP = P_O + P_M \quad (6.87)$$

gdzie:

TP – stężenie fosforu ogólnego w wodzie [$\mu\text{g P} \cdot \text{dm}^{-3}$].

6.3.11 Nasycenie wody ditlenkiem węgla

Nasycenie wody rozpuszczonym w niej ditlenkiem węgla zostało wyznaczone w oparciu o prawo Henry'ego (Chapra et al. 2007):

$$[\text{CO}_2]_s = K_H \cdot p_{\text{CO}_2} \quad (6.88)$$

gdzie:

p_{CO_2} – stężenie ditlenku węgla w atmosferze [ppm],

K_H – stała Henry'ego [$\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{atm}^{-1}$], będąca funkcją temperatury wody:

$$\log K_H = \frac{2385,73}{T_a} + 0,0152642 \cdot T_a - 14,0184 \quad (6.89)$$

6.3.12 Zasadowość

W modelu przemian biochemicznych założono, że na zasadowość wód powierzchniowych Biebrzy Dolnej wpływają następujące procesy (Chapra et al. 2007):

a) nitryfikacja, w wyniku której wzrastało stężenia azotu azotanowego(V) kosztem azotu amonowego, co prowadziło do spadku wartości zasadowości wody, zgodnie z równaniem:

$$S_{a,nitr} = -0,00714 \cdot F_{oxna} \cdot k_n(T) \cdot N_A \quad (6.90)$$

gdzie:

$S_{a,nitr}$ – zmiana wartości zasadowości na skutek przebiegu procesu nitryfikacji [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$], na podstawie równania (6.73).

b) denitryfikacja, w wyniku której spadało stężenie azotu azotanowego(V), w miejsce którego pojawiał się wolny azot (gaz), co prowadziło do wzrostu wartości zasadowości wody, zgodnie z równaniem:

$$S_{a,denitr} = 0,00357 \cdot (1 - F_{oxdn}) \cdot k_{dn}(T) \cdot N_N \quad (6.91)$$

gdzie:

$S_{a,denitr}$ – zmiana wartości zasadowości na skutek przebiegu procesu denitryfikacji [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$], na podstawie równania (6.74).

- c) hydroliza azotu organicznego, w wyniku której spadało stężenie azotu organicznego, w miejsce którego pojawiał się azot amonowy, co prowadziło do wzrostu wartości zasadowości wody, zgodnie z równaniem:

$$S_{a,ONh} = 0,00357 \cdot F_i \cdot k_{hn}(T) \cdot N_O \quad (6.92)$$

gdzie:

$S_{a,ONh}$ – zmiana wartości zasadowości na skutek przebiegu procesu hydrolizy azotu organicznego [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$].

- d) hydroliza fosforu organicznego, w wyniku której spadało stężenie fosforu organicznego, w miejsce którego pojawiały się fosforany mineralne, co prowadziło do spadku wartości zasadowości wody, zgodnie z równaniem:

$$S_{a,OPh} = -0,00161 \cdot (\alpha_{H_2PO_4} + 2\alpha_{HPO_4} + 3\alpha_{PO_4}) \cdot k_{hp}(T) \cdot P_O \quad (6.93)$$

gdzie:

$S_{a,OPh}$ – zmiana wartości zasadowości na skutek przebiegu procesu hydrolizy fosforu organicznego [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$].

$$\alpha_{H_2PO_4} = \frac{K_{p1} \cdot [H^+]^2}{[H^+]^3 + K_{p1} \cdot [H^+]^2 + K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot [H^+] + K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot K_{p3}} \quad (6.94)$$

$$\alpha_{HPO_4} = \frac{K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot [H^+]}{[H^+]^3 + K_{p1} \cdot [H^+]^2 + K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot [H^+] + K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot K_{p3}} \quad (6.95)$$

$$\alpha_{PO_4} = \frac{K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot K_{p3}}{[H^+]^3 + K_{p1} \cdot [H^+]^2 + K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot [H^+] + K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot K_{p3}} \quad (6.96)$$

gdzie:

$$K_{p1} = 10^{-2,15}, K_{p2} = 10^{-7,2}, K_{p3} = 10^{-12,35}$$

- e) fotosynteza fitoplanktonu, w której substratami reakcji były fosforany mineralne wraz z azotem amonowym lub fosforany mineralne wraz z azotem azotanowym(V). W pierwszym przypadku występował spadek wartości zasadowości, natomiast w drugim jej wzrost, zgodnie z równaniem:

$$S_{a,Fito,F} = 0,59642 \cdot \mu_p \cdot a_p \cdot (-r_{na} \cdot P_{ap} \cdot F_i + r_{na} \cdot (1 - P_{ap}) + r_{pa} \cdot (\alpha_{H_2PO_4} + 2\alpha_{HPO_4} + 3\alpha_{PO_4})) \quad (6.97)$$

gdzie:

$S_{a,Fito,F}$ – zmiana wartości zasadowości na skutek przebiegu procesu fotosyntezy fitoplanktonu [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$].

- f) oddychanie fitoplanktonu, w wyniku którego do środowiska wodnego uwalniany był azot amonowy oraz fosforany mineralne, co prowadziło do wzrostu wartości zasadowości wody, zgodnie z równaniem:

$$S_{a,Fito,Od} = 0,59642 \cdot F_{\text{exp}} \cdot k_{\text{ip}}(T) \cdot a_p \cdot (r_{na} \cdot P_{ap} \cdot F_i - r_{pa} \cdot (\alpha_{H_2PO_4} + 2\alpha_{HPO_4} + 3\alpha_{PO_4})) \quad (6.98)$$

gdzie:

$S_{a,Fito,Od}$ – zmiana wartości zasadowości na skutek przebiegu procesu oddychania fitoplanktonu [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$].

- g) pobór składników pokarmowych przez glony bentosowe, w zależności od form przyswajanych biogenów zjawisko to prowadziło albo do wzrostu wartości zasadowości (gdy substratami były azot azotanowy(V) oraz fosforany mineralne) albo do jej spadku (azot amonowy oraz fosforany mineralne jako substraty reakcji), zgodnie z równaniem:

$$S_{a,PBG} = 0,00518 \cdot \left(\frac{\rho_{Nm} \cdot a_b}{h} (1 - P_{ab} \cdot F_i - P_{ab}) \cdot \left(\frac{N_A + N_N}{k_{sNb} + N_A + N_N} \right) \cdot \left(\frac{K_{qN}}{K_{qN} + q_N - q_{0,N}} \right) \right) \quad (6.99)$$

$$+ \frac{\rho_{Pm} \cdot a_b}{h} \cdot (\alpha_{H_2PO_4} + 2\alpha_{HPO_4} + 3\alpha_{PO_4}) \cdot \left(\frac{P_M}{k_{sPb} + P_M} \right) \cdot \left(\frac{K_{qP}}{K_{qP} + q_P - q_{0,P}} \right)$$

gdzie:

$S_{a,PBG}$ – zmiana wartości zasadowości na skutek poboru biogenów przez glony bentosowe [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$].

- h) wydalanie produktów metabolizmu przez glony bentosowe, w wyniku którego do środowiska wodnego uwalniane były fosforany mineralne oraz azot amonowy, zgodnie z równaniem:

$$S_{a,WBG} = 0,00518 \cdot \left(F_i \cdot \frac{q_N \cdot k_{eb}(T) \cdot a_b}{h} - (\alpha_{H_2PO_4} + 2\alpha_{HPO_4} + 3\alpha_{PO_4}) \cdot \frac{q_P \cdot k_{eb}(T) \cdot a_b}{h} \right) \quad (6.100)$$

gdzie:

$S_{a,WBG}$ – zmiana wartości zasadowości na skutek wydalania biogenów (jako produktów metabolizmu) przez glony bentosowe [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$].

6.3.13 Odczyn

Odczyn wód powierzchniowych w modelu przemian biochemicznych wyznaczono w oparciu o układ równań (równowagi reakcji, zachowania masy) obejmujących tzw. układ węglanowy w wodzie (Chapra et al. 2007):

$$K_1 = \frac{[\text{HCO}_3^-] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]} \quad (6.101)$$

$$K_2 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad (6.102)$$

$$K_w = [H^+] \cdot [OH^-] \quad (6.103)$$

$$C_T = [H_2CO_3^*] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] \quad (6.104)$$

$$\text{Zasadowość} = [HCO_3^-] + 2 \cdot [CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+] \quad (6.105)$$

gdzie:

K_1, K_2, K_w – stałe równowagi kwasowości,

$[CO_3^{2-}]$ – stężenie w wodzie reszty kwasowej kwasu węglowego $[mol \cdot dm^{-3}]$,

$[OH^-]$ – stężenie jonów wodorotlenowych w wodzie $[mol \cdot dm^{-3}]$,

$[H^+]$ – stężenie jonów wodorowych w wodzie $[mol \cdot dm^{-3}]$,

C_T – całkowite stężenie węglanów w wodzie $[mol \cdot dm^{-3}]$.

Stale równowagi kwasowości zostały skorygowane w zależności od temperatury wody, w oparciu o równania:

$$pK_w = \frac{4787,3}{T_a} + 7,1321 \cdot \log T_a + 0,010365 \cdot T_a - 22,8 \quad (6.106)$$

$$pK_1 = 356,3094 + 0,06091964 \cdot T_a - \frac{21834,37}{T_a} - 126,8339 \cdot \log T_a + \frac{1684915}{T_a^2} \quad (6.107)$$

$$pK_2 = 107,8871 + 0,03252849 \cdot T_a - \frac{5151,79}{T_a} - 38,92561 \cdot \log T_a + \frac{563713,9}{T_a^2} \quad (6.108)$$

Układ pięciu równań nieliniowych, począwszy od (6.101) a skończywszy na (6.105), opisujących zjawiska zachodzące w wodzie równocześnie, został rozwiązany numerycznie dla pięciu niewiadomych: $[H_2CO_3^*]$, $[HCO_3^-]$, $[CO_3^{2-}]$, $[OH^-]$ oraz $[H^+]$. Dzięki temu możliwe było obliczenie następujących wielkości:

$$\alpha_0 = \frac{[H^+]^2}{[H^+]^2 + K_1 \cdot [H^+] + K_1 \cdot K_2} \quad (6.109)$$

$$\alpha_1 = \frac{K_1 \cdot [H^+]}{[H^+]^2 + K_1 \cdot [H^+] + K_1 \cdot K_2} \quad (6.110)$$

$$\alpha_2 = \frac{K_1 \cdot K_2}{[H^+]^2 + K_1 \cdot [H^+] + K_1 \cdot K_2} \quad (6.111)$$

Następnie na podstawie kombinacji równań: (6.103), (6.109), (6.110) i (6.111) rozwiązano numerycznie następujące równanie wykorzystując do tego metodę bisekcji:

$$\text{Zasadowość} = (\alpha_1 + 2\alpha_2) \cdot c_T + \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] \quad (6.112)$$

Po przekształceniu równania (6.112) możliwe było obliczenie odczynu wody, wg wzoru:

$$pH = -\log[H^+] \quad (6.113)$$

6.3.14 Tlen rozpuszczony

Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie rośnie wraz z przebiegiem procesu fotosyntezy fitoplanktonu oraz glonów bentosowych, a także na skutek napowietrzania wynikającego z ruchu wody, natomiast maleje w wyniku przebiegu procesu nityfikacji, oddychania fitoplanktonu i glonów bentosowych oraz utleniania związków organicznych, zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$S_o = r_{oa} \cdot \mu_p \cdot a_p + r_{oa} \cdot C_{gb}(T) \cdot \phi_{Nb} \cdot \phi_{Lb} + k_a(T) \cdot (o_s(T, elevation) - o) - r_{on} \cdot F_{oxna} \cdot k_n(T) \cdot N_A - r_{oa} \cdot F_{oxp} \cdot k_p(T) \cdot a_p - r_{oa} \cdot F_{oxb} \cdot k_{rb}(T) \cdot a_b - r_{oc} \cdot F_{oxc} \cdot k_{dc}(T) \cdot c_f \quad (6.114)$$

gdzie:

S_o – wzrost lub spadek stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie wywołany przebiegiem reakcji biochemicznych [$\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{doba}^{-1}$],

$r_{oa} = 106,8 \left[\frac{\text{mg O}_2}{\text{mg A}} \right]$ – współczynnik stechiometryczny określający ilość tlenu produkowanego przez fitoplankton, wyznaczony w oparciu o stężenie chlorofilu a,

$k_a(T)$ – współczynnik napowietrzania wody, uzależniony od temperatury wody [doba^{-1}],

o – stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie [$\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$],

$r_{on} = \frac{2 [\text{mole O}_2] \cdot 32 \left[\frac{\text{g O}_2}{\text{mol O}_2} \right]}{1 [\text{mol N}] \cdot 14 \left[\frac{\text{g N}}{\text{mol N}} \right]} = 4,57 \left[\frac{\text{g O}_2}{\text{g N}} \right]$ – współczynnik stechiometryczny określający ilość tlenu zużywanego w procesie nityfikacji,

r_{oc} – współczynnik stechiometryczny określający ilość tlenu zużywanego w trakcie utleniania zw. organicznych szybko ulegających biodegradacji [$\text{mg O}_2 \cdot \text{mg C}^{-1}$],

F_{oxc} – współczynnik ekstynkcji procesu utleniania związków organicznych szybko ulegających biodegradacji na skutek niskiego stężenia tlenu,

$k_{dc}(T)$ – tempo utleniania związków organicznych szybko ulegających biodegradacji, uzależnione od temperatury wody [doba^{-1}],

c_f – stężenie w wodzie związków organicznych szybko ulegających biodegradacji [$\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$],

$o_s(T, elevation)$ – stężenie tlenu, przy którym jego nasycenie w wodzie wynosi 100%, w temperaturze T oraz danym położeniu n.p.m. ($elevation$) [$\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$], wyznaczone z równania:

$$o_s(T, elevation) = e^{\ln o_s(T,0)} (1 - 0,0001148 \cdot elevation) \quad (6.115)$$

gdzie:

$o_s(T,0)$ – stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie przy jego 100% nasyceniu oraz ciśnieniu $p = 1 \text{ atm}$ [$\text{O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$], wyznaczone z równania:

$$\ln o_s(T, 0) = -139,34411 + \frac{1,575701 \cdot 10^5}{T_a} - \frac{6,642308 \cdot 10^7}{T_a^2} + \frac{1,243800 \cdot 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8,621949 \cdot 10^{11}}{T_a^4} \quad (6.116)$$

6.3.15 Wpływ osadów dennych na jakość wód powierzchniowych

Dwukierunkowa wymiana masy pomiędzy osadami dennymi Biebrzy, a znajdującą się nad nimi wodą została zbilansowana w oparciu o następujące procesy:

- 1) Zasilanie osadów dennych materią oraz związkami chemicznymi pochodzącymi z toni wodnej, w tym:
 - a) drobna materia organiczna (detrytus) opadająca na dno cieku, zawierająca w swojej strukturze węgiel organiczny, azot organiczny oraz fosfor organiczny;
 - b) związki organiczne, składniki pokarmowe (azot, fosfor) oraz tlen rozpuszczone w wodzie penetrującej osady denne,
- 2) Zasilanie toni wodnej substancjami pochodzącymi z osadów dennych, w tym:
 - a) azot amonowy,
 - b) fosforany(V),
 - c) azotany(V),
 - d) metan.

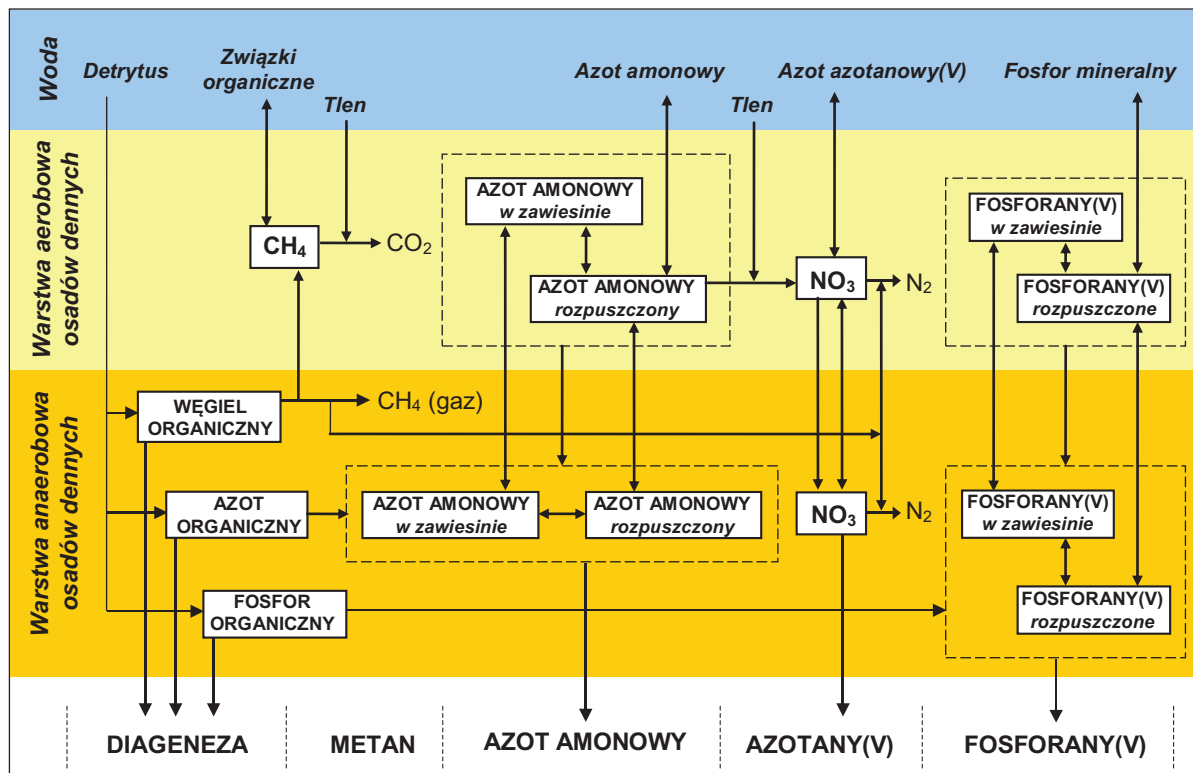
W modelu przemian biochemicznych przyjęto, iż osady denne zbudowane są z dwóch warstw:

- a) aerobowa, o grubości 1 mm, to warstwa powierzchniowa osadów, w której panowały warunki tlenowe,
- b) anaerobowa, o grubości 10 cm, to zalegająca poniżej warstwa osadów, w której panowały warunki beztlenowe oraz dochodziło do kumulacji materii organicznej pochodzącej z toni wodnej.

Większość osiadłej na dnie materii organicznej ulegała w warunkach beztlenowych procesowi mineralizacji (rozkładu), w efekcie czego powstawały rozpuszczone w wodzie fosforany mineralne, azot amonowy oraz metan, natomiast pozostała część materii organicznej, która znalazła się w warstwie aerobowej uczestniczyła w reakcjach utleniających, takich jak np. nityfikacja azotu amonowego lub też reagowała z substancjami pochodzącymi z warstwy anaerobowej, zgodnie z definicją diagenety. Procesy te przedstawiono na rys. 6.25.

6.3.15.1 Diagenetyza

Diagenetyza to przemiany fizyko-chemiczne osadów dennych rozpoczynające się w momencie ich depozycji na dnie cieku i polegające na zmianie składu mineralnego, struktury oraz składu chemicznego, przy czym zjawisko to zachodzi zarówno na powierzchni osadów



Rys. 6.25 Schemat wymiany składników pokarmowych, tlenu oraz związków węgla pomiędzy osadami dennymi a tonią wodną, zaimplementowany w programie QUAL2K (Chapra et al. 2007)

jak i też w całej ich objętości. Całkowity strumień masy drobnej materii organicznej zasilającej osady denne został w modelu przemian biochemicznych wyznaczony w oparciu o równanie (Chapra et al. 2007):

$$J_{detr} = r_{da} \cdot v_a \cdot a_p + v_{dt} \cdot m_o \quad (6.117)$$

gdzie:

J_{detr} – strumień masy drobnej materii organicznej (fitoplanktonu oraz glonów bentosowych) opadającej z toni wodnej do osadów dennych [$g \cdot D \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$].

Następnie, znając całkowitą masę detrytus opadającego na dno cieku oraz wartości odpowiednich współczynników stechiometrycznych, rozdzielono strumień masy detrytus na trzy pomniejsze strumienie, z których każdy definiował masę innego biogenu zasilającego osady denne, tj. węgla organicznego, azotu organicznego oraz fosforu organicznego. Kolejnym krokiem było wyodrębnienie, w ramach każdego z wymienionych strumieni mas biogenów, trzech frakcji:

- nietrwalej (labilnej), tj. szybko ulegającej reakcjom biochemicznym,
- wolno ulegającej reakcjom biochemicznym,
- trwalej, tj. nie podlegającej żadnym reakcjom biochemicznym.

Dzięki takiemu zabiegowi możliwe było zbilansowanie procesu wymiany masy dla poszczególnych warstw osadów dennych.

6.3.15.2 Węgiel organiczny

Zasada zachowania masy w warstwie anaerobowej osadów dennych, wyznaczona dla nietrwalej frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus, została opisana równaniem (Chapra et al. 2007):

$$H_2 \frac{dPOC_{2,G1}}{dt} = J_{POC,G1} - k_{POC,G1} \cdot \theta_{POC,G1}^{T-20} \cdot H_2 \cdot POC_{2,G1} - w_2 \cdot POC_{2,G1} \quad (6.118)$$

gdzie:

H_2 – miąższość warstwy anaerobowej osadów dennych [m],

$J_{POC,G1}$ – strumień masy nietrwalej frakcji węgla organicznego zawartego w detrytusie zasilającej warstwę anaerobową osadów [$g O_2 \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$],

$k_{POC,G1}$ – tempo przebiegu procesu mineralizacji nietrwalej frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus [doba⁻¹],

$\theta_{POC,G1}$ – współczynnik korekty tempa przebiegu mineralizacji nietrwalej frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus, uzależniony od temperatury wody,

w_2 – prędkość, z jaką cząsteczki nietrwalej frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus ulegają przemieszczeniu z warstwy aerobowej do anaerobowej [$m \cdot doba^{-1}$],

$POC_{2,G1}$ – stężenie nietrwalej frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus w warstwie anaerobowej osadów [$g O_2 \cdot m^{-3}$], dla stanu ustalonego wyznaczone z równania:

$$POC_{2,G1} = \frac{J_{POC,G1}}{k_{POC,G1} \cdot \theta_{POC,G1}^{T-20} \cdot H_2 + v_b} \quad (6.119)$$

Następnie, korzystając z równań (6.118) oraz (6.119) wyznaczono w obrębie strumienia nietrwalej frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus tę część masy węgla, która została rozpuszczona w wodzie, w oparciu o równanie:

$$J_{C,G1} = k_{POC,G1} \cdot \theta_{POC,G1}^{T-20} \cdot H_2 \cdot POC_{2,G1} \quad (6.120)$$

gdzie:

$J_{C,G1}$ – strumień masy nietrwalej frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus, rozpuszczonej w wodzie zasilającej warstwę anaerobową osadów [$g O_2 \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$].

W analogiczny sposób zbilansowano wymianę masy w warstwie anaerobowej osadów dennych dla frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus, która wolno ulegała przemianom biochemicznym. Dzięki temu możliwe było wyliczenie strumienia masy węgla organicznego wolno ulegającego przemianom biochemicznym, który w postaci rozpuszczonej w wodzie ($J_{C,G2}$) zasilił warstwę anaerobową osadów. Po dodaniu otrzymanej wartości do wyniku równania (6.120) uzyskano całkowitą masę rozpuszczonego w wodzie węgla organicznego, który zasilił warstwę anaerobową osadów (J_C), wg równania.

$$J_C = J_{C,G1} + J_{C,G2} \quad (6.121)$$

6.3.15.3 Metan

Rozpuszczony w wodzie węgiel organiczny, który po opadnięciu detrytusu na dno ciekłu zostaje skumulowany w warstwie anaerobowej osadów dennych ulega, na skutek przemian biochemicznych, przekształceniu w metan. Ponieważ CH₄ jest stosunkowo słabo rozpuszczalny w wodzie nawet nieduże jego stężenie w osadach powoduje 100% nasycenie w roztworze wodnym, po czym nadmiar gazu ulatnia się z osadów do toni wodnej. W modelu przemian biochemicznych przyjęto, że w trakcie ulatniania się z osadów metan podlega różnym reakcjom biochemicznym, w warstwie anaerobowej zostaje częściowo zużyty w trakcie procesu denitryfikacji, natomiast w warstwie aerobowej ulega częściowemu utlenieniu. Strumień masy metanu opuszczającego warstwę anaerobową osadów dennych został wyznaczony z równania (Chapra et al. 2007):

$$J_{CH_4,T} = J_C - J_{O_2,dn} \quad (6.122)$$

gdzie:

$J_{CH_4,T}$ – strumień całkowitej masy metanu powstałego w warstwie anaerobowej osadów dennych, wyrażony w ekwiwalentach tlenowych [g O₂·m⁻²·doba⁻¹],

$J_{O_2,dn}$ – część strumienia masy metanu powstałego w warstwie anaerobowej osadów skonsumowana w czasie denitryfikacji, wyrażona w ekwiwalentach tlenowych [g O₂·m⁻²·doba⁻¹], wyznaczona z równania:

$$J_{O_2,dn} = r_{ondn} \cdot \left(\frac{k_{NO_3,1}^2}{s} \cdot \theta_{NO_3}^{T-20} \cdot NO_{3,1} + k_{NO_3,2} \cdot \theta_{NO_3}^{T-20} \cdot NO_{3,2} \right) \quad (6.123)$$

gdzie:

r_{ondn} – współczynnik stechiometryczny określający zapotrzebowanie w węgiel w procesie denitryfikacji, wyrażony jako ekwiwalenty tlenu do azotu, wyznaczony z równania:

$$r_{ondn} = 2,67 \left[\frac{g O_2}{g C} \right] \cdot \frac{5 [\text{mole C}] \cdot 12 \left[\frac{g C}{\text{mol C}} \right]}{4 [\text{mole N}] \cdot 14 \left[\frac{g N}{\text{mol N}} \right]} = 0,00286 \left[\frac{g O_2}{mg N} \right] \quad (6.124)$$

W przypadku, gdy stężenie metanu w warstwie anaerobowej osadów dennych było zbyt niskie, aby nastąpiło jego 100% nasycenie, tzn. spełniony był warunek $J_{CH_4,T} < 2K_{L12}C_s$, metan w formie gazu nie powstawał. Wtedy cały metan opuszczający warstwę anaerobową osadów pozostawał w formie rozpuszczonej ($J_{CH_4,d}$), zgodnie z równaniem:

$$J_{CH_4,T} = J_{CH_4,d} \quad (6.125)$$

W takich warunkach zasada zachowania masy w warstwie aerobowej osadów dennych, wyznaczona dla metanu, została opisana równaniem:

$$H_1 \frac{dCH_{4,1}}{dt} = J_{CH_4,d} + s \cdot (c_f - CH_{4,1}) - \frac{k_{CH_4,1}^2}{s} \cdot \theta_{CH_4}^{T-20} \cdot CH_{4,1} \quad (6.126)$$

gdzie:

H_1 – miąższość warstwy aerobowej osadów dennych [m],

$CH_{4,1}$ – stężenie metanu w warstwie aerobowej osadów dennych [$g O_2 \cdot m^{-3}$], dla stanu ustalonego wyznaczone z równania:

$$CH_{4,1} = \frac{J_{CH_4,d} + s \cdot c_f}{s + \frac{k_{CH_4,1}^2}{s} \cdot \theta_{CH_4}^{T-20}} \quad (6.127)$$

$k_{CH_4,1}$ – tempo przebiegu utleniania metanu w warstwie aerobowej osadów [$m \cdot doba^{-1}$],

θ_{CH_4} – współczynnik korekty szybkości reakcji utleniania metanu, uzależniony od temperatury wody,

s – współczynnik wymiany masy pomiędzy wodą a warstwą aerobową osadów dennych [$m \cdot doba^{-1}$].

W przypadku, gdy stężenie metanu w warstwie anaerobowej osadów dennych było wystarczająco wysokie, aby nastąpiło jego 100% nasycenie w wodzie, tzn. spełniony był warunek $J_{CH_4,T} \geq 2K_{L12}C_s$, wtedy powstawał metan w formie gazu. W takich warunkach strumień metanu opuszczający warstwę anaerobową osadów został opisany równaniem:

$$J_{CH_4,T} = \frac{J_{CH_4,d}^2}{2K_{L12}C_s} \quad (6.128)$$

gdzie:

$J_{CH_4,d}$ – strumień masy rozpuszczonego metanu powstałego w warstwie anaerobowej osadów dennych, wyrażony w ekwiwalentach tlenowych [$g O_2 \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$],

C_s – stężenie metanu przy jego 100% nasyceniu, wyrażone w ekwiwalentach tlenowych [$mg O_2 \cdot dm^{-3}$], wyznaczone z równania:

$$C_s = 100 \cdot \left(1 + \frac{h}{10}\right) \cdot (1,024)^{20-T} \quad (6.129)$$

W ostatecznym rozrachunku strumień masy metanu przedostający się z warstwy aerobowej osadów dennych do toni wodnej został opisany równaniem:

$$J_{CH_4} = s \cdot (CH_{4,1} - c_f) \quad (6.130)$$

6.3.15.4 Zapotrzebowanie osadów dennych w tlen

Zapotrzebowanie osadów dennych w tlen (z ang. *Sediment Oxygen Demand*) to suma tlenu skonsumowanego w procesie utleniania metanu oraz nityfikacji azotu amonowego zachodzących w warstwie aerobowej osadów dennych [$\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$], zgodnie z równaniem (Chapra et al. 2007):

$$SOD = \frac{k_{CH_4,1}^2}{s} \cdot \theta_{CH_4}^{T-20} \cdot CH_{4,1} + r_{on} \cdot \frac{k_{NH_4,1}^2}{s} \cdot \theta_{NH_4}^{T-20} \cdot \left(\frac{K_{NH_4}}{K_{NH_4} + NH_{4,1}} \right) \cdot \left(\frac{o}{2K_{NH_4,O_2} + o} \right) \cdot f_{dal} \cdot NH_{4,1} \quad (6.131)$$

6.3.15.5 Azot amonowy

Zasada zachowania masy w obydwu warstwach osadów dennych, wyznaczona dla azotu amonowego, została opisana równaniami (Chapra et al. 2007):

$$H_1 \frac{dNH_{4,1}}{dt} = \omega_{12} \cdot (f_{pa2} \cdot NH_{4,2} - f_{pa1} \cdot NH_{4,1}) + K_{L12} \cdot (f_{da2} \cdot NH_{4,2} - f_{dal} \cdot NH_{4,1}) - w_2 \cdot NH_{4,1} + s \cdot \left(\frac{N_A}{1000} - f_{dal} \cdot NH_{4,1} \right) - f_{dal} \cdot NH_{4,1} \cdot \theta_{NH_4}^{T-20} \cdot \left(\frac{k_{NH_4,1}^2}{s} \right) \cdot \left(\frac{K_{NH_4}}{K_{NH_4} + NH_{4,1}} \right) \cdot \left(\frac{o}{2K_{NH_4,O_2} + o} \right) \quad (6.132)$$

$$H_2 \frac{dNH_{4,2}}{dt} = J_N + \omega_{12} \cdot (f_{pa1} \cdot NH_{4,1} - f_{pa2} \cdot NH_{4,2}) + K_{L12} \cdot (f_{dal} \cdot NH_{4,1} - f_{da2} \cdot NH_{4,2}) + w_2 \cdot (NH_{4,1} - NH_{4,2}) \quad (6.133)$$

gdzie:

ω_{12} – współczynnik wymiany masy (wywołanej zjawiskiem bioturbacji) pomiędzy warstwą aerobową a anaerobową osadów dennych [$\text{m} \cdot \text{doba}^{-1}$], wyznaczony z równania:

$$\omega_{12} = \left(\frac{D_p \cdot \theta_{Dp}^{T-20}}{H_2} \right) \cdot \left(\frac{POC_{2,G1}}{r_{oc} \cdot POC_R} \right) \cdot \left(\frac{o}{K_{M,Dp} + o} \right) \quad (6.134)$$

gdzie:

D_p – współczynnik dyfuzji wywołanej bioturbacją [$\text{m}^2 \cdot \text{doba}^{-1}$],

θ_{Dp} – współczynnik korekty w/w dyfuzji, uzależniony od temperatury wody,

POC_R – stężenie w warstwie anaerobowej osadów nietrwalej frakcji węgla organicznego pochodzącego z detrytus (występującego w postaci zawiesiny w roztworze wodnym), wywołane bioturbacją [$\text{g C} \cdot \text{m}^{-3}$],

- $K_{M,Dp}$ – stała połowicznego nasycenia osadów dennych tlenem, na skutek bioturbacji [g O₂·m⁻³],
- $NH_{4,1}$ – sumaryczne stężenie wszystkich form azotu amonowego w warstwie aerobowej osadów dennych [g N·m⁻³],
- $NH_{4,2}$ – sumaryczne stężenie wszystkich form azotu amonowego w warstwie anaerobowej osadów dennych [g N·m⁻³],
- $k_{NH4,1}$ – tempo przebiegu nityfikacji w warstwie aerobowej osadów dennych [m·doba⁻¹],
- θ_{NH4} – współczynnik korekty tempa przebiegu nityfikacji w warstwie aerobowej osadów dennych, uzależniony od temperatury wody,
- K_{NH4} – stała połowicznego nasycenia azotem amonowym osadów dennych w warstwie aerobowej [g N·m⁻³],
- $K_{NH4,O2}$ – stała połowicznego nasycenia tlenem osadów dennych w warstwie aerobowej [g N·m⁻³],
- J_N – strumień masy azotu organicznego przechodzącego z toni wodnej do osadów dennych w postaci detrytusu [g N·m⁻²·doba⁻¹],
- f_{da1}, f_{da2} – frakcja azotu amonowego rozpuszczonego w wodzie, odpowiednio w warstwie aerobowej oraz anaerobowej, wyznaczona ze wzorów:

$$f_{da1} = \frac{1}{1 + m_1 \cdot \pi_{a1}} \quad (6.135)$$

$$f_{da2} = \frac{1}{1 + m_2 \cdot \pi_{a2}} \quad (6.136)$$

gdzie:

- m_1, m_2 – stężenie cząstek stałych w osadach dennych, odpowiednio w warstwie aerobowej oraz anaerobowej [g D·m⁻³],
- π_{a1}, π_{a2} – współczynnik rozdziału dla azotu amonowego, odpowiednio w warstwie aerobowej oraz anaerobowej [g D·m⁻³],
- f_{pa1}, f_{pa2} – frakcja nie rozpuszczonego azotu amonowego (w formie zawiesiny unoszącej się w wodzie), odpowiednio w warstwie aerobowej oraz anaerobowej, wyznaczona z równań:

$$f_{pa1} = 1 - f_{da1} \quad (6.137)$$

$$f_{pa2} = 1 - f_{da2} \quad (6.138)$$

- K_{L12} – współczynnik dyfuzyjnej wymiany masy z wodą uwięzioną w porach cząstek materii, zachodzącej pomiędzy warstwą aerobową a anaerobową [m·doba⁻¹], wyznaczony ze wzoru:

$$K_{L12} = \frac{2D_d \cdot \theta_{Dd}^{T-20}}{H_2} \quad (6.139)$$

gdzie:

D_d – współczynnik dyfuzji zw. z wodą uwięzioną w porach cząstek materii [$m^2 \cdot doba^{-1}$],

θ_{Dd} – współczynnik korekty tempa w/w dyfuzji, uzależniony od temperatury wody,

Strumień masy azotu amonowego przedostający się z warstwy aerobowej osadów dennych do toni wodnej został opisany równaniem:

$$J_{NH4} = s \cdot \left(f_{dal} \cdot NH_{4,1} - \frac{N_A}{1000} \right) \quad (6.140)$$

6.3.15.6 Azotany(V)

Zasada zachowania masy w obydwu warstwach osadów dennych, wyznaczona dla azotanów(V), została opisana równaniami (Chapra et al. 2007):

$$\begin{aligned} H_1 \frac{dNO_{3,1}}{dt} = & K_{L12} \cdot (NO_{3,2} - NO_{3,1}) - w_2 \cdot NO_{3,1} + s \left(\frac{N_N}{1000} - NO_{3,1} \right) + \\ & + f_{dal} \cdot NH_{4,1} \cdot \theta_{NH4}^{T-20} \cdot \left(\frac{k_{NH4,1}^2}{s} \right) \cdot \left(\frac{K_{NH4}}{K_{NH4} + NH_{4,1}} \right) \cdot \left(\frac{o}{2K_{NH4,O2} + o} \right) - \\ & - NO_{3,1} \cdot \theta_{NO3}^{T-20} \cdot \left(\frac{k_{NO3,1}^2}{s} \right) \end{aligned} \quad (6.141)$$

$$\begin{aligned} H_2 \frac{dNO_{3,2}}{dt} = & J_N + K_{L12} \cdot (NO_{3,1} - NO_{3,2}) + w_2 \cdot (NO_{3,1} - NO_{3,2}) - \\ & - k_{NO3,2} \cdot NO_{3,2} \cdot \theta_{NO3}^{T-20} \end{aligned} \quad (6.142)$$

gdzie:

$NO_{3,1}$ – stężenie azotanów(V) w warstwie aerobowej osadów dennych [$g \cdot N \cdot m^{-3}$],

$NO_{3,2}$ – stężenie azotanów(V) w warstwie anaerobowej osadów [$g \cdot N \cdot m^{-3}$],

$k_{NO3,1}$ – tempo przebiegu denitryfikacji w warstwie aerobowej osadów [$m \cdot doba^{-1}$],

$k_{NO3,2}$ – tempo przebiegu denitryfikacji w warstwie anaerobowej osadów [$m \cdot doba^{-1}$],

θ_{NO3} – współczynnik korekty tempa przebiegu denitryfikacji w warstwie aerobowej i anaerobowej osadów, uzależniony od temperatury wody.

Strumień masy azotu azotanowego(V) przedostający się z warstwy aerobowej osadów dennych do toni wodnej został opisany równaniem:

$$J_{NO3} = s \cdot \left(NO_{3,1} - \frac{N_N}{1000} \right) \quad (6.143)$$

6.3.15.7 Fosforany(V)

Zasada zachowania masy w obydwu warstwach osadów dennych, wyznaczona dla fosforanów(V), została opisana równaniami (Chapra et al. 2007):

$$H_1 \frac{dPO_{4,1}}{dt} = \omega_{12} \cdot (f_{pp2} \cdot PO_{4,2} - f_{pp1} \cdot PO_{4,1}) + K_{L12} \cdot (f_{dp2} \cdot PO_{4,2} - f_{dp1} \cdot PO_{4,1}) - w_2 \cdot PO_{4,1} + s \cdot \left(\frac{P_M}{1000} - f_{dal} \cdot PO_{4,1} \right) \quad (6.144)$$

$$H_2 \frac{dPO_{4,2}}{dt} = J_P + \omega_{12} \cdot (f_{pp1} \cdot PO_{4,1} - f_{pp2} \cdot PO_{4,2}) + K_{L12} \cdot (f_{dp1} \cdot PO_{4,1} - f_{dp2} \cdot PO_{4,2}) + w_2 \cdot (PO_{4,1} - PO_{4,2}) \quad (6.145)$$

gdzie:

$PO_{4,1}$ – stężenie fosforanów(V) w warstwie aerobowej osadów dennych [$\text{g P} \cdot \text{m}^{-3}$],

$PO_{4,2}$ – stężenie fosforanów(V) w warstwie anaerobowej osadów dennych [$\text{g P} \cdot \text{m}^{-3}$],

J_P – strumień masy fosforu organicznego przechodzącego z toni wodnej do osadów dennych w postaci detrytusy [$\text{g P} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$],

f_{dp1} , f_{dp2} – frakcja fosforu mineralnego rozpuszczonego w wodzie, odpowiednio w warstwie aerobowej oraz anaerobowej, wyznaczona ze wzorów:

$$f_{dp1} = \frac{1}{1 + m_1 \cdot \pi_{p1}} \quad (6.146)$$

$$f_{dp2} = \frac{1}{1 + m_2 \cdot \pi_{p2}} \quad (6.147)$$

gdzie:

π_{p1} , π_{p2} – współczynnik rozdziału dla fosforu mineralnego, odpowiednio w warstwie aerobowej oraz anaerobowej [$\text{g D} \cdot \text{m}^{-3}$],

f_{pp1} , f_{pp2} – frakcja nie rozpuszczonego fosforu mineralnego (w formie zawiesiny unoszącej się w wodzie), odpowiednio w warstwie aerobowej oraz anaerobowej, wyznaczona ze wzorów:

$$f_{pp1} = 1 - f_{dp1} \quad (6.148)$$

$$f_{pp2} = 1 - f_{dp2} \quad (6.149)$$

Strumień masy fosforanów(V) przedostający się z warstwy aerobowej osadów dennych do toni wodnej został opisany równaniem:

$$J_{PO4} = s \cdot \left(PO_{4,1} - \frac{P_M}{1000} \right) \quad (6.150)$$

6.3.16 Obliczenia numeryczne – kalibracja i weryfikacja modelu

Konstrukcja modelu przemian biochemicznych wymagała wprowadzenia do programu szeregu wskaźników opisujących tempo oraz naturalne uwarunkowania procesów zachodzących w wodzie w czasie trwania poszczególnych kampanii pomiarowych. Wszystkie wskaźniki zostały zaczerpnięte z literatury fachowej (Chapra et al. 2007; Chapra 1997; Schnoor 1996), a następnie zweryfikowane w czasie kalibracji.

Kalibracja modelu przemian biochemicznych, symulującego przebieg procesów chemicznych i biologicznych w Biebrzy Dolnej zachodzących w trakcie trwania badań, polegała w praktyce na wielokrotnym sprawdzaniu wyników obliczeń numerycznych, a następnie poddawaniu korekcie wartości stężeń parametrów jakościowych w dopływach obszarowych oraz regulacji poszczególnych wskaźników opisujących tempo przemian biochemicznych (prędkość opadania na dno cząstek materii, tempo hydrolizy, tempo nityfikacji itp.). W ten sposób, poprzez kolejne przybliżenia, zmierzano do osiągnięcia, wyznaczonych pomiarami terenowymi, stężeń poszczególnych parametrów jakościowych oznaczonych w Biebrzy na odcinku od m. Osowiec (przekrój BD_00_M) aż po jej ujście do Narwi (BD_19_M).

Weryfikacja modelu przemian biochemicznych została przeprowadzona w kilku etapach:

- Kalibracja modelu przemian biochemicznych dla kampanii pomiarowej 21-25.09.2007 r.,
- Implementacja uzyskanych w ten sposób wartości poszczególnych wskaźników do modelu przemian biochemicznych dla kampanii pomiarowej 26-29.07.2007 r. charakteryzującej się niemal identycznymi warunkami przepływu,
- Kalibracja modelu przemian biochemicznych dla kampanii pomiarowej 26-29.07.2007 r., korekta wartości wskaźników ze względu na odmienne warunki meteorologiczne (wyższa temperatura wody, wyższa temperatura powietrza itp.),
- Implementacja uzyskanych w ten sposób wartości poszczególnych wskaźników do modelu przemian biochemicznych dla kampanii pomiarowej 19-23.07.2008 r., mającej miejsce o tej samej porze roku (lato) oraz charakteryzującej się zbliżonymi warunkami meteorologicznymi (temperatura wody, temperatura powietrza, nasłonecznienie itp.),
- Kalibracja modelu przemian biochemicznych dla kampanii pomiarowej 19-23.07.2007 r.,
- Porównanie uzyskanych wyników.

Uzyskane w wyniku kalibracji wartości stężeń poszczególnych parametrów jakościowych w dopływach obszarowych oraz wartości wskaźników przemian biochemicznych przedstawiono w tabelach 6.11-6.18, natomiast rozkład stężeń poszczególnych parametrów jakościowych wraz z biegiem Biebrzy zaprezentowano na rysunkach 6.26-6.44.

W modelu przemian biochemicznych zrezygnowano z symulacji stężeń parametru jakościowego BZT₅ opisującego łatwo rozkładalne związki organiczne pochodzące głównie

Tabela 6.11 Wyniki kalibracji wartości współczynników definiujących przebieg reakcji biochemicznych w modelu jakości wód Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych 2007-2008

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data symulacji komputerowej oraz poboru próbek wody	Kilometr biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]		Azot amonowy		Azot azotanowy(V)		Fosfor organiczny		Fitoplankton				Glony bentosowe				Detrytus				
			Od	Do	Tempo nitryfikacji [doba ⁻¹]	Tempo denitryfikacji w toni wodnej [m.doba ⁻¹]	Tempo denitryfikacji w warstwie przydennej [m.doba ⁻¹]	Tempo hydrolizy [doba ⁻¹]	Prędkość opadania na dno cząstek [m.doba ⁻¹]	Tempo oddychania [doba ⁻¹]	Tempo obumierania [doba ⁻¹]	Tempo oddychania [doba ⁻¹]	Tempo przemiany materii [doba ⁻¹]	Tempo obumierania [doba ⁻¹]	Tempo rozpuszczenia w wodzie [doba ⁻¹]	Prędkość opadania na dno cząstek [m.doba ⁻¹]	Maksymalne tempo wzrostu [doba ⁻¹]	Tempo oddychania [doba ⁻¹]	Maksymalne tempo wzrostu [doba ⁻¹]	Tempo oddychania [doba ⁻¹]	Prędkość opadania na dno cząstek [m.doba ⁻¹]		
Od BD_00_M	2,941	25.09.2007	0,7	2,5	19	0	22	0,7	2,5	3,0	2,0	0,2	0,2	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	2,0	0,4	2,0
Do BD_03_M		23.07.2008	1,4	2,0	30	0	36	1,5	3,0	3,0	2,5	0,2	0,2	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
Od BD_03_M	5,122	25.09.2007	1,3	2,5	23	0	34	1,3	2,5	2,5	2,0	0,2	0,2	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	2,0	0,4	2,0
Do BD_05_M		23.07.2008	0,9	2,0	18	0	22	0,9	2,5	3,0	2,5	0,2	0,2	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
Od BD_05_M	4,065	25.09.2007	0,6	2,0	15	0	24	0,6	2,0	2,5	2,0	0,2	0,2	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	2,0	0,4	2,0
Do BD_06_M		23.07.2008	0,5	2,0	13	0	13	0,6	3,0	3,0	3,5	0,2	0,2	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
Od BD_06_M	2,804	25.09.2007	0,3	1,5	12	0	24	0,3	1,5	2,5	2,0	0,2	0,2	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	2,0	0,4	2,0
Do BD_07_M		23.07.2008	0,3	2,0	12	0	10	0,3	2,5	3,0	3,0	0,2	0,2	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
Od BD_07_M	3,171	25.09.2007	0,3	1,5	12	0	22	0,3	2,0	2,5	1,5	0,2	0,2	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	2,0	0,4	2,0
Do BD_08_M		23.07.2008	0,3	2,0	9	0	10	0,3	1,5	3,0	3,5	0,2	0,2	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
Od BD_08_M	2,356	25.09.2007	0,4	1,0	11	0	14	0,4	1,5	2,5	1,0	0,2	0,3	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	2,0	0,4	2,0
Do BD_09_M		23.07.2008	0,3	1,5	10	0	13	0,3	1,5	2,5	3,0	0,2	0,2	1,5	50	0,2	0,1	0,1	0,5	1,5	1,5	0,5	1,5
Od BD_09_M	7,649	25.09.2007	0,4	1,0	11	0	13	0,4	1,5	2,5	1,0	0,2	0,3	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	2,0	0,4	2,0
Do BD_11_M		23.07.2008	0,3	1,5	10	0	13	0,3	1,5	3,0	3,0	0,2	0,2	1,5	50	0,2	0,1	0,1	0,5	1,5	1,5	0,5	1,5
Od BD_11_M	2,686	25.09.2007	0,3	1,0	14	0	16	0,3	1,5	2,5	1,5	0,2	0,2	1,5	45	0,2	0,05	0,1	0,4	1,5	1,5	0,4	1,5
Do BD_13_M		23.07.2008	0,4	1,5	9	0	12	0,4	2,0	2,5	2,0	0,2	0,2	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
Od BD_13_M	3,955	25.09.2007	0,3	1,5	16	0	19	0,3	2,0	3,0	2,0	0,2	0,2	1,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	1,0	1,0	0,4	1,0
Do BD_14_M		23.07.2008	0,5	2,0	9	0	13	0,5	2,0	2,5	2,0	0,2	0,2	2,5	50	0,2	0,1	0,1	0,5	2,5	2,5	0,5	2,5
Od BD_14_M	2,515	25.09.2007	0,5	1,5	17	0	19	0,5	2,5	3,5	2,0	0,2	0,2	1,5	45	0,2	0,05	0,1	0,4	1,5	1,5	0,4	1,5
Do BD_15_M		23.07.2008	0,9	2,0	12	0	10	0,8	2,0	2,5	3,0	0,2	0,2	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
Od BD_15_M	2,882	25.09.2007	0,8	2,5	29	0	44	0,8	2,5	3,5	2,0	0,2	0,2	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	2,0	0,4	2,0
Do BD_16_M		23.07.2008	0,4	1,5	8	0	7	0,4	1,5	2,5	3,5	0,2	0,2	1,5	50	0,2	0,1	0,1	0,5	1,5	1,5	0,5	1,5

Tabela 6.12 Wyniki kalibracji wartości współczynników definiujących przebieg reakcji biochemicznych w modelu jakości wód Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych 2007-2008

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data symulacji komputerowej oraz poboru próbek wody	Kilometr biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]		Azot organiczny		Azot amonowy [doba ⁻¹]	Azot azotanowy(V)		Fosfor organiczny		Fitoplankton				Glony bentosowe		Detrytus					
			Od	Do	Tempo hydrolizy [doba ⁻¹]	Prędkość opadania na dno cząstek [m.doba ⁻¹]		Tempo denitryfikacji [doba ⁻¹]	Tempo denitryfikacji w toni wodnej [m.doba ⁻¹]	Tempo denitryfikacji w warstwie przydennej [m.doba ⁻¹]	Tempo hydrolizy [doba ⁻¹]	Prędkość opadania na dno cząstek [m.doba ⁻¹]	Maksymalne tempo wzrostu [doba ⁻¹]	Tempo oddychania [doba ⁻¹]	Tempo obumierania [doba ⁻¹]	Maksymalne tempo wzrostu [doba ⁻¹]	Tempo oddychania [doba ⁻¹]	Tempo przemiany materii [doba ⁻¹]	Tempo obumierania [doba ⁻¹]	Tempo rozpuszczenia w wodzie [doba ⁻¹]	Prędkość opadania na dno cząstek [m.doba ⁻¹]		
Od BD_16_M	2,261	25.09.2007	10,556	8,295	0,4	2,5	23	0	36	0,4	2,0	3,5	2,0	0,2	0,2	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	
Do BD_17_M		23.07.2008			0,3	1,5	8	0	8	0,3	1,5	2,5	4,0	2,5	4,0	0,2	0,1	1,5	50	0,2	0,1	0,1	0,5
Od BD_17_M	2,807	25.09.2007	8,295	5,488	0,4	2,0	17	0	23	0,4	1,5	3,0	2,5	0,2	0,2	2,0	45	0,2	0,05	0,1	0,4	2,0	
Do BD_18_M		23.07.2008			0,5	2,0	8	0	12	0,5	2,5	3,0	4,5	3,0	4,5	0,2	0,1	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5
Od BD_18_M	2,236	25.09.2007	5,488	3,252	0,5	2,0	11	0	16	0,5	1,5	2,0	3,5	0,2	0,2	1,5	45	0,2	0,05	0,1	0,4	1,5	
Do BD_19_M		23.07.2008			0,8	2,0	8	0	17	0,8	2,0	2,5	4,5	2,5	4,5	0,2	0,1	2,0	50	0,2	0,1	0,1	0,5
Od BD_00_M	8,063	29.07.2007	50,702	42,639	0,5	1,5	7	0	51	0,5	1,5	2,0	4,5	0,1	0,2	1,5	50	0,1	0,05	0,1	0,5	1,5	
Do BD_05_M					42,639	35,770	0,7	1,5	13	0	64	0,7	1,5	2,5	2,5	2,0	0,1	0,3	2,0	50	0,1	0,05	0,1
Od BD_05_M	6,869		35,770	30,243	30,243	0,4	1,0	13	0	54	0,4	1,5	2,5	1,0	0,1	0,3	2,0	50	0,1	0,05	0,1	0,5	2,0
Do BD_07_M						30,243	22,594	0,4	1,0	6	0	28	0,4	1,5	2,5	2,5	1,0	0,1	0,3	2,0	50	0,1	0,05
Od BD_07_M	5,527		19,908	17,000	15,953	0,6	2,0	6	0	52	0,9	2,5	3,5	2,0	0,1	0,2	2,5	50	0,1	0,05	0,1	0,5	2,5
Do BD_09_M						17,000	13,438	0,6	2,0	6	0	56	0,6	2,0	3,0	3,0	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05
Od BD_09_M	7,649		17,000	15,953	10,556	0,5	2,0	7	0	53	0,5	2,0	2,5	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05	0,1	0,5	2,0
Do BD_11_M						15,953	8,295	0,5	2,0	7	0	53	0,5	2,0	2,5	2,5	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05
Od BD_11_M	6,641		17,000	15,953	10,556	0,6	2,0	6	0	56	0,6	2,0	3,0	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05	0,1	0,5	2,0
Do BD_14_M						17,000	8,295	0,5	2,0	7	0	53	0,5	2,0	2,5	2,5	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05
Od BD_14_M	5,397		17,000	15,953	10,556	0,6	2,0	6	0	56	0,6	2,0	3,0	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05	0,1	0,5	2,0
Do BD_16_M		17,000				8,295	0,5	2,0	7	0	53	0,5	2,0	2,5	2,5	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05	0,1
Od BD_16_M	7,304	17,000	15,953	10,556	0,6	2,0	6	0	56	0,6	2,0	3,0	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05	0,1	0,5	2,0	
Do BD_19_M					17,000	8,295	0,5	2,0	7	0	53	0,5	2,0	2,5	2,5	2,0	0,1	0,2	2,0	50	0,1	0,05	0,1

Tabela 6.13 Wyniki kalibracji wartości współczynników definiujących przebieg reakcji biochemicznych w modelu jakości Biebrzy Dolnej (dla kampanii pomiarowych 2007-2008)

Opis funkcji współczynnika	Wartość	Jednostka	Symbol	Opis współczynnika	Wartość	Jednostka	Symbol	Opis współczynnika	Wartość	Jednostka	Symbol	Opis współczynnika	Wartość	Jednostka	Symbol
Utlenianie związków węgla	2,69	$\frac{g O_2}{g C}$	r_{oc}	Minimalna zawartość azotu w komórkach glonów bentosowych	0,72	$\frac{mg N}{mg A}$	q_{0N}	Stala promieniowania słonecznego docierającego do fitoplanktonu	100	$\frac{langley}{doba}$	K_{Lp}				
Nitryfikacja NH ₄	4,57	$\frac{g O_2}{g N}$	r_{on}	Minimalna zawartość fosforu w komórkach glonów bentosowych	0,1	$\frac{mg P}{mg A}$	q_{0P}	Maksymalne zagęszczenie glonów bentosowych na dnie cieku	1000	$\frac{mg A}{m^2}$	$a_{b,max}$				
Inhibicja utleniania związków węgla na skutek niskiego stężenia tlenu w wodzie	0,6	$\frac{dm^3}{mg O_2}$	K_{soct}	Preferencja azotu amonowego jako substratu w przebiegu fotosyntezy glonów bentosowych	25	$\frac{\mu g N}{dm^3}$	k_{pmxb}	Preferencja azotu amonowego jako substratu w przebiegu procesu fotosyntezy fitoplanktonu	25	$\frac{\mu g N}{dm^3}$	k_{fmaxp}				
Inhibicja nitryfikacji na skutek niskiego stężenia tlenu w wodzie	0,6	$\frac{dm^3}{mg O_2}$	K_{sona}	Maksymalne tempo poboru azotu przez glony bentosowe	72	$\frac{mg N}{mg A \cdot doba}$	ρ_{miN}	Wpływ detrytus na ekstynkcję promieniowania słonecznego	0,174	$\frac{1}{m} - \frac{mg D}{dm^3}$	α_O				
Inhibicja oddychania fitoplanktonu na skutek niskiego stężenia tlenu w wodzie	0,6	$\frac{dm^3}{mg O_2}$	K_{sosp}	Stala połowicznego nasycenia węglem nieorganicznym w komórkach fitoplanktonu	1,30E-05	$\frac{moli}{dm^3}$	K_{sCb}	Stala połowicznego nasycenia azotem pozakomórkowym w komórkach glonów bentosowych	300	$\frac{\mu g N}{dm^3}$	K_{sPb}				
Kataliza denitryfikacji na skutek niskiego stężenia tlenu w wodzie	0,6	$\frac{dm^3}{mg O_2}$	K_{sodn}	Stala promieniowania słonecznego docierającego do glonów bentosowych	100	$\frac{langley}{doba}$	K_{Lb}	Ekstynkcja promieniowania słonecznego w wodzie w zależności od jej koloru	0,2	$\frac{1}{m}$	k_{eb}				
Kataliza oddychania glonów bentosowych na skutek wysokiego stężenia tlenu w wodzie	0,6	$\frac{dm^3}{mg O_2}$	K_{sob}	Stala połowicznego nasycenia fosforem wewnątrzkomórkowym w komórkach glonów bentosowych	0,13	$\frac{mg P}{mg A}$	K_{qP}	Stala połowicznego nasycenia fosforem pozakomórkowym w komórkach glonów bentosowych	100	$\frac{\mu g P}{dm^3}$	K_{sNb}				
Stala połowicznego nasycenia tlenem przy zaniku tlenu w wierzchniej warstwie osadów dennych	0,05	$\frac{mg O_2}{dm^3}$	k_{spi}	Stala połowicznego nasycenia azotem wewnątrzkomórkowym w komórkach glonów bentosowych	0,9	$\frac{mg N}{mg A}$	K_{qN}	Nieliniowy wpływ chlorofilu na ekstynkcję promieniowania słonecznego	0,054	$\frac{1}{m} - \left(\frac{\mu g A}{dm^3} \right)^{2/3}$	α_{pn}				
Stala połowicznego nasycenia azotem w komórkach fitoplanktonu	25	$\frac{\mu g N}{dm^3}$	k_{sfp}	Stężenie ditlenku węgla w atmosferze (lipiec i wrzesień 2007)	384	ppm	ρ_{CO2}	Promieniowanie słoneczne dostępne w procesie fotosyntezy	0,47	-	-				
Stala połowicznego nasycenia fosforem w komórkach fitoplanktonu	5	$\frac{\mu g P}{dm^3}$	k_{sfp}	Stężenie ditlenku węgla w atmosferze (lipiec 2008)	386	ppm	ρ_{CO2}	Maksymalne tempo poboru fosforu przez glony bentosowe	5	$\frac{mg P}{mg A \cdot doba}$	ρ_{miP}				
Stala połowicznego nasycenia węglem nieorganicznym w komórkach fitoplanktonu	1,30E-05	$\frac{moli}{dm^3}$	k_{sfp}	Linijowy wpływ chlorofilu na ekstynkcję promieniowania słonecznego	0,0088	$\frac{1}{m} - \frac{\mu g A}{dm^3}$	α_p								

Tabela 6.14 Wyniki kalibracji stężeń parametrów jakościowych w przepływach obszarowych pomiędzy mokradłami a korytem Biebrzy Dolnej (wartości średnie dla całych odcinków)

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data symulacji poboru próbek wody komputerowej oraz	Kilometr biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]		Przepływ obszarowy		Stężenia parametrów jakościowych wód powierzchniowych											Emisja z osadów dennych Biebrzy fosforu mineralnego [mg P·m ⁻² ·doba ⁻¹]	Część powierzchni dna Biebrzy generująca zapotrzebowanie osadów w tlen [% powierzchni dna]	Pokrycie dna Biebrzy glonami bentosowymi [% powierzchni dna]
			Od	Do	Dopływ do rzeki [m ³ ·s ⁻¹]	Odpływ z rzeki [m ³ ·s ⁻¹]	Azot organiczny [mg N·dm ⁻³]	Azot amonowy [mg N·dm ⁻³]	Azot azotanowy(V) [mg N·dm ⁻³]	Azot ogólny [mg N·dm ⁻³]	Fosfor organiczny [mg P·dm ⁻³]	Fosfor mineralny [mg P·dm ⁻³]	Fosfor ogólny [mg P·dm ⁻³]	Chlorofil a [µg A·dm ⁻³]	Tlen rozpuszczony [mg O ₂ ·dm ⁻³]	Zasadowość [mg CaCO ₃ ·dm ⁻³]	Odczyn			
Od BD_00_M Do BD_03_M	2,941	25.09.2007 23.07.2008	50,702	47,761	-	0,444	1,15	0,060	0,189	1,40	0,026	0,028	0,054	2,4	8,8	219	7,8	21	50	50
Od BD_03_M Do BD_05_M	5,122	25.09.2007 23.07.2008	47,761	42,639	-	2,363	0,90	0,082	0,190	1,17	0,023	0,032	0,055	2,3	8,5	214	7,9	71	50	50
Od BD_05_M Do BD_06_M	4,065	25.09.2007 23.07.2008	42,639	38,574	1,836	-	3,00	0,076	0,190	3,27	0,200	0,033	0,233	2,0	8,5	260	7,2	121	50	50
Od BD_06_M Do BD_07_M	2,804	25.09.2007 23.07.2008	38,574	35,770	0,052	-	7,00	0,450	0,133	7,58	0,230	0,096	0,326	13,0	7,7	240	6,7	192	25	75
Od BD_07_M Do BD_08_M	3,171	25.09.2007 23.07.2008	35,770	32,599	0,442	-	6,00	0,074	0,182	6,26	0,250	0,034	0,284	2,0	8,4	240	6,9	111	50	50
Od BD_08_M Do BD_09_M	2,356	25.09.2007 23.07.2008	32,599	30,243	0,379	-	6,50	0,400	0,135	7,04	0,170	0,089	0,259	14,0	7,8	290	7,0	172	15	85
Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649	25.09.2007 23.07.2008	30,243	22,594	-	0,271	0,90	0,073	0,170	1,14	0,037	0,035	0,072	2,0	8,3	218	7,7	101	50	50
Od BD_11_M Do BD_13_M	2,686	25.09.2007 23.07.2008	22,594	19,908	-	0,025	0,72	0,110	0,140	0,97	0,020	0,070	0,090	5,3	7,9	218	7,9	151	20	80
Od BD_13_M Do BD_14_M	3,955	25.09.2007 23.07.2008	19,908	15,953	-	0,751	0,85	0,070	0,167	1,09	0,034	0,037	0,071	2,0	8,3	218	7,7	101	50	50
Od BD_14_M Do BD_15_M	2,515	25.09.2007 23.07.2008	15,953	13,438	0,677	-	8,00	0,600	0,145	8,74	0,480	0,107	0,587	15,0	7,6	300	7,3	141	25	75
Od BD_15_M Do BD_16_M	2,882	25.09.2007 23.07.2008	13,438	10,556	-	0,454	0,80	0,065	0,171	1,04	0,030	0,038	0,068	1,9	8,2	220	7,8	91	50	50
					-	1,272	0,78	0,084	0,140	1,00	0,030	0,064	0,094	6,1	8,0	227	7,9	131	35	65
					0,560	-	11,0	0,052	0,182	11,23	0,450	0,038	0,488	32,0	7,9	210	6,8	31	50	50
					0,435	-	6,50	0,750	0,142	7,39	0,250	0,101	0,351	15,0	7,8	240	7,5	131	30	70
					-	0,985	0,95	0,049	0,189	1,19	0,036	0,037	0,073	2,3	8,2	223	7,7	31	50	50
					0,314	-	6,00	0,800	0,152	6,95	0,250	0,098	0,348	20,0	7,9	240	7,5	151	35	65
					1,347	-	1,40	0,350	0,180	1,93	0,035	0,037	0,072	14,0	8,2	250	8,5	101	60	40
					0,127	-	5,00	0,750	0,167	5,92	0,200	0,091	0,291	30,0	8,0	210	6,6	121	45	55
					-	0,886	0,85	0,055	0,176	1,08	0,032	0,038	0,070	3,2	8,2	224	7,8	121	60	40
					0,064	-	15,0	2,100	0,178	17,28	1,200	0,158	1,358	35,0	8,2	210	6,3	101	45	55

Tabela 6.15 Wyniki kalibracji stężeń parametrów jakościowych w przepływach obszarowych pomiędzy mokradłami a korytem Biebrzy Dolnej (wartości średnie dla całych odcinków)

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data symulacji komputerowej oraz poboru próbek wody	Kilometr biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]		Przeptyw obszarowy		Stężenia parametrów jakościowych wód powierzchniowych										Emisja z osadów dennych Biebrzy fosforu mineralnego [mg P·m ⁻² ·doba ⁻¹]	Część powierzchni Biebrzy generująca zapotrzebowanie osadów [ten % powierzchni dna]	Pokrycie dna Biebrzy glonami bentosowymi [% powierzchni dna]	
			Od	Do	Dopływ do rzeki [m ³ ·s ⁻¹]	Odpływ z rzeki [m ³ ·s ⁻¹]	Azot organiczny [mg N·dm ⁻³]	Azot amonowy [mg N·dm ⁻³]	Azot azotanowy(V) [mg N·dm ⁻³]	Azot ogólny [mg N·dm ⁻³]	Fosfor organiczny [mg P·dm ⁻³]	Fosfor mineralny [mg P·dm ⁻³]	Fosfor ogólny [mg P·dm ⁻³]	Chlorofil a [µg A·dm ⁻³]	Tlen rozpuszczony [mg O ₂ ·dm ⁻³]	Zasadowość [mg CaCO ₃ ·dm ⁻³]				Odczyn
Od BD_16_M Do BD_17_M	2,261	25.09.2007 23.07.2008	10,556	8,295	0,463	-	2,50	0,045	0,165	2,71	0,250	0,037	0,287	3,0	9,0	170	6,8	21	60	40
Od BD_17_M Do BD_18_M	2,807	25.09.2007 23.07.2008	8,295	5,488	0,750	-	2,50	0,048	0,850	3,40	0,220	0,035	0,255	3,0	9,0	160	6,7	21	70	30
Od BD_18_M Do BD_19_M	2,236	25.09.2007 23.07.2008	5,488	3,252	-	0,653	0,85	0,051	0,183	1,08	0,037	0,034	0,071	3,1	8,6	221	7,8	101	70	30
Od BD_00_M Do BD_05_M	8,063		50,702	42,639	-	4,873	2,00	0,180	0,116	2,30	0,073	0,072	0,145	2,7	3,5	240	7,5	233	50	50
Od BD_05_M Do BD_07_M	6,869		42,639	35,770	2,584	-	8,50	0,200	0,108	8,81	0,450	0,059	0,509	1,5	3,7	290	6,9	54	50	50
Od BD_07_M Do BD_09_M	5,527		35,770	30,243	-	0,512	2,20	0,150	0,105	2,45	0,094	0,074	0,168	2,9	3,8	237	7,5	94	40	60
Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649		30,243	22,594	-	0,358	1,90	0,160	0,103	2,16	0,078	0,076	0,154	2,4	4,1	238	7,6	163	40	60
Od BD_11_M Do BD_14_M	6,641	29.07.2007	22,594	19,908	1,807	-	1,50	0,700	0,118	2,32	0,140	0,053	0,193	4,9	4,3	290	7,5	53	50	50
Od BD_14_M Do BD_16_M	5,397		19,908	17,000	-	4,364	1,40	0,350	0,102	1,85	0,063	0,077	0,140	2,2	4,7	242	7,6	63	60	40
Od BD_16_M Do BD_19_M	7,304		17,000	15,953	1,800	-	1,00	0,330	0,102	1,43	0,080	0,054	0,134	5,3	4,7	270	8,1	112	55	45
			15,953	13,438	1,526	-	2,50	0,310	0,117	2,93	0,180	0,052	0,232	5,5	4,6	185	7,8	63	60	40
			13,438	10,556	-	1,891	1,20	0,260	0,134	1,59	0,057	0,068	0,125	3,1	4,6	239	7,7	112	55	45
			10,556	8,295	0,188	-	7,00	0,210	0,122	7,33	0,400	0,061	0,461	1,2	4,7	250	7,0	112	55	45
			8,295	5,488	0,305	-	80,0	0,215	0,110	80,33	0,850	0,120	0,970	1,1	4,9	280	6,8	112	55	45
			5,488	3,252	-	0,225	2,00	0,230	0,105	2,33	0,059	0,071	0,130	3,5	5,0	240	7,7	112	55	45

Tabela 6.16 Dobowe ładunki składników wód powierzchniowych transportowanych obszarowo pomiędzy mokradłami a Biebrzą Dolną w kampaniach pomiarowych 2007-2008

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data symulacji poboru próbek wody komputerowej oraz	Kilometr biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]		Przepływ obszarowy		Ładunek dobowy z przepływów obszarowych										Ładunek dobowy fosforu mineralnego z osadów		
			Od	Do	Dopływ do rzeki [m ³ ·s ⁻¹]	Odpływ z rzeki [m ³ ·s ⁻¹]	Azot organiczny [kg N·doba ⁻¹]	Azot amonowy [kg N·doba ⁻¹]	Azot azotanowy(V) [kg N·doba ⁻¹]	Azot ogólny [kg N·doba ⁻¹]	Fosfor organiczny [kg P·doba ⁻¹]	Fosfor mineralny [kg P·doba ⁻¹]	Fosfor ogólny [kg P·doba ⁻¹]	Chlorofil a [kg A·doba ⁻¹]	Tlen rozpuszczony [kg O ₂ ·doba ⁻¹]	Zasadowość [kg CaCO ₃ ·doba ⁻¹]	Powierzchnia całkowita dna Biebrzy [m ²]	Część dna emitująca fosforany(V) [% powierzchni dna]	Ładunek dobowy [kg P·doba ⁻¹]
Od BD_00_M	2,941	25.09.2007	50,702	47,761	0,844	-	44,1	2,3	7,2	53,6	1,0	1,1	2,1	0,09	338	8 401	46 321	50	0,49
Do BD_03_M		23.07.2008																	
Od BD_03_M	5,122	25.09.2007	47,761	42,639	-	-	184	16,7	38,8	239	4,7	6,5	11,2	0,47	1735	43 691	108 842	50	3,86
Do BD_05_M		23.07.2008																	
Od BD_05_M	4,065	25.09.2007	42,639	38,574	1,836	-	476	12,1	30,1	518	31,7	5,2	36,9	0,32	1348	41 243	67 072	50	4,06
Do BD_06_M		23.07.2008																	
Od BD_06_M	2,804	25.09.2007	38,574	35,770	0,442	-	229	2,8	6,9	239	9,5	1,3	10,8	0,08	321	9 165	51 173	50	2,84
Do BD_07_M		23.07.2008																	
Od BD_07_M	3,171	25.09.2007	35,770	32,599	-	-	21,1	1,7	4,0	26,8	0,87	0,82	1,7	0,05	194	5 104	78 482	50	3,96
Do BD_08_M		23.07.2008																	
Od BD_08_M	2,356	25.09.2007	32,599	30,243	0,677	-	55,1	4,5	10,8	70,4	2,2	2,4	4,6	0,13	539	14 145	59 489	50	3,00
Do BD_09_M		23.07.2008																	
Od BD_09_M	7,649	25.09.2007	30,243	22,594	-	-	31,4	2,5	6,7	40,6	1,2	1,5	2,7	0,07	322	8 630	156 804	50	7,13
Do BD_11_M		23.07.2008																	
Od BD_11_M	2,686	25.09.2007	22,594	19,908	0,560	-	532	2,5	8,8	543	21,8	1,8	23,6	1,50	382	10 161	51 705	50	0,80
Do BD_13_M		23.07.2008																	
Od BD_13_M	3,955	25.09.2007	19,908	15,953	-	-	80,8	4,17	16,1	101	3,1	3,1	6,2	0,20	698	18 978	62 291	50	0,96
Do BD_14_M		23.07.2008																	
Od BD_14_M	2,515	25.09.2007	15,953	13,438	1,347	-	163	40,7	20,9	225	4,1	4,3	8,4	1,60	954	29 095	57 216	40	2,31
Do BD_15_M		23.07.2008																	
Od BD_15_M	2,882	25.09.2007	13,438	10,556	-	0,886	65,1	4,2	13,5	82,8	2,4	2,9	5,3	0,24	628	17 147	87 901	40	4,25
Do BD_16_M		23.07.2008																	

Tabela 6.17 Dobowe ładunki składników wód powierzchniowych transportowanych obszarowo pomiędzy mokradłami a Biebrzą Dolną w kampaniach pomiarowych 2007-2008

Odcinek Biebrzy	Długość odcinka [km]	Data symulacji poboru próbek wody komputerowej oraz	Kilometr biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [km]		Przeptyw obszarowy		Ładunek dobowy z przepływów obszarowych										Ładunek dobowy fosforu mineralnego z osadów		
			Od	Do	Dopływ do rzeki [m ³ ·s ⁻¹]	Odpływ z rzeki [m ³ ·s ⁻¹]	Azot organiczny [kg N·doba ⁻¹]	Azot amonowy [kg N·doba ⁻¹]	Azot azotanowy(V) [kg N·doba ⁻¹]	Azot ogólny [kg N·doba ⁻¹]	Fosfor organiczny [kg P·doba ⁻¹]	Fosfor mineralny [kg P·doba ⁻¹]	Fosfor ogólny [kg P·doba ⁻¹]	Chlorofil a [kg A·doba ⁻¹]	Tlen rozpuszczony [kg O ₂ ·doba ⁻¹]	Zasadowość [kg CaCO ₃ ·doba ⁻¹]	Powierzchnia całkowita dna Biebrzy [m ²]	Część dna emitująca fosfor(V) [% powierzchni dna]	Ładunek dobowy [kg P·doba ⁻¹]
Od BD_16_M Do BD_17_M	2,261	25.09.2007 23.07.2008	10,556	8,295	0,463	-	100	1,8	6,6	108	10	1,5	11,5	0,12	360	6 800	50 872	40	0,43
Od BD_17_M Do BD_18_M	2,807	25.09.2007 23.07.2008	8,295	5,488	0,750	-	162	3,1	55,1	220	14,3	2,3	16,6	0,19	583	10 368	44 912	30	0,28
Od BD_18_M Do BD_19_M	2,236	25.09.2007 23.07.2008	5,488	3,252	-	0,653	48	2,9	10,3	61,2	2,1	1,9	4,0	0,17	485	12 469	34 099	30	1,03
Od BD_00_M Do BD_05_M	8,063	29.07.2007	50,702	42,639	-	4,873	842	75,8	48,8	967	30,7	30,3	61	1,14	1 474	101 046	82 646	50	9,63
Od BD_05_M Do BD_07_M	6,869		42,639	35,770	2,584	-	1 898	44,6	24,1	1967	100	13,2	113,2	0,33	826	64 745	120 207	50	3,25
Od BD_07_M Do BD_09_M	5,527		35,770	30,243	-	0,512	97,3	6,6	4,6	108	4,2	3,3	7,5	0,13	168	10 484	116 067	40	4,36
Od BD_09_M Do BD_11_M	7,649		30,243	22,594	-	0,358	58,8	4,9	3,2	66,9	2,4	2,3	4,7	0,07	127	7 362	151 068	40	9,85
Od BD_11_M Do BD_14_M	6,641		22,594	19,908	1,807	-	234	109	18,4	361	21,9	8,3	30,2	0,76	671	45 276	104 596	50	2,77
Od BD_14_M Do BD_16_M	5,397		19,908	17,000	-	4,364	528	132	38,4	698	23,7	29	52,7	0,83	1 772	91 246			
Od BD_16_M Do BD_19_M	7,304		17,000	15,953	1,800	-	155	51,3	15,9	222	12,4	8,4	20,8	0,82	731	41 990	107 940	60	4,08
			15,953	13,438	1,526	-	330	40,9	15,4	386	23,7	6,9	30,6	0,72	606	24 392	155 210	55	9,56
			13,438	10,556	-	1,891	196	42,5	21,9	260	9,3	11,1	20,4	0,27	752	39 048			
			10,556	8,295	0,188	-	114	3,4	2,0	119	6,5	0,99	7,5	0,02	76,3	4 061	155 210	55	9,56
		8,295	5,488	0,305	-	2108	5,7	2,9	2117	22,4	3,2	25,6	0,03	129	7 379				
		5,488	3,252	-	0,225	38,9	4,5	2,0	45,4	1,1	1,4	2,5	0,07	97	4 666				

Tabela 6.18 Dobowe ładunki składników wód powierzchniowych zasilające punktowo Biebrzę Dolną w poszczególnych kampaniach pomiarowych 2007-2008

Dopływ punktowy Biebrzy Dolnej	Data symulacji! komputerowej oraz poboru próbek wody	Ujście do Biebrzy Dolnej (kilometr biegu Narwi) [km]	Przepływ [m ³ ·s ⁻¹]	Ładunek dobowy											
				Azot organiczny [kg N·doba ⁻¹]	Azot amonowy [kg N·doba ⁻¹]	Azot Kjeldahla [kg N·doba ⁻¹]	Azot azotanowy(V) [kg N·doba ⁻¹]	Azot azotanowy(III) [kg N·doba ⁻¹]	Azot ogólny [kg N·doba ⁻¹]	Fosfor organiczny [kg P·doba ⁻¹]	Fosfor mineralny [kg P·doba ⁻¹]	Fosfor ogólny [kg P·doba ⁻¹]	Chlorofil a [kg A·doba ⁻¹]	Tlen rozpuszczony [kg O ₂ ·doba ⁻¹]	Zasadowość [kg CaCO ₃ ·doba ⁻¹]
Ujście Biebrzy Środkowej (początek Biebrzy Dolnej)	29.07.2007	50,702	18,867	3912	228	4140	163	3,3	4306	122	106	228	2,9	3912	399 377
	25.09.2007		13,205	1483	45,6	1529	217	3,4	1749	26,2	27,4	53,6	2,9	9812	256 705
	23.07.2008		8,368	622	43,4	665	108	3,6	777	24,6	35,4	60	3,7	5422	166 289
Kanał Rudzki	29.07.2007	50,353	4,176	758	61,3	819	112	1,8	933	50,5	28,1	78,6	1,2	2562	68 553
	25.09.2007		7,877	483	47,6	531	122	2,0	655	25,9	28,6	54,5	1,6	6602	133 392
	23.07.2008		4,165	234	46,8	281	54	1,8	337	14	34,2	48,2	0,87	2951	78 089
Klimaszewnica	29.07.2007	40,500	0,090	16,3	1,9	18,2	4,3	0,22	22,7	0,66	0,43	1,1	0,04	51,3	1952
	25.09.2007		0,225	21,4	2,1	23,5	11,3	0,37	35,2	0,70	0,82	1,5	0,04	167	4704
	23.07.2008		0,055	5,6	0,57	6,2	1,8	0,14	8,1	0,26	0,23	0,5	0,04	34,2	1117
Kosódka	29.07.2007	24,180	0,556	72,1	8,6	80,7	4,8	0,14	85,6	2,0	3,3	5,3	0,09	125	11 865
	25.09.2007		0,463	37,2	2,8	40	4	0,08	44,1	1,6	1,2	2,8	0,58	276	8761
	23.07.2008		0,053	9,6	0,5	10,1	0,46	0,01	10,6	0,53	0,10	0,63	0,15	21,1	1594
Wissa	29.07.2007	22,775	1,396	78,4	42,2	120,6	67,5	0,72	189	5,4	9	14,4	0,29	748	30 998
	25.09.2007		1,703	94,2	10,3	104,5	76,5	0,59	182	4,3	6,8	11,1	0,19	1295	43 259
	23.07.2008		0,776	32,8	6,7	39,5	34,2	0,33	74	2,5	4,6	7,1	0,14	617	18 102

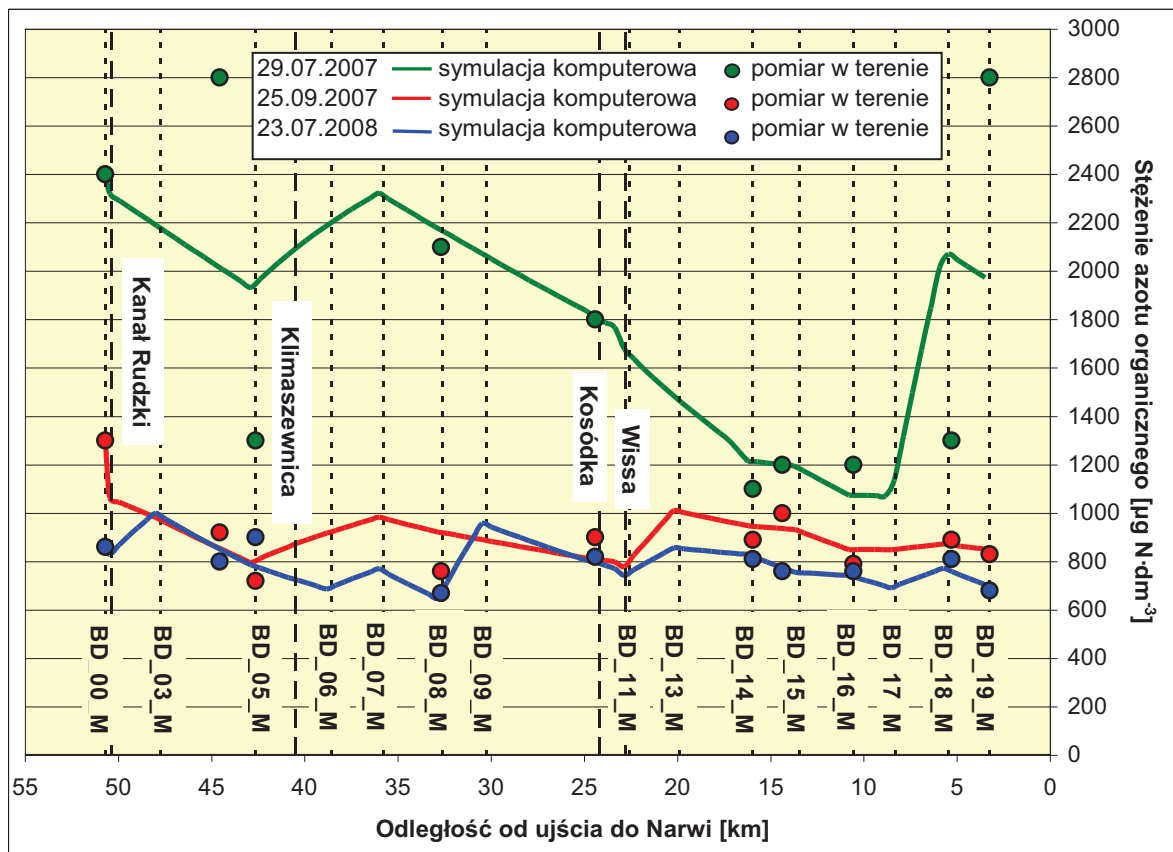
ze ścieków bytowych, gdyż wyniki całorocznego monitoringu IOŚ (przedstawione w Rozdziale 3) wykazały wyraźnie, że tego typu zanieczyszczenia, ze względu na bardzo niskie stężenia mieszczące się w I klasie czystości, nie wpływają w sposób istotny na stan jakości wód Biebrzy Dolnej, co potwierdziły wyniki najnowszych, niezależnych badań naukowych (Kardel et al. 2007).

Ponadto względy czysto techniczne uniemożliwiały aplikację w modelu QUAL2K polskich wskaźników BZT₅, ChZT-Mn oraz ChZT-Cr, gdyż zamiast nich amerykańscy konstruktorzy programu zastosowali wskaźniki, których przełożenie na polskie realia nastręczało wiele trudności oraz zdecydowanie zmniejszyło poziom zaufania do ostatecznych wyników symulacji. Zamiast modelować BZT₅ zastosowano rozwiązanie holistyczne, tzn. symulację stężeń związków organicznych, zarówno szybko jak i wolno ulegających biodegradacji, poprzez symulację stężeń azotu organicznego oraz fosforu organicznego – głównych składników materii organicznej transportowanej w znacznych ilościach korytem Biebrzy.

6.3.16.1 Azot organiczny

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia azotu organicznego w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1,1 do 2,8 mg N·dm⁻³ (średnio 1,8 mg N·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 0,72 do 1,3 mg N·dm⁻³ (średnio 0,9 mg N·dm⁻³) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,67 do 0,90 mg N·dm⁻³ (średnio 0,8 mg N·dm⁻³). Najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2007 r., przy czym zaznaczyć trzeba, że na obszarach mokradłowych stężenia azotu organicznego rzędu kilku mg N·dm⁻³ mieszczą się w granicach stężeń nie wykazujących zanieczyszczenia antropogenicznego wód powierzchniowych (Dojlido 1995). Zauważyć można, iż w przypadku września 2007 r. oraz lipca 2008 r. stężenie azotu organicznego w Biebrzy wykazuje na całym odcinku rzeki pewną stabilność oscylując w przedziale od 0,6 do 1 mg N·dm⁻³, natomiast w lipcu 2007 r. zaznaczają się znaczne jego amplitudy, wynoszące nawet 1,5 mg N·dm⁻³ na odcinku o długości zaledwie 3 km.

Stężenia azotu organicznego w stosunku do azotu ogólnego w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 69% do 91% (średnio 83%), w dniu 25.09.2007 r. od 73% do 85% (średnio 79%) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 67% do 80% (średnio 76%). Wskazuje to wyraźnie, że w sezonie wegetacyjnym w Biebrzy dominuje organiczna forma azotu, co jest zjawiskiem jak najbardziej naturalnym dla wód powierzchniowych (Kajak 1994). Dobowy ładunek azotu organicznego przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 20,4 g N·s⁻¹ (1761 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 6,1 g N·s⁻¹ (530 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 2,8 g N·s⁻¹ (245 kg N·doba⁻¹). Największy dobowy ładunek azotu organicznego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych przepływów obszarowych.



Rys. 6.26 Rozkład stężeń azotu organicznego na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia azotu organicznego zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,65 do 2,1 mg N·dm⁻³, w dniu 25.09.2007 r. od 0,64 do 1,1 mg N·dm⁻³ i w dniu 23.07.2008 r. od 0,49 do 2,1 mg N·dm⁻³. We wszystkich trzech kampaniach pomiarowych najwyższe stężenia zanotowano w Klimaszewnicy oraz w Kosódce, najniższe w Wissie. We wszystkich kampaniach pomiarowych dopływy punktowe Biebrzy, w szczególności Kanał Rudzki oraz Wissa, wpływały pozytywnie na jakość wód Biebrzy obniżając stężenie azotu organicznego poniżej swoich ujść. Dobowy ładunek azotu organicznego przedostającego się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 10,7 g N·s⁻¹ (924 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 7,4 g N·s⁻¹ (636 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 3,3 g N·s⁻¹ (282 kg N·doba⁻¹). Największy ładunek azotu organicznego zanotowano w lipcu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., czyli proporcjonalnie do wielkości przepływu w ujściowych odcinkach dopływów Biebrzy.

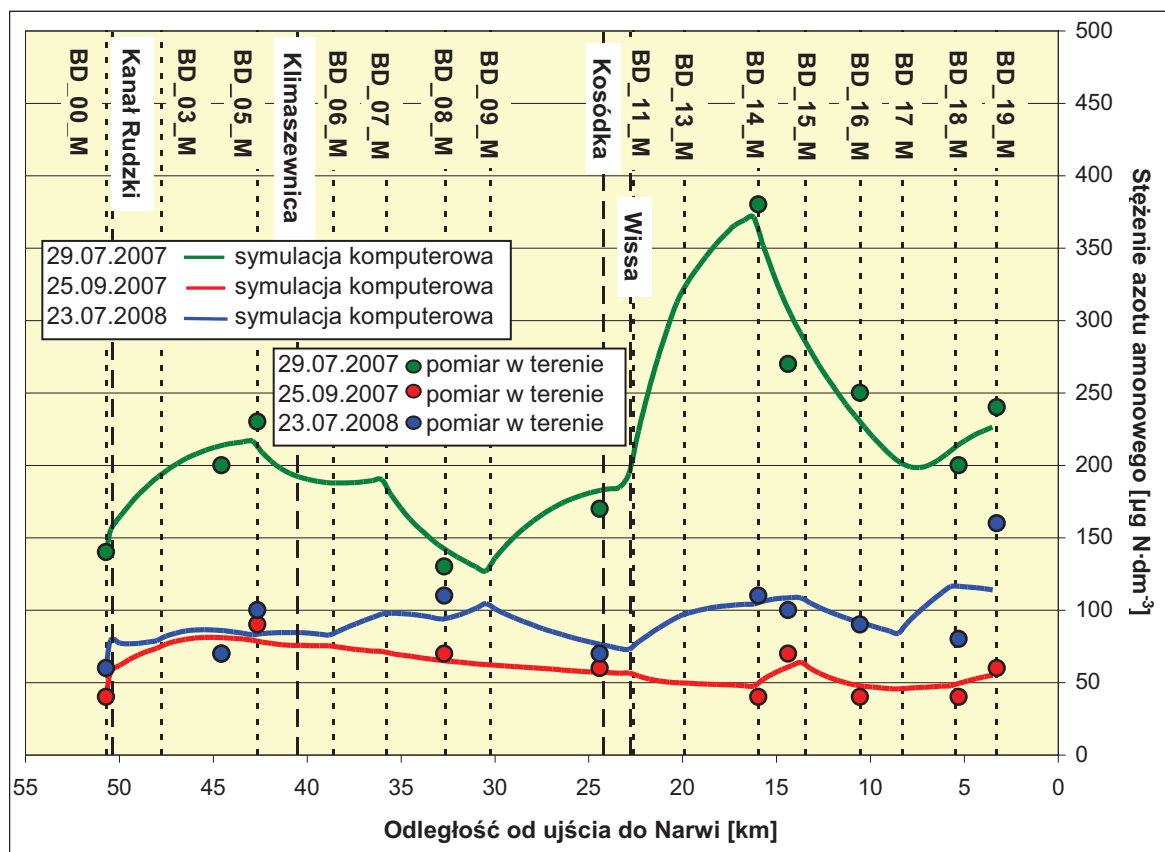
Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały jednoznacznie, że stężenia azotu organicznego w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego znacznie przekraczały stężenia tego parametru oznaczone w Biebrzy i wynosiły na poszczególnych odcinkach

koryta odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1 do 8,5 mg N·dm⁻³ (średnio dla każdego odcinka 4,1 mg N·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 1,4 do 6 mg N·dm⁻³ (średnio 3,1 mg N·dm⁻³) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 5 do 8 mg N·dm⁻³ (średnio 6,6 mg N·dm⁻³). Na niektórych odcinkach Biebrzy, tj. od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2007 r., stężenie 80 mg N·dm⁻³), od 22,6 do 19,9 km biegu (wrzesień 2007 r., stężenie 11 mg N·dm⁻³) oraz od 13,4 do 10,5 km biegu i od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2008 r., stężenia odpowiednio: 15 mg N·dm⁻³ i 10 mg N·dm⁻³) zanotowano znacznie wyższe od średniej stężenia azotu organicznego w wodzie. W przypadku odcinka od 8,3 do 5,5 km biegu Biebrzy nadmierne ilości azotu organicznego mogą mieć pochodzenie antropogeniczne, tzn. ich źródłem są najprawdopodobniej zabudowania gospodarskie wsi Rutkowskie zlokalizowanej tuż nad samym prawym brzegiem rzeki, tj. od 6,6 do 5,3 km jej biegu. Świadczą o tym nie tylko wysokie stężenia azotu organicznego w wodzie, ale również zachwiana proporcja N:P, co wskazuje na zanieczyszczenie ściekami bytowymi i/lub pochodzącymi z chowu zwierząt (gnojowica). W pozostałych przypadkach, tj. na odcinkach od 22,5 do 19,9 km biegu oraz od 13,4 do 10,5 km biegu Biebrzy podwyższone stężenia azotu organicznego w dopływach obszarowych mają najprawdopodobniej charakter naturalny i wskazują na intensywniejszy niż gdzie indziej przebieg procesu wyłukiwania materii organicznej z torfów.

Najwyższe średnie stężenie azotu organicznego zanotowano w lipcu 2008 r., co wskazuje że przy niskich stanach wody na Biebrzy, czyli w tzw. „suchym” roku, nasila się zjawisko wysychania torfowisk i uwalniania z nich azotu będącego głównym składnikiem budulcowym torfu. Dobowy ładunek azotu organicznego przedostającego się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 56 g N·s⁻¹ (4838 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 19,2 g N·s⁻¹ (1662 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 23 g N·s⁻¹ (1988 kg N·doba⁻¹). Największy ładunek azotu organicznego zanotowano w lipcu 2007 r., kiedy to sumaryczny dopływ obszarowy do koryta Biebrzy na całym odcinku Basenu Dolnego wynosił 8,21 m³·s⁻¹ (709 344 m³·doba⁻¹). Pomimo wysokich stężeń azotu organicznego w lipcu 2008 r. ładunek dobowy z tego okresu, ze względu na niewielki sumaryczny przepływ obszarowy z mokradeł (wynoszący na całym odcinku Basenu Dolnego 3,15 m³·s⁻¹ = 272 160 m³·doba⁻¹) był porównywalny z wrześniem 2007 r., kiedy to dopływ obszarowy do Biebrzy był znaczny (5,40 m³·s⁻¹ = 466 560 m³·doba⁻¹), ale za to stężenia azotu organicznego niskie.

6.3.16.2 Azot amonowy

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia azotu amonowego w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,13 do 0,38 mg N·dm⁻³ (średnio 0,22 mg N·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 0,04 do 0,09 mg N·dm⁻³ (średnio 0,06 mg N·dm⁻³) i w dniu 23.07.2008 r. od 0,06 do 0,16 mg N·dm⁻³ (średnio 0,10 mg N·dm⁻³). Najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2007 r., najniższe we wrześniu 2007 r., jednak we wszystkich okresach pomiarowych stężenia azotu amonowego klasyfikowały jakość wód



Rys. 6.27 Rozkład stężeń azotu amonowego na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Biebrzy do I klasy czystości. Zauważyć można, iż w przypadku września 2007 r. oraz lipca 2008 r. stężenie azotu amonowego w Biebrzy wykazuje na całym odcinku rzeki pewną stabilność oscylując w przedziale od 0,09 do 0,12 mg N·dm⁻³, natomiast w lipcu 2007 r. zaznaczają się znaczne jego amplitudy, np. stały wzrost stężenia na odcinku od 30 do 16 km biegu rzeki. Dobowy ładunek azotu amonowego przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 3,1 g N·s⁻¹ (266 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 0,45 g N·s⁻¹ (39 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 0,32 g N·s⁻¹ (27,3 kg N·doba⁻¹). Największy dobowy ładunek azotu amonowego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych przepływów obszarowych.

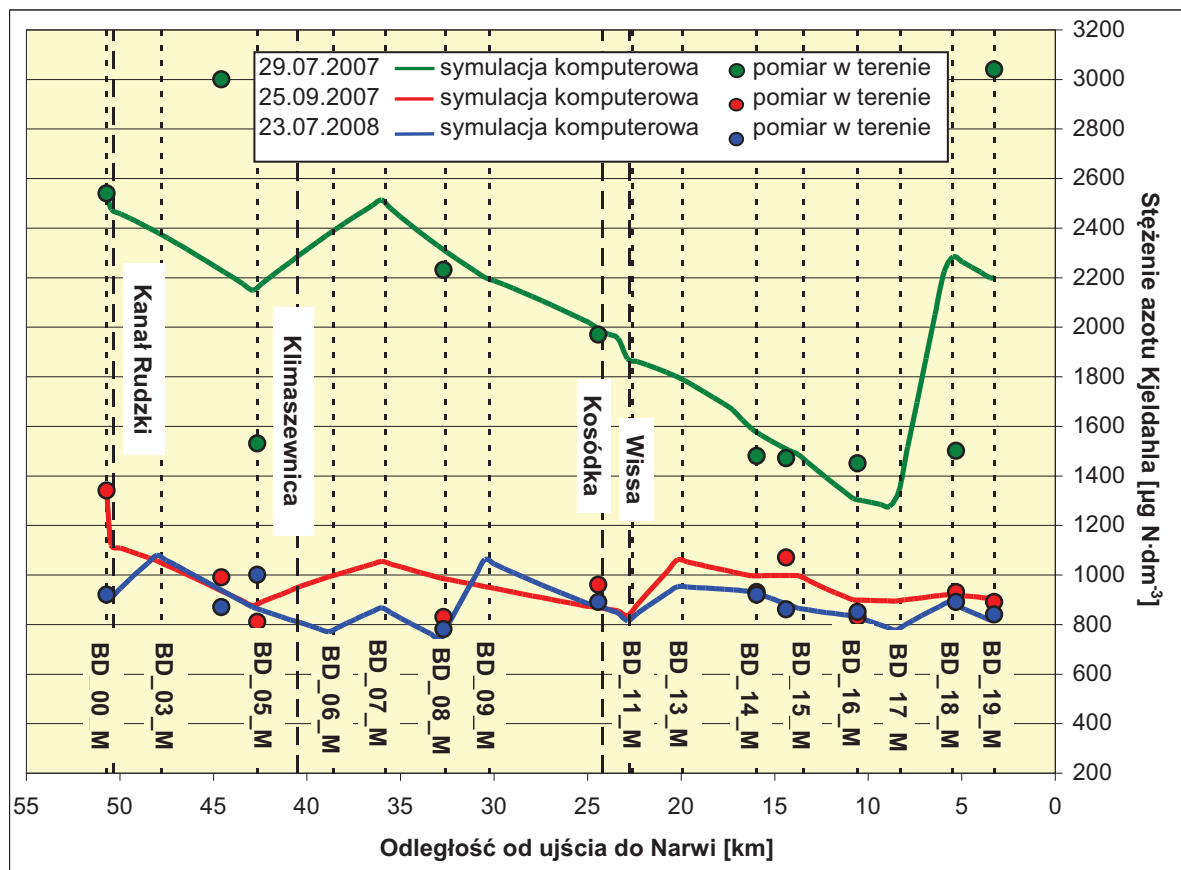
Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia azotu amonowego zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,17 do 0,35 mg N·dm⁻³, w dniu 25.09.2007 r. od 0,07 do 0,11 mg N·dm⁻³ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,10 do 0,13 mg N·dm⁻³. Jednorazowe, najwyższe stężenie zanotowano w lipcu 2007 r. w Wissie, jednak najwyższe średnie stężenie dla wszystkich trzech kampanii pomiarowych występowało w Klimaszewnicy. We wszystkich okresach pomiarowych stężenie azotu amonowego klasyfikowało jakość dopływów Biebrzy do I klasy czystości. We wszystkich kampaniach pomiarowych Kanał Rudzki wpływał

negatywnie na jakość wód Biebrzy nieznacznie podnosząc stężenie azotu amonowego poniżej swojego ujścia. Dobowy ładunek azotu amonowego przedostającego się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $1,3 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($114 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $0,73 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($62,9 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,63 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($54,5 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największy ładunek azotu amonowego zanotowano w lipcu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., czyli proporcjonalnie do wielkości przepływu w ujściowych odcinkach dopływów Biebrzy.

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały, że stężenia azotu amonowego w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego były porównywalne ze stężeniami tego parametru w Biebrzy (jedynie w przypadku lipca 2008 r. były one znacznie wyższe) i wynosiły na poszczególnych odcinkach rzeki odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $0,2$ do $0,33 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio dla każdego odcinka $0,25 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od $0,04$ do $0,08 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $0,06 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od $0,4$ do $0,8 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $0,6 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) kwalifikując jakość wód powierzchniowych do I klasy czystości. Na niektórych odcinkach Biebrzy, tj. od $22,6$ do $19,9 \text{ km}$ biegu (lipiec 2007 r., stężenie $0,7 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$), od $15,9$ do $13,4 \text{ km}$ biegu (wrzesień 2007 r., stężenie $0,35 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz od $13,4$ do $10,5 \text{ km}$ biegu i od $8,3$ do $5,5 \text{ km}$ biegu (lipiec 2008 r., stężenia odpowiednio: $2,1 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $1,7 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ – poniżej II klasy czystości) zanotowano znacznie wyższe od średniej stężenia azotu amonowego w wodzie.

W przypadku odcinków od $15,9$ do $13,4$ oraz od $8,3$ do $5,5 \text{ km}$ biegu Biebrzy nadmierne ilości azotu amonowego mogą mieć pochodzenie antropogeniczne, tzn. ich źródłem są najprawdopodobniej zabudowania gospodarskie wsi Brzostowo (od $15,0$ do $14,4 \text{ km}$ jej biegu) oraz Rutkowskie zlokalizowane tuż nad samym prawym brzegiem rzeki. W pozostałych przypadkach, tj. na odcinkach od $22,5$ do $19,9 \text{ km}$ biegu oraz od $13,4$ do $10,5 \text{ km}$ biegu Biebrzy podwyższone stężenia azotu amonowego w dopływach obszarowych mają najprawdopodobniej charakter naturalny i wynikają z wyższych stężeń azotu organicznego ulegającego hydrolizie. Najwyższe średnie stężenie azotu amonowego zanotowano w lipcu 2008 r., co wynika z notowanych w tym czasie najwyższych stężeń azotu organicznego.

Dobowy ładunek azotu amonowego przedostającego się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $2,9 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($255 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $0,73 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($63,1 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $2,2 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($190 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największy ładunek azotu amonowego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych dopływów obszarowych do koryta rzeki. Ze względu na wysokie stężenia azotu amonowego w lipcu 2008 r. ładunek dobowy z tego okresu był porównywalny z lipcem 2007 r., pomimo niewielkiego przepływu obszarowego z mokradł (wynoszącego 40% przepływu z lipca 2007 r.).



Rys. 6.28 Rozkład stężeń azotu Kjeldahla na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

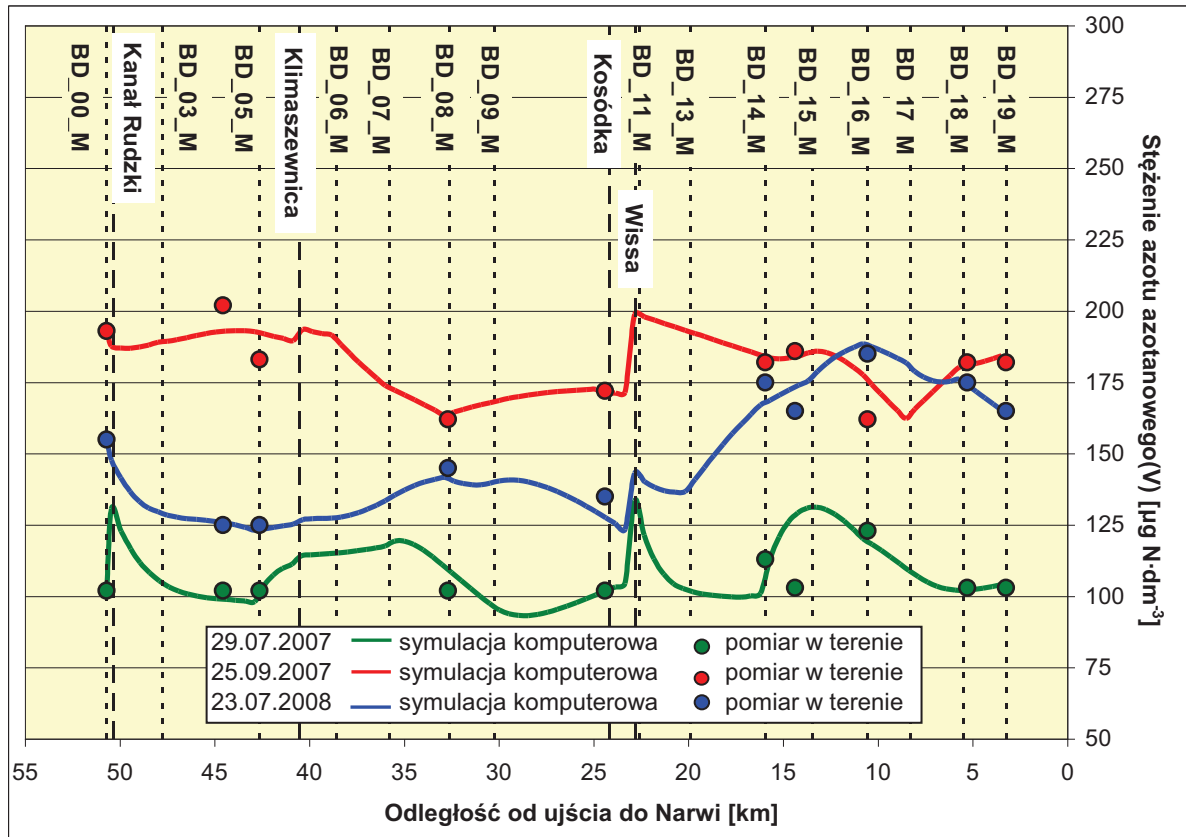
6.3.16.3 Azot Kjeldahla

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia azotu Kjeldahla w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1,4 do 3 mg N·dm⁻³ (średnio 2 mg N·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 0,81 do 1,3 mg N·dm⁻³ (średnio 0,96 mg N·dm⁻³) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,8 do 1 mg N·dm⁻³ (średnio 0,88 mg N·dm⁻³). Najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2007 r. (II klasa czystości lub poniżej II klasy), najniższe w lipcu 2008 r. (I klasa czystości), natomiast we wrześniu 2007 r. jakość wody Biebrzy mieściła się w I lub II klasie czystości. Zauważyć można, iż w przypadku września 2007 r. oraz lipca 2008 r. stężenie azotu Kjeldahla w Biebrzy wykazuje na całym odcinku rzeki pewną stabilność oscylując w przedziale od 0,8 do 1,1 mg N·dm⁻³, natomiast w lipcu 2007 r. zaznaczają się znaczne jego amplitudy, wynoszące nawet 1,5 mg N·dm⁻³ na odcinku o długości zaledwie 3 km. Dobowy ładunek azotu Kjeldahla przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 23,5 g N·s⁻¹ (2027 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 6,5 g N·s⁻¹ (569 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 3,1 g N·s⁻¹ (272 kg N·doba⁻¹). Największy dobowy ładunek azotu Kjeldahla zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody oraz największych przepływów obszarowych.

Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia azotu Kjeldahla zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1 do 2,3 mg N·dm⁻³, w dniu 25.09.2007 r. od 0,71 do 1,2 mg N·dm⁻³ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,59 do 2,2 mg N·dm⁻³. We wszystkich trzech okresach pomiarowych najwyższe stężenia zanotowano w Klimaszewnicy (II lub poniżej II klasy czystości) oraz w Kosódce (II lub poniżej II klasy czystości), natomiast najniższe w Wissie (I klasa czystości). W przypadku Kanału Rudzkiego wysokie stężenia azotu Kjeldahla wystąpiły tylko w lipcu 2007 r. klasyfikując ten ciek poniżej II klasy czystości, w pozostałych okresach pomiarowych należał do I klasy czystości. We wszystkich kampaniach pomiarowych dopływy punktowe Biebrzy, w szczególności Kanał Rudzki oraz Wissa, wpływały pozytywnie na jakość wód Biebrzy nieznacznie obniżając stężenie azotu Kjeldahla poniżej swoich ujść. Dobowy ładunek azotu Kjeldahla przedostającego się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 12 g N·s⁻¹ (1038 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 8,1 g N·s⁻¹ (699 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 3,9 g N·s⁻¹ (336 kg N·doba⁻¹). Największy ładunek azotu Kjeldahla zanotowano w lipcu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., czyli proporcjonalnie do wielkości przepływu w ujściowych odcinkach dopływów punktowych Biebrzy.

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały jednoznacznie, że stężenia azotu Kjeldahla w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego znacznie przekraczały stężenia tego parametru oznaczone w Biebrzy i wynosiły na poszczególnych odcinkach rzeki odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1,3 do 8,7 mg N·dm⁻³ (średnio dla każdego odcinka 4,4 mg N·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 1,7 do 6,1 mg N·dm⁻³ (średnio 3,2 mg N·dm⁻³) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 5,7 do 8,6 mg N·dm⁻³ (średnio 7,2 mg N·dm⁻³). Na niektórych odcinkach Biebrzy, tj. od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2007 r., stężenie 80,2 mg N·dm⁻³), od 22,6 do 19,9 km biegu (wrzesień 2007 r., stężenie 11,1 mg N·dm⁻³) oraz od 13,4 do 10,5 km biegu i od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2008 r., stężenia odpowiednio: 17,1 mg N·dm⁻³ i 11,7 mg N·dm⁻³) zanotowano znacznie wyższe od średniej stężenia azotu Kjeldahla w wodzie. Jest to identyczna sytuacja jak w przypadku azotu organicznego, bowiem stężenie azotu Kjeldahla jest sumą stężeń azotu amonowego oraz organicznego, który był dominującą formą azotu w trakcie pomiarów. W 85% przypadków stężenia azotu Kjeldahla w dopływach obszarowych w poszczególnych kampaniach pomiarowych klasyfikowały jakość wód powierzchniowych poniżej II klasy czystości, pozostałe 15% należało do II klasy.

Najwyższe średnie stężenie azotu Kjeldahla zanotowano w lipcu 2008 r., co wynika z notowanych w tym czasie najwyższych stężeń azotu organicznego. Dobowy ładunek azotu Kjeldahla przedostającego się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 59 g N·s⁻¹ (5094 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 19,9 g N·s⁻¹ (1725 kg



Rys. 6.29 Rozkład stężeń azotu azotanowego(V) na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

$\text{N} \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $25,2 \text{ g N} \cdot \text{s}^{-1}$ ($2178 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$). Największy dobowy ładunek azotu Kjeldahla zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych dopływów obszarowych do koryta rzeki. Ze względu na wysokie stężenia azotu Kjeldahla w lipcu 2008 r. ładunek dobowy z tego okresu był porównywalny z wrześniem 2007 r., pomimo znacznie mniejszego przepływu obszarowego z mokradeł.

6.3.16.4 Azot azotanowy(V)

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia azotu azotanowego(V) w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,10 do 0,12 $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 0,1 $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od 0,16 do 0,20 $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 0,18 $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$) i w dniu 23.07.2008 r. od 0,12 do 0,18 $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 0,1 $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$). Najwyższe stężenia zanotowano we wrześniu 2007 r., najniższe w lipcu 2007 r., we wszystkich okresach pomiarowych stężenia azotu azotanowego(V) klasyfikowały jakość wód Biebrzy do I klasy czystości. Sytuacja, w której w lipcu 2007 r. notuje się najniższe stężenia azotu azotanowego(V) oraz równocześnie najwyższe stężenia pozostałych form azotu świadczy o fatalnych warunkach tlenowych panujących w rzece (Giziński, Falkowska 2003).

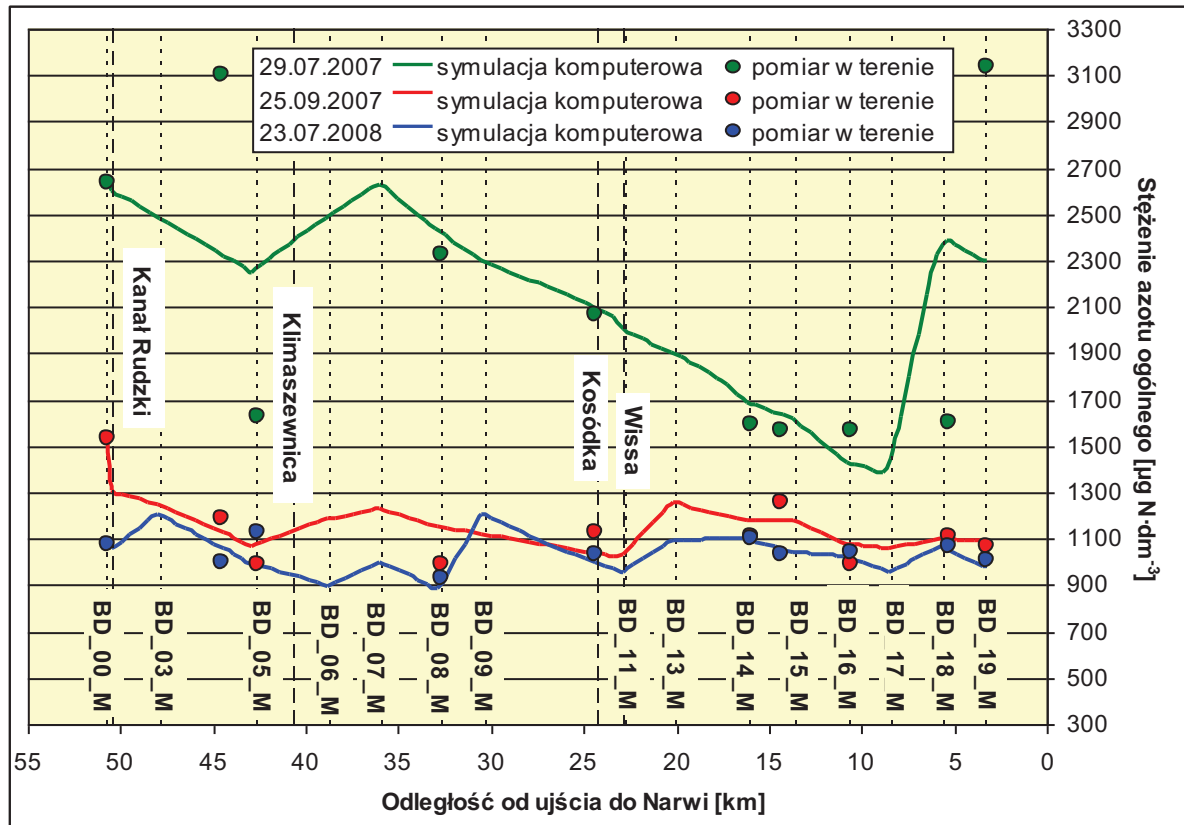
Zauważyć można, iż w przypadku lipca oraz września 2007 r. stężenie azotu azotanowego(V) w Biebrzy wykazuje na całym odcinku rzeki pewną stabilność o niewielkim

zakresie wahań (wynoszącym ok. $0,03 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$), natomiast w lipcu 2008 r. stężenie stale wzrasta na odcinku od 45 do 10 km biegu Biebrzy, czyli na 2/3 długości rzeki. Dobowy ładunek azotu azotanowego(V) przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $1,4 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($119 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $1,2 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($107 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,52 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($45 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największy dobowy ładunek azotu azotanowego(V) zanotowano w lipcu 2007 r. (nieznacznie więcej niż we wrześniu 2007 r.), najmniejszy w lipcu 2008 r.

Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia azotu azotanowego(V) zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $0,10$ do $0,56 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$, w dniu 25.09.2007 r. od $0,10$ do $0,58 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ oraz w dniu 23.07.2008 r. od $0,10$ do $0,51 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$. We wszystkich kampaniach pomiarowych stężenia azotu azotanowego(V) w dopływach punktowych Biebrzy kwalifikowały ciekę do I klasy czystości, najwyższe stężenia notowano w Wissie oraz Klimaszewnicy, najniższe w Kosódce. W każdym okresie pomiarowy Wissa wpływała negatywnie na jakość wód Biebrzy podnosząc w sposób istotny stężenie azotu azotanowego(V) poniżej swojego ujścia. Sumaryczny dobowy ładunek azotu azotanowego(V) przedostający się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $2,2 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($189 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $2,5 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($214 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $1 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($90,5 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największy ładunek azotu azotanowego(V) zanotowano we wrześniu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r.

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały, że stężenia azotu azotanowego(V) w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego były porównywalne ze stężeniami tego parametru w Biebrzy i wynosiły na poszczególnych odcinkach rzeki odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $0,10$ do $0,12 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio dla każdego odcinka $0,11 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od $0,16$ do $0,19 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $0,18 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od $0,13$ do $0,18 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $0,15 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) kwalifikując jakość wód powierzchniowych do I klasy czystości. Jedynym wyjątkiem był odcinek od 8,3 do 5,5 km biegu Biebrzy (wrzesień 2007 r.), kiedy to w dopływie obszarowym zanotowano stosunkowo wysokie stężenie azotu azotanowego(V) wynoszące $0,85 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Najprawdopodobniej jego źródłem były znajdujące się na tym odcinku rzeki zabudowania gospodarskie wsi Rutkowskie. Najwyższe średnie stężenie azotu azotanowego(V) zanotowano we wrześniu 2007 r., najniższe w lipcu 2007 r. Potwierdza to ogólnie znane zjawisko, iż stężenia azotu azotanowego(V) w wodach powierzchniowych stopniowo wzrastają pod koniec sezonu wegetacyjnego, bowiem rośliny wodne pobierają go już z coraz mniejszą intensywnością.



Rys. 6.30 Rozkład stężeń azotu ogólnego na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Dobowy ładunek azotu azotanowego(V) przedostającego się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $0,91 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($78,7 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $1,5 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($128 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,46 \text{ g N}\cdot\text{s}^{-1}$ ($40,2 \text{ kg N}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największy ładunek azotu azotanowego(V) zanotowano we wrześniu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., czyli proporcjonalnie do stężeń i wielkości przepływu.

6.3.16.5 Azot ogólny

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia azotu ogólnego w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $1,6$ do $3,1 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $2,1 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od $0,99$ do $1,5 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $1,1 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od $0,93$ do $1,1 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $1 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) kwalifikując jakość wód Biebrzy do I klasy czystości. Zdecydowanie najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2007 r., natomiast stężenia z września 2007 r. oraz lipca 2008 r. były na podobnym poziomie. Zauważyć można, iż w przypadku września 2007 r. oraz lipca 2008 r. stężenie azotu ogólnego w Biebrzy wykazuje na całym odcinku rzeki pewną stabilność oscylując w przedziale od $0,9$ do $1,3 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$, natomiast w lipcu 2007 r. zaznaczają się znaczne jego amplitudy, wynoszące nawet $1,5 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ na odcinku o długości zaledwie 3

km. Dobowy ładunek azotu ogólnego przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 24,8 g N·s⁻¹ (2145 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 7,8 g N·s⁻¹ (675 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 3,7 g N·s⁻¹ (317 kg N·doba⁻¹). Największy dobowy ładunek azotu ogólnego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych przepływów obszarowych z rzeki.

Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia azotu ogólnego zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1,6 do 2,9 mg N·dm⁻³, w dniu 25.09.2007 r. od 0,96 do 1,8 mg N·dm⁻³ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,94 do 2,3 mg N·dm⁻³. We wszystkich trzech okresach pomiarowych najwyższe stężenia zanotowano w Klimaszewnicy oraz w Kosódce, w większości przypadków stężenia azotu ogólnego kwalifikowały dopływy punktowe Biebrzy do I klasy czystości, jedynie w lipcu 2007 r. była to II klasa (Klimaszewnica, Kanał Rudzki), podobnie w lipcu 2008 r. (Kosódka). Dobowy ładunek azotu ogólnego przedostający się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 14,2 g N·s⁻¹ (1230 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 10,6 g N·s⁻¹ (916 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 5 g N·s⁻¹ (430 kg N·doba⁻¹). Największy ładunek zanotowano w lipcu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., czyli proporcjonalnie do wielkości przepływu w ujściowych odcinkach dopływów Biebrzy.

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały jednoznacznie, że stężenia azotu ogólnego w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego znacznie przekraczały stężenia tego parametru oznaczone w Biebrzy i wynosiły na poszczególnych odcinkach rzeki odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1,4 do 8,8 mg N·dm⁻³ (średnio dla każdego odcinka 4,6 mg N·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 1,9 do 6,3 mg N·dm⁻³ (średnio 3,5 mg N·dm⁻³) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 5,9 do 8,7 mg N·dm⁻³ (średnio 7,4 mg N·dm⁻³).

Na niektórych odcinkach Biebrzy, tj. od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2007 r., stężenie 80,3 mg N·dm⁻³), od 22,6 do 19,9 km biegu (wrzesień 2007 r., stężenie 11,2 mg N·dm⁻³) oraz od 13,4 do 10,5 km biegu i od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2008 r., stężenia odpowiednio: 17,3 mg N·dm⁻³ i 11,9 mg N·dm⁻³) zanotowano znacznie wyższe od średniej stężenia azotu ogólnego w wodzie – analogicznie jak w przypadku azotu organicznego. W kampaniach pomiarowych z lipca oraz września 2007 r. stężenia azotu ogólnego kwalifikowały wody dopływów obszarowych do I lub II klasy czystości (w dwóch przypadkach poniżej II klasy), natomiast w lipcu 2008 r. do II klasy czystości (w dwóch przypadkach poniżej II klasy). Najwyższe średnie stężenie azotu ogólnego zanotowano w lipcu 2008 r., co wynika z notowanych w tym czasie najwyższych stężeń azotu organicznego.

Dobowy ładunek azotu ogólnego przedostający się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 59,9 g N·s⁻¹ (5172 kg N·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 21,4

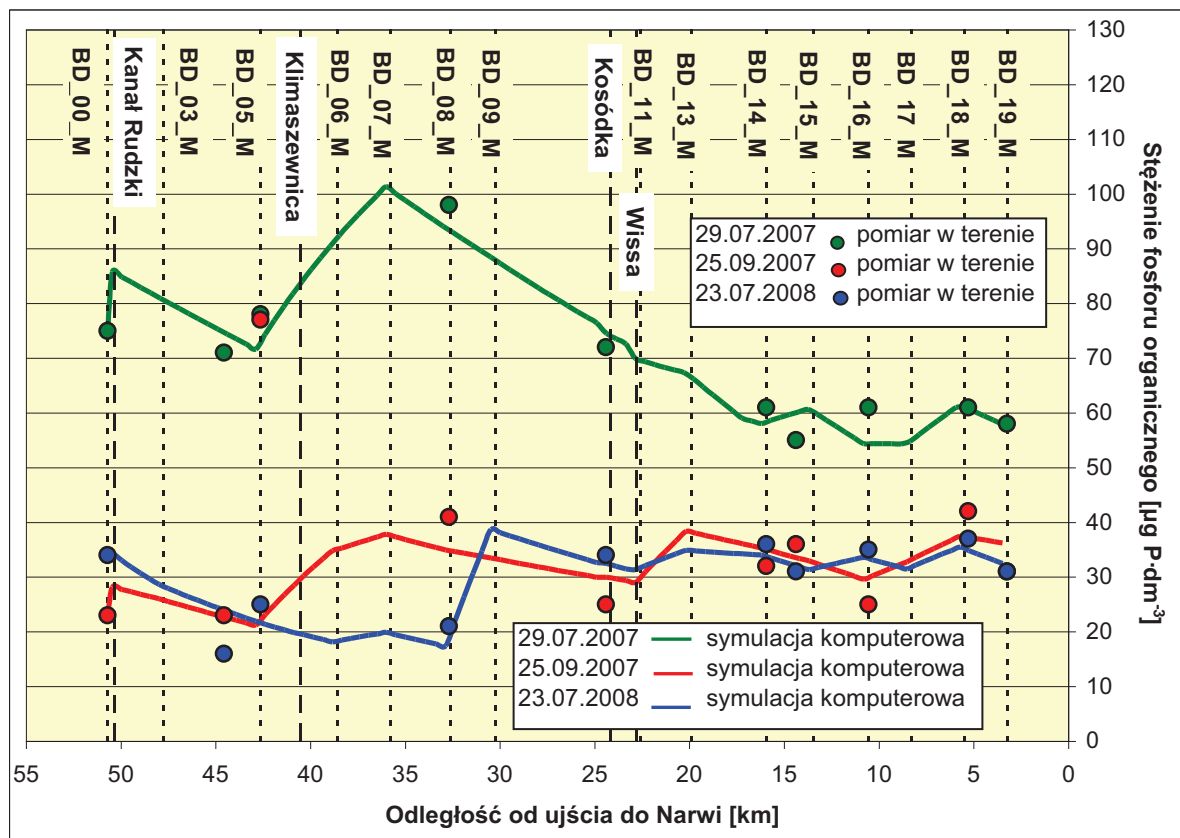
g N·s⁻¹ (1853 kg N·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 51,1 g N·s⁻¹ (4412 kg N·doba⁻¹). Największy dobowy ładunek azotu ogólnego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych dopływów obszarowych do koryta rzeki, jednak ładunek z lipca 2008 r. był na niewiele niższym poziomie, choć stan wód był wtedy zdecydowanie niższy („suchy” rok). Zjawisko to wskazuje, że w kwestii zasilania Biebrzy azotem pochodzącym z torfowisk sprawą drugorzędną jest wielkość przepływów obszarowych, natomiast najważniejszy jest poziom nawodnienia torfów. W czasie ciepłych pór roku, zwłaszcza w trakcie tzw. „suchego” lata, następuje wysuszenie wierzchniej warstwy torfów, po czym nawet niewielki przepływ obszarowy jest w stanie przetransportować do koryta Biebrzy znaczny ładunek azotu ze względu na jego wysokie stężenia w wodzie. Równie dużym zagrożeniem może też być znaczny przybór wody na Biebrzy w okresie lata, bowiem wpływające na mokradła duże masy wody są w stanie wypłukać z przesuszonych torfowisk znaczne ilości azotu, co miało miejsce w lipcu 2007 r. (tzw. „mokre” lato).

Tabela 6.19 Stosunek zawartości w wodzie azotu ogólnego do fosforu ogólnego w ciekach Basenu Dolnego Biebrzy w poszczególnych kampaniach pomiarowych 2007-2008

Rzeka	N:P		
	29.07.2007	25.09.2007	23.07.2008
Biebrza	Od 24:1 do 10:1	Od 33:1 do 9:1	Od 13:1 do 10:1
Kanał Rudzki	12:1	12:1	7:1
Klimaszewnica	21:1	23:1	16:1
Kosódka	16:1	15:1	17:1
Wissa	13:1	16:1	10:1

Uwarunkowania rozwoju roślin. Zasadniczo, we wszystkich ciekach Basenu Dolnego Biebrzy stosunek N:P w poszczególnych kampaniach pomiarowych wynosił powyżej 10, zatem pierwiastkiem limitującym wzrost biomasy roślin na obszarze basenu był fosfor. Jedynie we wrześniu 2007 r. (na niektórych odcinkach Biebrzy) oraz w lipcu 2008 r. (ujście Kanału Rudzkiego) zanotowano N:P < 10, co oznacza, że wtedy pierwiastkiem limitującym wzrost roślinności wodnej mógł być azot. Zauważyć można, że w lipcu oraz we wrześniu 2007 r. proporcje N:P w wodzie Biebrzy były znacznie większe niż w 2008 r. osiągając wartość ponad 20 (lipiec 2007 r.) a nawet ponad 30 (wrzesień 2007 r.).

Zjawisko to pokazuje, że przy wysokich stanach wód na Biebrzy oraz znacznej wymianie wody z torfowiskami przewaga azotu nad fosforem gwałtownie wzrasta, co z kolei potwierdza, że wymywany (na mokradłach) z torfów azot wcześniej czy później trafia do wód Biebrzy. W takich warunkach może dojść do zwiększenia się żyzności wód Biebrzy, gdyby równocześnie wzrosło stężenie fosforu mineralnego w Biebrzy. W lipcu 2008 r. warunki przepływu na Biebrzy były znacznie stabilniejsze (mała wymiana wód z mokradłami, niskie stany), co zaowocowało tylko nieznacznymi wahaniem w proporcji N:P (od 10:1 do 13:1), podczas gdy np. we wrześniu 2007 r. rozrzut ten wynosił od 9:1 do 33:1.



Rys. 6.31 Rozkład stężeń fosforu organicznego na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

6.3.16.6 Fosfor organiczny

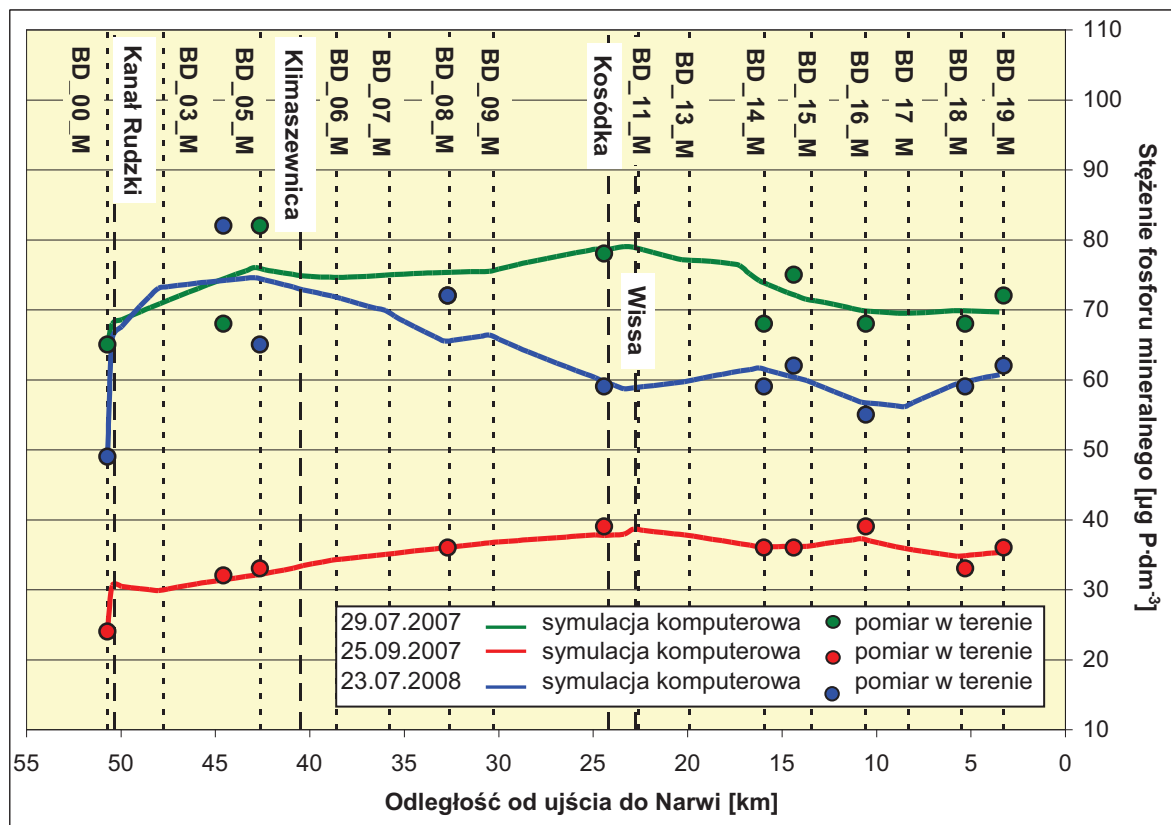
Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia fosforu organicznego w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,055 do 0,098 mg P·dm⁻³ (średnio 0,069 mg P·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 0,023 do 0,077 mg P·dm⁻³ (średnio 0,035 mg P·dm⁻³) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,016 do 0,037 mg P·dm⁻³ (średnio 0,030 mg P·dm⁻³). Najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2007 r., natomiast stężenia z września 2007 r. oraz z lipca 2008 r. były na podobnym poziomie. Stężenia fosforu organicznego w stosunku do fosforu ogólnego w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 42% do 58% (średnio 49%), w dniu 25.09.2007 r. od 39% do 70% (średnio 49%) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 16% do 41% (średnio 33%). Jak widać w obydwu kampaniach pomiarowych z 2007 r. proporcja pomiędzy fosforem organicznym a mineralnym obecnym w Biebrzy wynosiła 1:1, natomiast już rok później udział fosforu mineralnego znacznie wzrósł, w efekcie czego proporcja ta zmieniła się na 1:2. Wynik ten wskazuje, że przy niskich stanach wód dominującą formą fosforu w Biebrzy jest fosfor mineralny. Dobowy ładunek fosforu organicznego przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 0,83 g P·s⁻¹ (71,4 kg P·doba⁻¹), w dniu

25.09.2007 r. $0,2 \text{ g P}\cdot\text{s}^{-1}$ ($17,6 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,1 \text{ g P}\cdot\text{s}^{-1}$ ($9 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największy dobowy ładunek fosforu organicznego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych przepływów obszarowych.

Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia fosforu organicznego zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $0,041$ do $0,140 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$, w dniu 25.09.2007 r. od $0,029$ do $0,041 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ oraz w dniu 23.07.2008 r. od $0,038$ do $0,115 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$. Najwyższe stężenia w lipcu 2007 r. zanotowano na Kanale Rudzkim, we wrześniu 2007 r. na Kosódce oraz w lipcu 2008 r. również na Kosódce. Dobowy ładunek fosforu organicznego przedostający się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $0,68 \text{ g P}\cdot\text{s}^{-1}$ ($58,6 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $0,38 \text{ g P}\cdot\text{s}^{-1}$ ($32,5 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,2 \text{ g P}\cdot\text{s}^{-1}$ ($17,3 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największy ładunek fosforu organicznego zanotowano w lipcu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., czyli proporcjonalnie do wielkości przepływu w ujściowych odcinkach dopływów punktowych Biebrzy.

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały jednoznacznie, że stężenia fosforu organicznego w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego znacznie przekraczały stężenia tego parametru oznaczone w Biebrzy i wynosiły na poszczególnych odcinkach koryta odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $0,08$ do $0,45 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio dla każdego odcinka $0,25 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od $0,035$ do $0,25 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $0,19 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od $0,047$ do $0,5 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $0,27 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$). Najwyższe średnie stężenie fosforu organicznego zanotowano w lipcu 2008 r. oraz w lipcu 2007 r., co wskazuje, że w okresie lata następuje intensyfikacja zasilania z mokradeł tą formą fosforu pochodzącą zapewne z częściowo rozłożonej materii organicznej budującej torfy. Na niektórych odcinkach Biebrzy, tj. od $8,3$ do $5,5 \text{ km}$ biegu (lipiec 2007 r., stężenie $0,85 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$), od $22,6$ do $19,9 \text{ km}$ biegu (wrzesień 2007 r., stężenie $0,45 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz od $13,4$ do $10,5 \text{ km}$ biegu i od $8,3$ do $5,5 \text{ km}$ biegu (lipiec 2008 r., stężenia odpowiednio: $1,2 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $0,5 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$) zanotowano znacznie wyższe od średniej stężenia fosforu organicznego w wodzie.

Analogicznie jak w przypadku azotu organicznego nadmierne ilości fosforu organicznego zarejestrowane na odcinku od $8,3$ do $5,5 \text{ km}$ biegu Biebrzy mogą mieć pochodzenie antropogeniczne, tzn. ich źródłem są najprawdopodobniej zabudowania gospodarskie wsi Rutkowskie zlokalizowanej tuż nad samym prawym brzegiem rzeki, tj. od $6,6$ do $5,3 \text{ km}$ jej biegu. Świadczą o tym nie tylko wysokie stężenia azotu i fosforu organicznego w wodzie, ale również zachwiana proporcja N:P, co wskazuje na zanieczyszczenie ściekami bytowymi i/lub pochodzącymi z chowu zwierząt (gnojowica). W pozostałych przypadkach, tj. na odcinkach od $22,5$ do $19,9 \text{ km}$ biegu oraz od $13,4$ do $10,5 \text{ km}$ biegu Biebrzy podwyższone stężenia fosforu organicznego w dopływach obszarowych



Rys. 6.32 Rozkład stężeń fosforu mineralnego na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

mają najprawdopodobniej charakter naturalny i wskazują na intensywniejszy niż gdzie indziej przebieg procesu wyłukiwania materii organicznej z torfów.

Dobowy ładunek fosforu organicznego przedostający się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 2,2 g P·s⁻¹ (187 kg P·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 1,1 g P·s⁻¹ (91,4 kg P·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 0,86 g P·s⁻¹ (74,1 kg P·doba⁻¹). Największy ładunek fosforu organicznego zanotowano w lipcu 2007 r., przy największych przepływach obszarowych i najwyższych stanach na Biebrzy, natomiast pomimo najwyższych stężeń fosforu organicznego w lipcu 2008 r. ładunek dobowy z tego okresu, ze względu na niewielki przepływ obszarowy z mokradeł, był najmniejszy spośród trzech okresów pomiarowych.

6.3.16.7 Fosfor mineralny

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia fosforu mineralnego w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,065 do 0,082 mg P·dm⁻³ (średnio 0,072 mg P·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 0,024 do 0,039 mg P·dm⁻³ (średnio 0,034 mg P·dm⁻³) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,049 do 0,082 mg P·dm⁻³ (średnio 0,062 mg P·dm⁻³). Najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2007 r. (stężenia z lipca 2008 r. były na porównywalnym poziomie), najniższe we wrześniu 2007 r. Zauważyć można, że

stężenia fosforu mineralnego w Biebrzy w poszczególnych kampaniach pomiarowych były zdecydowanie stabilniejsze i miały inny przebieg niż stężenia fosforu organicznego, a zatem najprawdopodobniej te dwie formy fosforu pochodziły w głównej mierze z odrębnych źródeł, tzn. fosfor organiczny z materii organicznej wypłukiwanej z torfowisk, natomiast fosfor mineralny z osadów dennych. Zbliżone wartości stężeń fosforu mineralnego, jakie wystąpiły w lipcu 2007 r. oraz w lipcu 2008 r. (pomimo diametralnie różnych warunków hydrologicznych oraz różnych stężeń na dopływach) mogą wskazywać, że w okresie lata Biebrza jest zasilana fosforem mineralnym z osadów dennych w sposób niezależny od wielkości przepływu na rzece, ale za to proporcjonalny do temperatury wody (która wynosiła w obydwu kampaniach ok. 20-21°C).

Dobowy ładunek fosforu mineralnego przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 0,9 g P·s⁻¹ (77,4 kg P·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 0,23 g P·s⁻¹ (20,2 kg P·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 0,23 g P·s⁻¹ (20,2 kg P·doba⁻¹). Największy dobowy ładunek fosforu mineralnego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych przepływów obszarowych, natomiast identyczne ładunki zarejestrowano we wrześniu 2007 r. oraz w lipcu 2008 r.

Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia fosforu mineralnego zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,055 do 0,078 mg P·dm⁻³, w dniu 25.09.2007 r. od 0,031 do 0,046 mg P·dm⁻³ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,021 do 0,095 mg P·dm⁻³. Najwyższe stężenia w lipcu 2007 r. zanotowano na Kanale Rudzkim oraz Wissie, we wrześniu 2007 r. na Wissie oraz w lipcu 2008 r. na Kanale Rudzkim. Kanał Rudzki jako jedyny dopływ punktowy Biebrzy miał wyraźny wpływ na jej jakość powodując we wszystkich kampaniach pomiarowych wzrost stężeń fosforu mineralnego poniżej swojego ujścia. Dobowy ładunek fosforu mineralnego przedostający się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 0,47 g P·s⁻¹ (40,8 kg P·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 0,43 g P·s⁻¹ (37,4 kg P·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 0,45 g P·s⁻¹ (39,1 kg P·doba⁻¹). Pomimo odmiennych przepływów oraz różnych stężeń ładunki fosforu mineralnego z poszczególnych kampanii pomiarowych okazały się być na zbliżonym poziomie wynoszącym ok. 37-40 kg P·doba⁻¹.

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały, że stężenia fosforu mineralnego w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego były porównywalne ze stężeniami tego parametru w Biebrzy (jedynie w przypadku lipca 2008 r. były one prawie dwukrotnie wyższe) i wynosiły na poszczególnych odcinkach rzeki odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,053 do 0,061 mg P·dm⁻³ (średnio dla każdego odcinka 0,056 mg P·dm⁻³), w dniu 25.09.2007 r. od 0,033 do 0,038 mg P·dm⁻³ (średnio 0,036 mg P·dm⁻³) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,089 do 0,158 mg P·dm⁻³ (średnio 0,113 mg P·dm⁻³). Najwyższe średnie stężenie fosforu

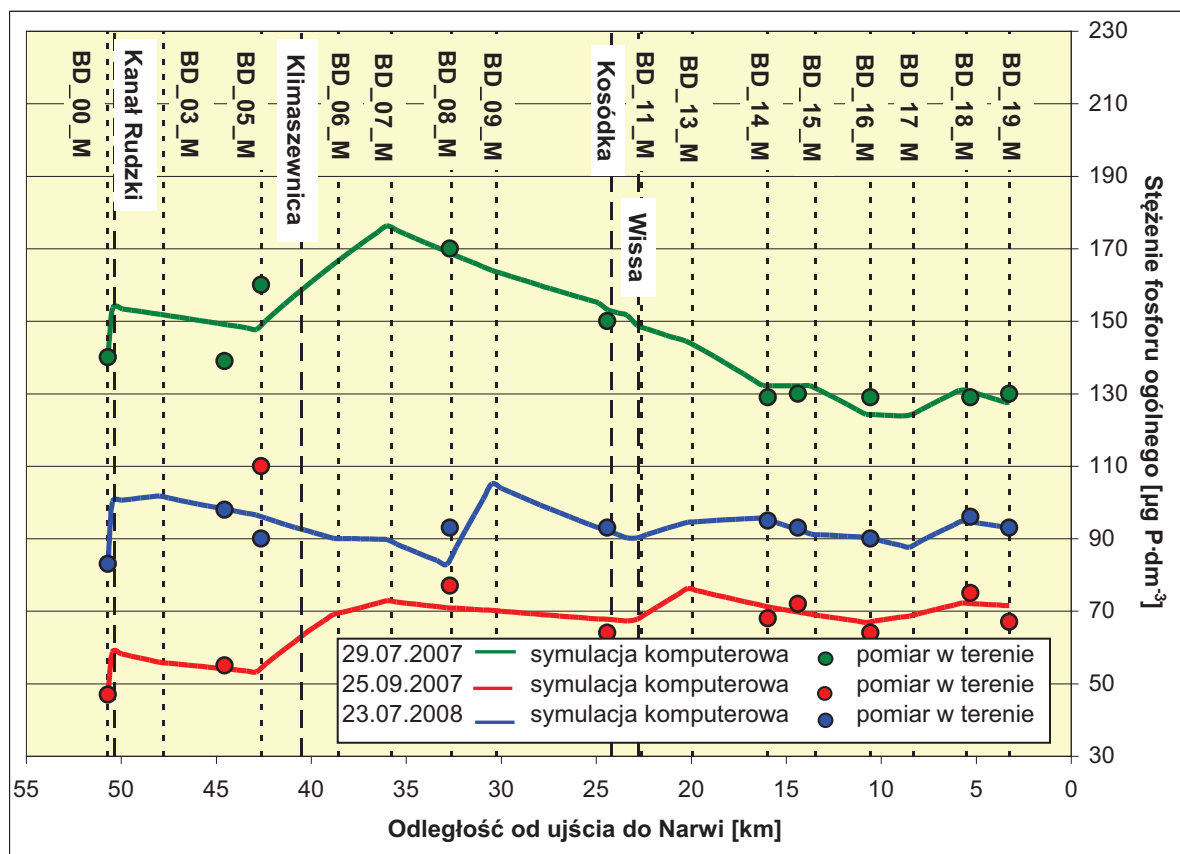
mineralnego zanotowano w lipcu 2008 r., najniższe we wrześniu 2007 r. Na niektórych odcinkach Biebrzy, tj. od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2007 r., stężenie $0,12 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz od 13,4 do 10,5 km biegu i od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2008 r., stężenia odpowiednio: $0,16 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $0,13 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$) zanotowano dużo wyższe od średniej stężenia fosforu mineralnego w wodzie.

Nadmierne ilości fosforu mineralnego zarejestrowane na odcinku od 8,3 do 5,5 km biegu Biebrzy mogą mieć pochodzenie antropogeniczne, tzn. ich źródłem są najprawdopodobniej zabudowania gospodarskie wsi Rutkowskie zlokalizowanej tuż nad samym prawym brzegiem rzeki, tj. od 6,6 do 5,3 km jej biegu. W przypadku odcinka od 13,4 do 10,5 km biegu Biebrzy również istnieje podejrzenie, że nadmierne ilości fosforu mineralnego mają pochodzenie antropogeniczne, ponieważ odcinek ten znajduje się ok. 1 km poniżej wsi Brzostowo zlokalizowanej nad samym brzegiem Biebrzy. Dobowy ładunek fosforu mineralnego przedostający się poprzez dopływy obszarowe (nie licząc osadów dennych) do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $0,47 \text{ g P} \cdot \text{s}^{-1}$ ($41 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $0,19 \text{ g P} \cdot \text{s}^{-1}$ ($16,4 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,36 \text{ g P} \cdot \text{s}^{-1}$ ($31,5 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$). Największy ładunek fosforu mineralnego zanotowano w lipcu 2007 r., przy największych przepływach obszarowych, nieco mniejszy w lipcu 2008 r., natomiast zdecydowanie najmniejszy we wrześniu 2007 r.

6.3.16.8 Fosfor ogólny

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia fosforu ogólnego w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $0,129$ do $0,17 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio $0,141 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od $0,047$ do $0,11 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio $0,07 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$) i w dniu 23.07.2008 r. od $0,083$ do $0,098 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio $0,092 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$). Najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2007 r., najniższe we wrześniu 2007 r., jednak we wszystkich okresach pomiarowych stężenia fosforu ogólnego kwalifikowały wody Biebrzy do I klasy czystości. Dobowy ładunek fosforu ogólnego przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $1,7 \text{ g P} \cdot \text{s}^{-1}$ ($149 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $0,39 \text{ g P} \cdot \text{s}^{-1}$ ($33,9 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,34 \text{ g P} \cdot \text{s}^{-1}$ ($29,2 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$). Największy dobowy ładunek fosforu ogólnego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych przepływów obszarowych, natomiast zbliżone ładunki zarejestrowano we wrześniu 2007 r. oraz w lipcu 2008 r. – pomimo diametralnie innych warunków przepływu

Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia fosforu ogólnego zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $0,109$ do $0,218 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$, w dniu 25.09.2007 r. od $0,072$ do $0,08 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz w dniu 23.07.2008 r. od $0,103$ do $0,136 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$. Najwyższe stężenia w lipcu oraz wrześniu 2007 r. zanotowano na Kanale Rudzkim, w lipcu 2008 r. na



Rys. 6.33 Rozkład stężeń fosforu ogólnego na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Kanale Rudzkim oraz Kosódce. W każdym okresie pomiarowy Kanał Rudzki wpływał negatywnie na jakość wód Biebrzy podnosząc w sposób istotny stężenie fosforu ogólnego poniżej swojego ujścia. Dobowy ładunek fosforu ogólnego przedostający się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $1,1 \text{ g P}\cdot\text{s}^{-1}$ ($99,4 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $0,81 \text{ g P}\cdot\text{s}^{-1}$ ($69,9 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,65 \text{ g P}\cdot\text{s}^{-1}$ ($56,4 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największy ładunek fosforu ogólnego zanotowano w lipcu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., czyli proporcjonalnie do wielkości przepływu w ujściowych odcinkach dopływów Biebrzy.

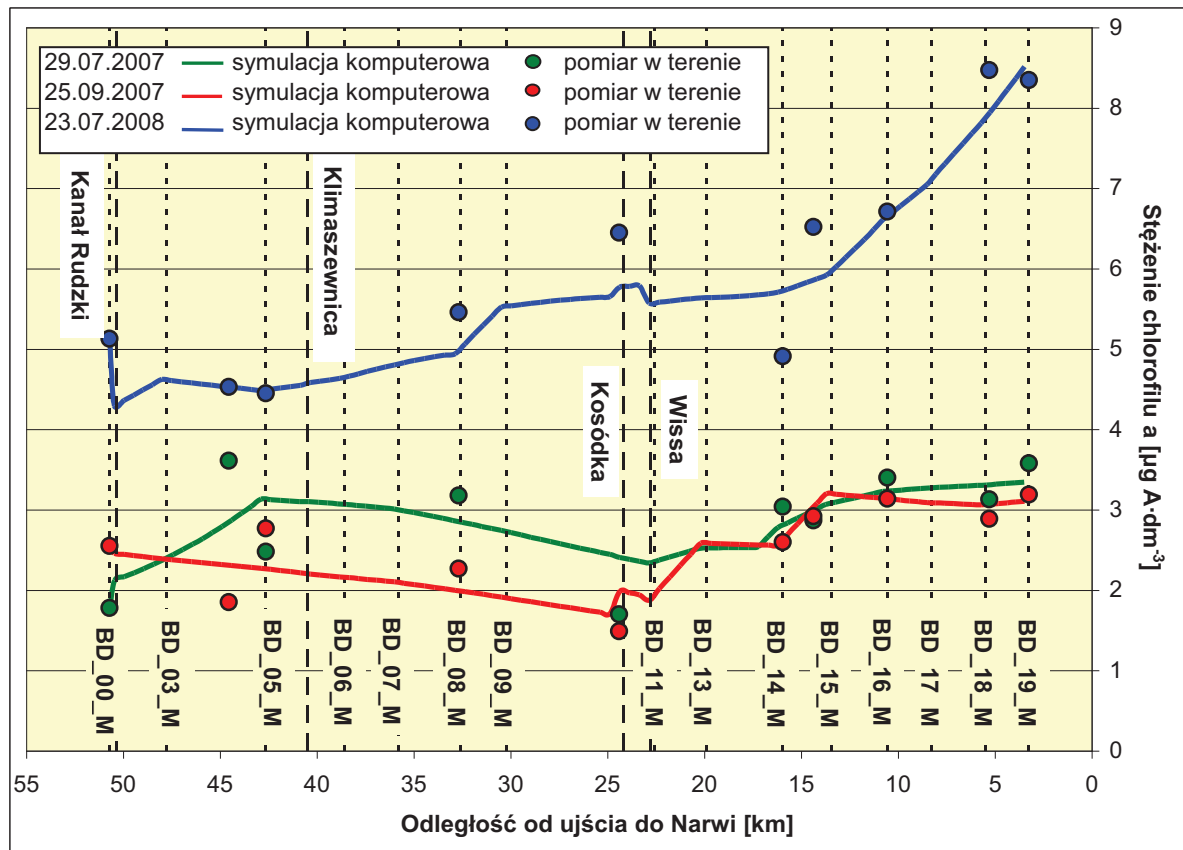
Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały jednoznacznie, że stężenia fosforu ogólnego w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego znacznie przekraczały stężenia tego parametru oznaczone w Biebrzy i wynosiły na poszczególnych odcinkach koryta odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $0,134$ do $0,97 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio dla każdego odcinka $0,416 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od $0,072$ do $0,488 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $0,27 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$) i w dniu 23.07.2008 r. od $0,193$ do $1,358 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio $0,483 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$). Najwyższe stężenia fosforu ogólnego zanotowano w lipcu 2008 r. (przeważnie II klasa czystości lub poniżej II klasy), najniższe we wrześniu 2007 r. (zazwyczaj II klasa czystości). Na niektórych odcinkach Biebrzy, tj. od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2007 r., stężenie $0,97 \text{ mg}$

$P \cdot dm^{-3}$), od 22,5 do 19,9 km (wrzesień 2007 r., stężenie $0,49 \text{ mg } P \cdot dm^{-3}$) oraz od 13,4 do 10,5 km biegu i od 8,3 do 5,5 km biegu (lipiec 2008 r., stężenia odpowiednio: $1,4 \text{ mg } P \cdot dm^{-3}$ i $0,63 \text{ mg } P \cdot dm^{-3}$) zanotowano znacznie wyższe od średniej stężenia fosforu ogólnego w wodzie – analogicznie jak w przypadku fosforu organicznego. Dobowy ładunek fosforu ogólnego przedostający się poprzez dopływy obszarowe (nie licząc osadów dennych) do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $2,6 \text{ g } P \cdot s^{-1}$ ($228 \text{ kg } P \cdot doba^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $1,2 \text{ g } P \cdot s^{-1}$ ($108 \text{ kg } P \cdot doba^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $1,2 \text{ g } P \cdot s^{-1}$ ($106 \text{ kg } P \cdot doba^{-1}$). Największy ładunek fosforu ogólnego zanotowano w lipcu 2007 r., natomiast ładunki z września 2007 r. oraz z lipca 2008 r. były niemal identyczne – pomimo całkowicie odmiennych przepływów.

6.3.16.9 Fitoplankton

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenia chlorofilu „a” w Biebrzy wynosiły odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $1,7$ do $3,6 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$ (średnio $2,9 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od $1,5$ do $3,2 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$ (średnio $2,6 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od $4,4$ do $8,5 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$ (średnio $6,1 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$). Najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2008 r., natomiast stężenia z lipca oraz września 2007 r. były na podobnym poziomie, co oznacza, że niskie stany wód wraz z podwyższonymi stężeniami biogenów sprzyjają rozwojowi fitoplanktonu. Zauważyć można, iż w lipcu 2008 r. stężenie chlorofilu „a” w Biebrzy wzrastało niemal od samego początku Basenu Dolnego osiągając najwyższy przyrost od 14 km biegu rzeki, czyli dokładnie poniżej wsi Brzostowo, aż po ujście do Narwi. Mimo to jednak we wszystkich okresach pomiarowych stężenia chlorofilu „a” kwalifikowały wody Biebrzy do I klasy czystości. Dobowy ładunek chlorofilu „a” przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $0,029 \text{ g } A \cdot s^{-1}$ ($2,5 \text{ kg } A \cdot doba^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $0,016 \text{ g } A \cdot s^{-1}$ ($1,4 \text{ kg } A \cdot doba^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,021 \text{ g } A \cdot s^{-1}$ ($1,9 \text{ kg } A \cdot doba^{-1}$). Największy dobowy ładunek chlorofilu „a” zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych przepływów obszarowych.

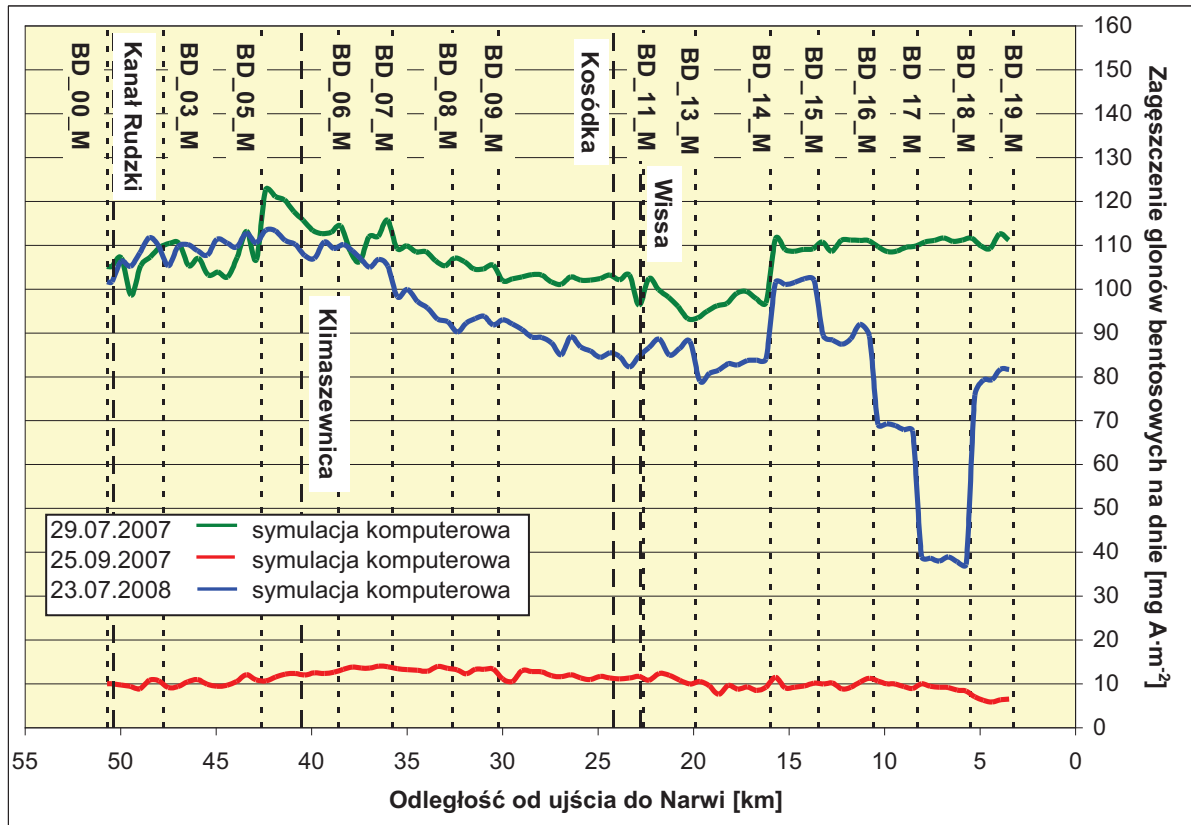
Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia chlorofilu „a” zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $1,9$ do $4,8 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$, w dniu 25.09.2007 r. od $1,3$ do $14,4 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$ oraz w dniu 23.07.2008 r. od $2,1$ do $31,8 \text{ } \mu\text{g } A \cdot dm^{-3}$. Najwyższe stężenia w poszczególnych kampaniach pomiarowych notowano najczęściej w Kosódce lub w Klimaszewnicy. Dobowy ładunek chlorofilu „a” przedostający się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $0,019 \text{ g } A \cdot s^{-1}$ ($1,6 \text{ kg } A \cdot doba^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $0,028 \text{ g } A \cdot s^{-1}$ ($2,4 \text{ kg } A \cdot doba^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $0,014 \text{ g } A \cdot s^{-1}$ ($1,2 \text{ kg } A \cdot doba^{-1}$). Największy ładunek chlorofilu „a” zanotowano we wrześniu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r.



Rys. 6.34 Rozkład stężeń chlorofilu a na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały, że stężenia chlorofilu „a” w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego były porównywalne ze stężeniami tego parametru w Biebrzy (jedynie w przypadku lipca 2008 r. były one znacznie wyższe) i wynosiły na poszczególnych odcinkach rzeki odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1,1 do 5,5 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio dla każdego odcinka 3,2 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od 2 do 3 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio 2,5 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 12 do 35 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$ (średnio 19,9 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$). Najwyższe stężenia chlorofilu „a” zanotowano w lipcu 2008 r. (I lub II klasa czystości), najniższe we wrześniu 2007 r. (I klasa czystości). Na niektórych odcinkach Biebrzy, tj. od 22,5 do 19,9 km biegu i od 15,9 do 13,4 km (wrzesień 2007 r., stężenia odpowiednio: 32 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$ i 14 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz od 15,9 do 12,4 km, od 13,4 do 10,5 km i od 8,3 do 5,5 km (lipiec 2008 r., stężenia odpowiednio: 30 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$, 35 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$ oraz 25 $\mu\text{g A}\cdot\text{dm}^{-3}$) zanotowano znacznie wyższe od średniej stężenia chlorofilu „a”.

Ponad przeciętna zawartość fitoplanktonu w wodzie odzwierciedla zachodzącą na tych odcinkach eutrofizację wód powierzchniowych, przy czym na szczególną uwagę zasługują odcinki od 15,9 do 13,4 km biegu Biebrzy (wieś Brzostowo) oraz od 8,3 do 5,5 km (wieś Rutkowskie), gdzie eutrofizacja ma najprawdopodobniej podłoże antropogeniczne. W przypadku odcinka od 22,5 do 19,9 km biegu Biebrzy należy przypuszczać, że ewentualna

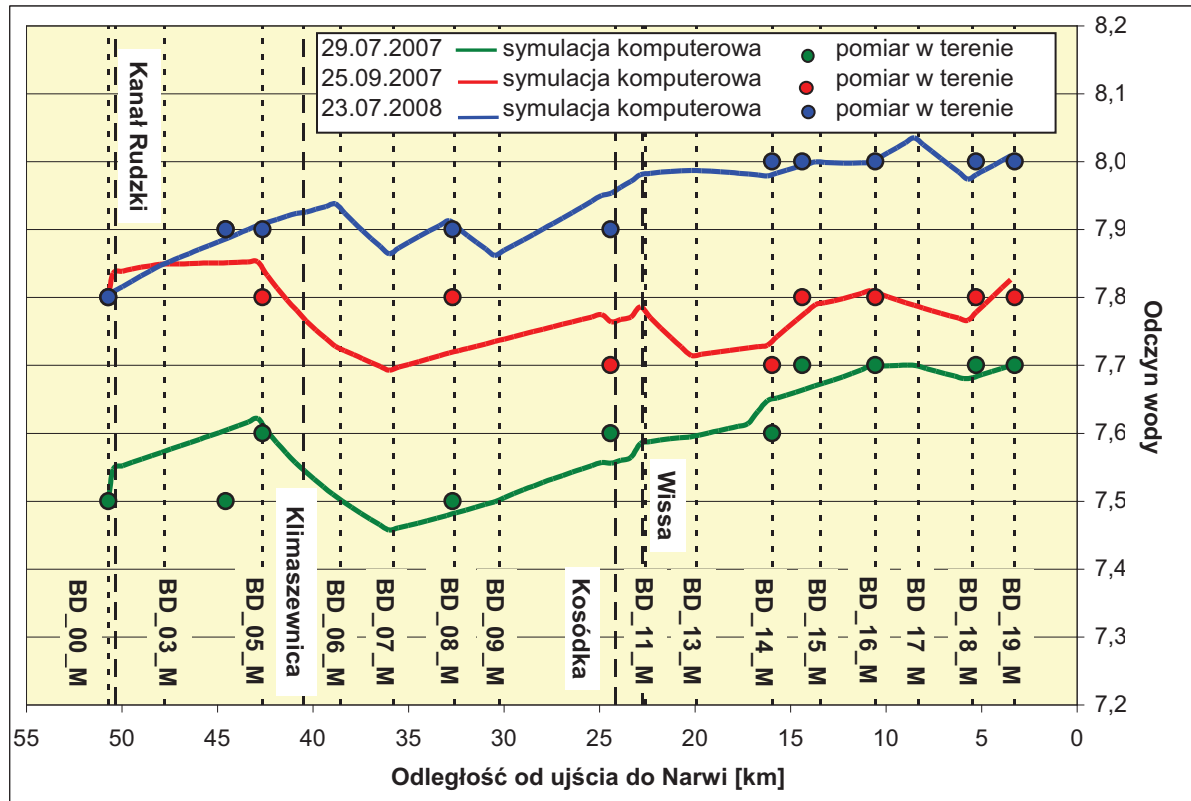


Rys. 6.35 Rozkład zagęszczenia glonów bentosowych na dnie poszczególnych odcinków Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

eutrofizacja wód ma podłoże naturalne i zachodzi najprawdopodobniej na tamtejszych starorzeczach. W fitoplanktonie rzeczonym z reguły dominują okrzemki, dlatego też bez względu na żyzność wód w rzekach nie zdarzają się zakwity sinic charakterystyczne dla nadmiernie użyźnionych wód stojących (Giziński, Falkowska 2003). Dobowy ładunek chlorofilu „a” przedostający się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii: w dniu 29.07.2007 r. 0,03 g A·s⁻¹ (2,7 kg A·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 0,04 g A·s⁻¹ (3,8 kg A·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 0,05 g A·s⁻¹ (4,4 kg A·doba⁻¹). Największy ładunek chlorofilu „a” zanotowano w lipcu 2008 r., najmniejszy w lipcu 2007 r. – odwrotnie proporcjonalnie do wielkości przepływów obszarowych.

6.3.16.10 Glony bentosowe

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych zagęszczenie glonów bentosowych na dnie rzeki wynosiło odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 93 do 122 mg A·m⁻², w dniu 25.09.2007 r. od 6 do 14 mg A·m⁻² oraz w dniu 23.07.2008 r. od 37 do 113 mg A·m⁻². Charakterystyczne jest to, że pomimo diametralnie różnych warunków przepływu w lipcu 2007 r. („mokre” lato) oraz w lipcu 2008 r. („suche” lato) zagęszczenie glonów bentosowych na dnie Biebrzy było do siebie bardzo zbliżone, natomiast już we wrześniu



Rys. 6.36 Rozkład pH wody na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

2007 r. ok. dziesięciokrotnie mniejsze. Nasuwa się przypuszczenie, że decydującym czynnikiem przy wzroście glonów przydennych jest temperatura wody oraz stężenie składników pokarmowych w wodzie.

6.3.16.11 Odczyn

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych odczyn wody w Biebrzy wynosił odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 7,5 do 7,7 (średnio 7,6), w dniu 25.09.2007 r. od 7,7 do 7,9 (średnio 7,8) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 7,8 do 8,0 (średnio 7,9). Najwyższe pH zanotowano w lipcu 2008 r., najniższe w lipcu 2007 r., czyli proporcjonalnie do ładunku wyłukiwanej z torfowisk materii organicznej. Zauważyć można, iż zarówno latem 2007 r. jak i też 2008 r. pH wody w Biebrzy nieznacznie wzrastało wraz z biegiem rzeki, zawsze najniższe było na początku Basenu Dolnego, natomiast najwyższe w pobliżu ujścia do Narwi. We wszystkich okresach pomiarowych odczyn kwalifikował wody Biebrzy do I klasy czystości.

Dopływy punktowe Biebrzy. Odczyn wody w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosił w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 7,4 do 7,9, w dniu 25.09.2007 r. od 7,4 do 7,9 oraz w dniu 23.07.2008 r. od 7,5 do 8,0. Najwyższy odczyn w poszczególnych kampaniach pomiarowych występował zawsze w Wissie oraz Kanale Rudzkim, najniższy w Kosódce. W poszczególnych okresach

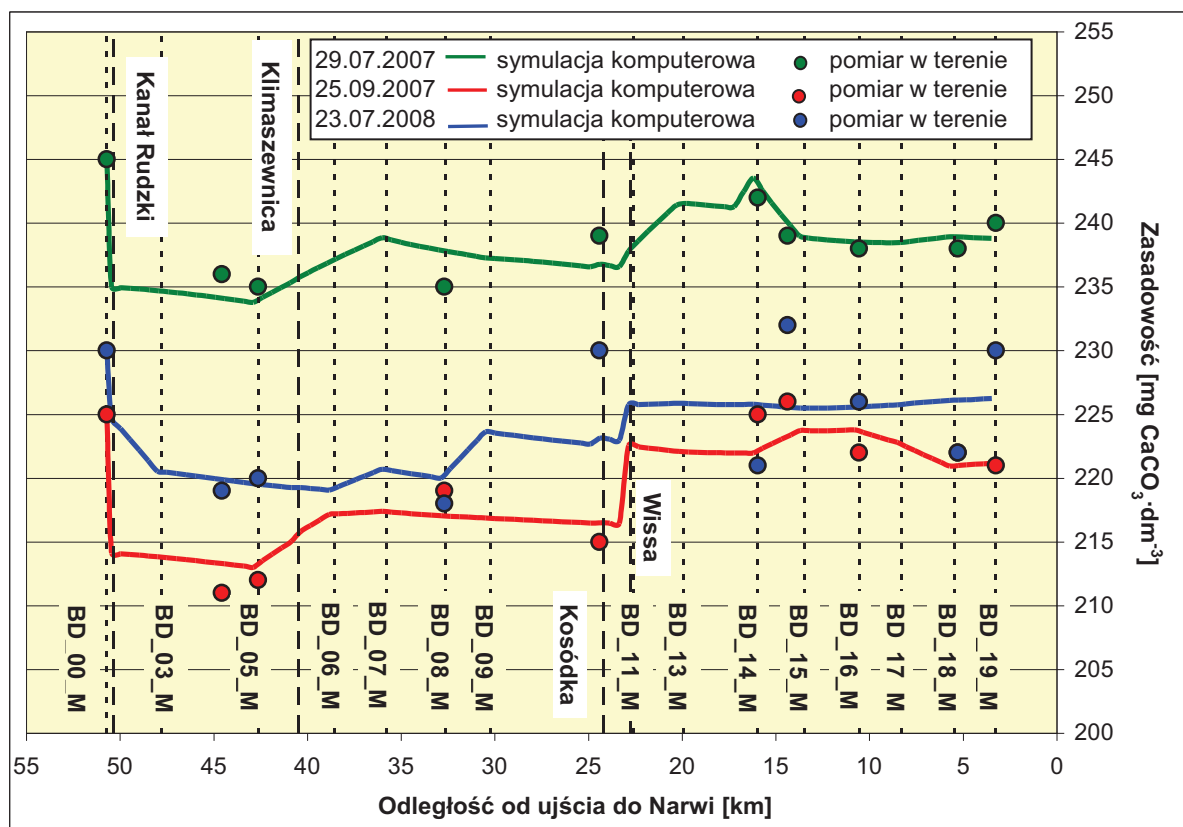
pomiarowych odczyn kwalifikował wody wszystkich dopływów Biebrzy do I klasy czystości.

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały, że odczyn wody w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego był zawsze niższy od odczynu wody w Biebrzy i wynosił na poszczególnych odcinkach rzeki odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 6,8 do 8,0 (średnio dla każdego odcinka 7,3), w dniu 25.09.2007 r. od 6,7 do 8,5 (średnio 7,1) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 6,3 do 7,7 (średnio 7,1). Najwyższe wartości pH zanotowano we wrześniu 2007 r., najniższe w lipcu 2008 r., jednak w poszczególnych okresach pomiarowych odczyn kwalifikował wody wszystkich dopływów obszarowych Biebrzy do I klasy czystości.

6.3.16.12 Zasadowość ogólna

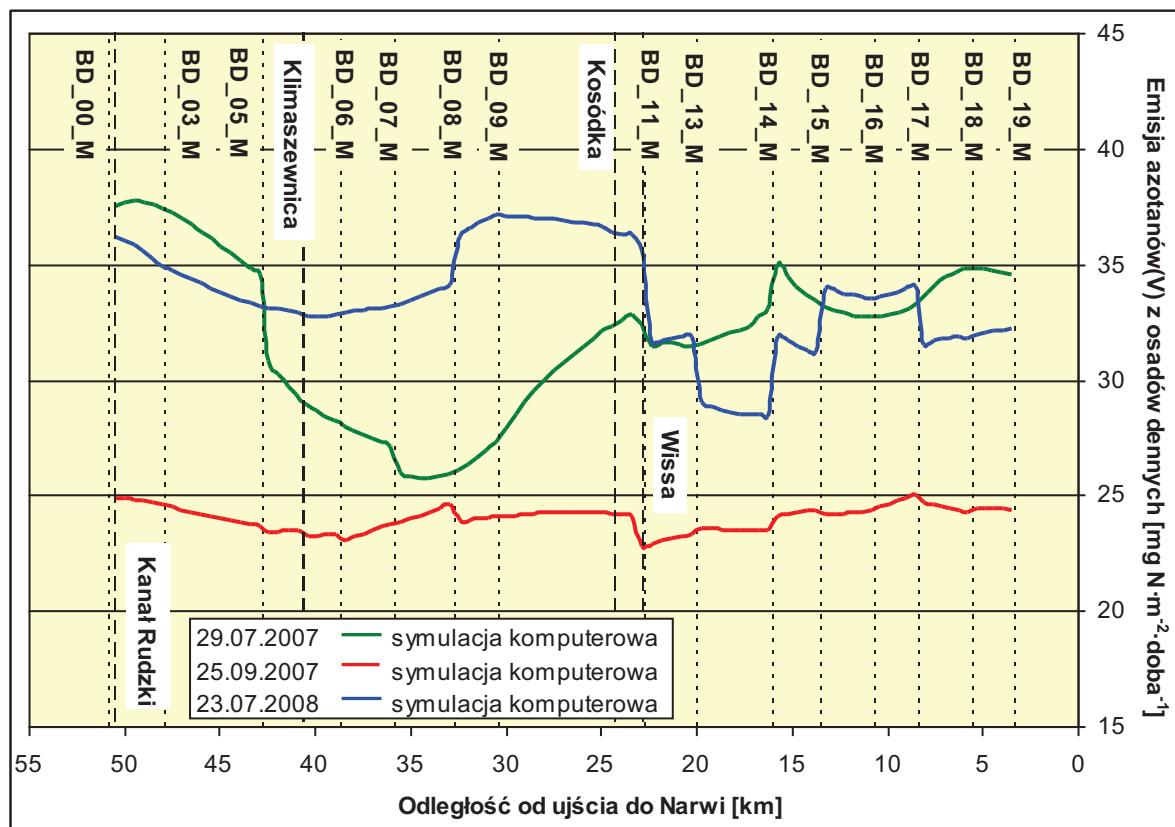
Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych zasadowość ogólna wód Biebrzy wynosiła odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 235 do 245 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 239 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od 211 do 226 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 220 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 218 do 232 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 225 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$). Najwyższą zasadowość wód zanotowano w lipcu 2007 r., natomiast stężenia węglanu wapnia z września 2007 r. oraz z lipca 2008 r. były na podobnym poziomie. Dobowy ładunek węglanu wapnia przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 2,9 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (254 tony $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. 1,5 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (129 ton $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. 0,8 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (69 ton $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$). Największy dobowy ładunek węglanu wapnia zanotowano w lipcu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., a więc proporcjonalnie do wielkości przepływu oraz stanów wody na Biebrzy.

Dopływy punktowe Biebrzy. Wartości zasadowości ogólnej zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 190 do 257 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, w dniu 25.09.2007 r. od 196 do 294 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 217 do 348 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$. Najwyższe stężenia węglanu wapnia w poszczególnych kampaniach pomiarowych notowano najczęściej w Wissie, najniższe w Kanale Rudzkim, jednak jednorazowo najwyższe stężenie spośród wszystkich okresów pomiarowych (348 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) zanotowano w lipcu 2008 r. w Kosódce. Dobowy ładunek węglanu wapnia przedostający się poprzez dopływy punktowe do Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 1,3 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (113 ton $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. 2,2 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (190 ton $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. 1,1 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (99 ton $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$). Największy ładunek węglanu wapnia zanotowano we wrześniu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r. Zauważyć można, iż we wszystkich okresach pomiarowych Kanał Rudzki oraz Wissa były dopływami, które w sposób istotny wpływały na zasadowość wód Biebrzy, Kanał Rudzki ją obniżał, natomiast Wissa podnosiła.



Rys. 6.37 Rozkład stężeń zasadowości wody na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały, że średnie stężenia węglanu wapnia w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego były porównywalne ze stężeniami tego parametru w Biebrzy i wynosiły na poszczególnych odcinkach rzeki odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 185 do 290 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio dla każdego odcinka 261 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od 160 do 260 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 215 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 160 do 300 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio 235 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$). Najwyższe stężenia zanotowano w lipcu 2007 r., najniższe we wrześniu 2007 r. Duża rozpiętość pomiędzy minimalnymi a maksymalnymi wartościami stężeń węglanu wapnia zanotowanymi w dopływach obszarowych w poszczególnych kampaniach pomiarowych potwierdza wcześniejsze spostrzeżenia, że na niektórych odcinkach Biebrza jest zasilana wodami mieszanymi powierzchniowo-podziemnymi. Dobowy ładunek węglanu wapnia przedostający się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 2,2 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (188 ton $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. 1,2 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (107 ton $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. 0,74 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{s}^{-1}$ (64 ton $\text{CaCO}_3 \cdot \text{doba}^{-1}$). Największy ładunek węglanu wapnia zanotowano w lipcu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., a więc proporcjonalnie do wielkości przepływów obszarowych.

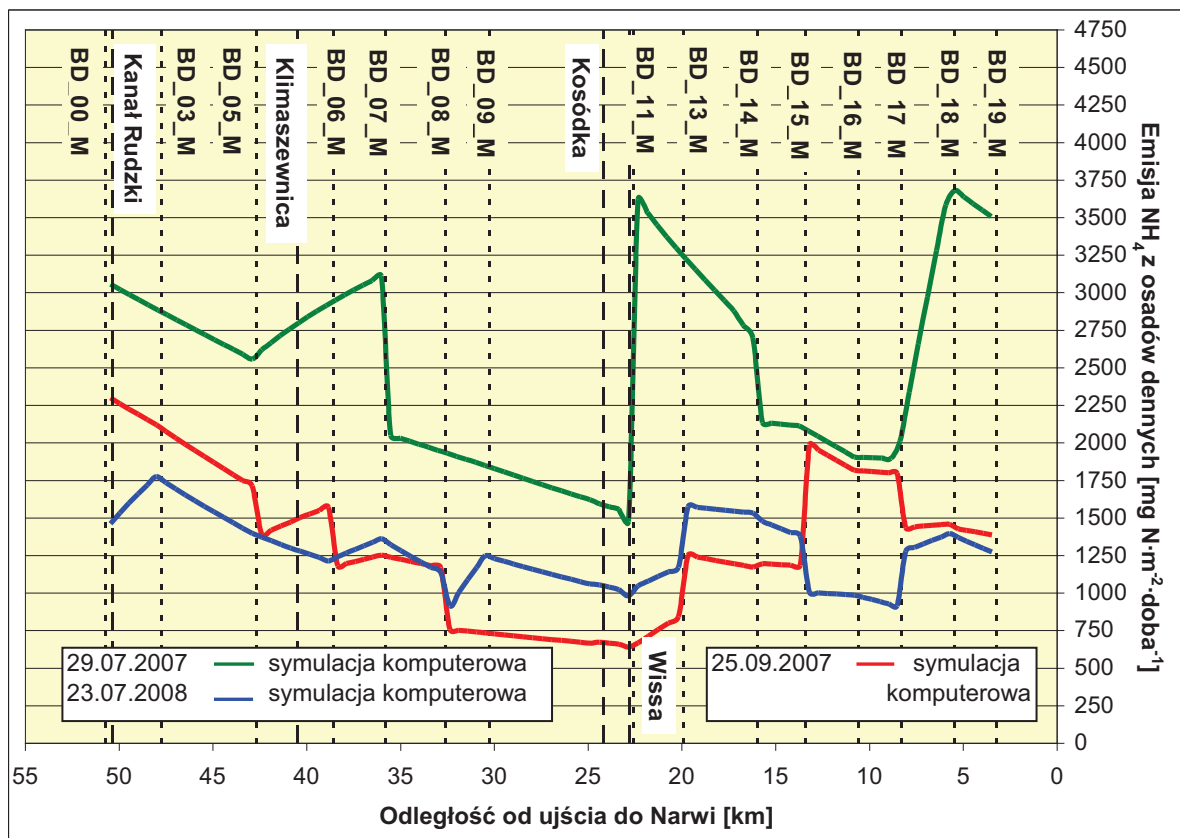


Rys. 6.38 Rozkład wielkości emisji azotanów(V) z osadów dennych do toni wodnej na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

6.3.16.13 Osady denne – azotany(V)

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych emisja azotanów(V) z osadów dennych do toni wodnej wynosiła odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 25,7 do 37,7 mg N·m⁻²·doba⁻¹, w dniu 25.09.2007 r. od 22,8 do 25 mg N·m⁻²·doba⁻¹ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 28,4 do 37,1 mg N·m⁻²·doba⁻¹. Charakterystyczne jest to, że pomimo diametralnie różnych warunków przepływu w lipcu 2007 r. („mokre” lato) oraz w lipcu 2008 r. („suche” lato) emisja azotanów(V) z dna Biebrzy w obydwu okresach była na podobnym poziomie (z przewagą dla lipca 2008 r.), natomiast we wrześniu 2007 r. była już znacznie mniejsza. Zauważalna jest też duża stabilność emisji azotanów(V) na całej długości koryta Biebrzy we wrześniu 2007 r. (23-25 mg N·m⁻²·doba⁻¹), czego nie można powiedzieć o obydwu letnich kampaniach pomiarowych, w których różnice pomiędzy wartością minimalną a maksymalną na poszczególnych odcinkach sięgały 12 mg N·m⁻²·doba⁻¹.

W przypadku azotanów(V) zachodziła specyficzna sytuacja: podczas gdy ich emisja z osadów dennych była najmniejsza we wrześniu 2007 r. a największa w lipcu 2007 r. oraz w lipcu 2008 r., stężenia tego parametru w wodzie Biebrzy były najwyższe we wrześniu 2007 r. oraz najniższe w okresie letnim. Wynikało to z dążenia układu woda-osady denne do wyrównania stężeń azotanów(V) pomiędzy tonią wodną a warstwą wody przydennej znajdującej się tuż nad osadami dennymi. Im mniejsze było stężenie azotanów(V) w toni

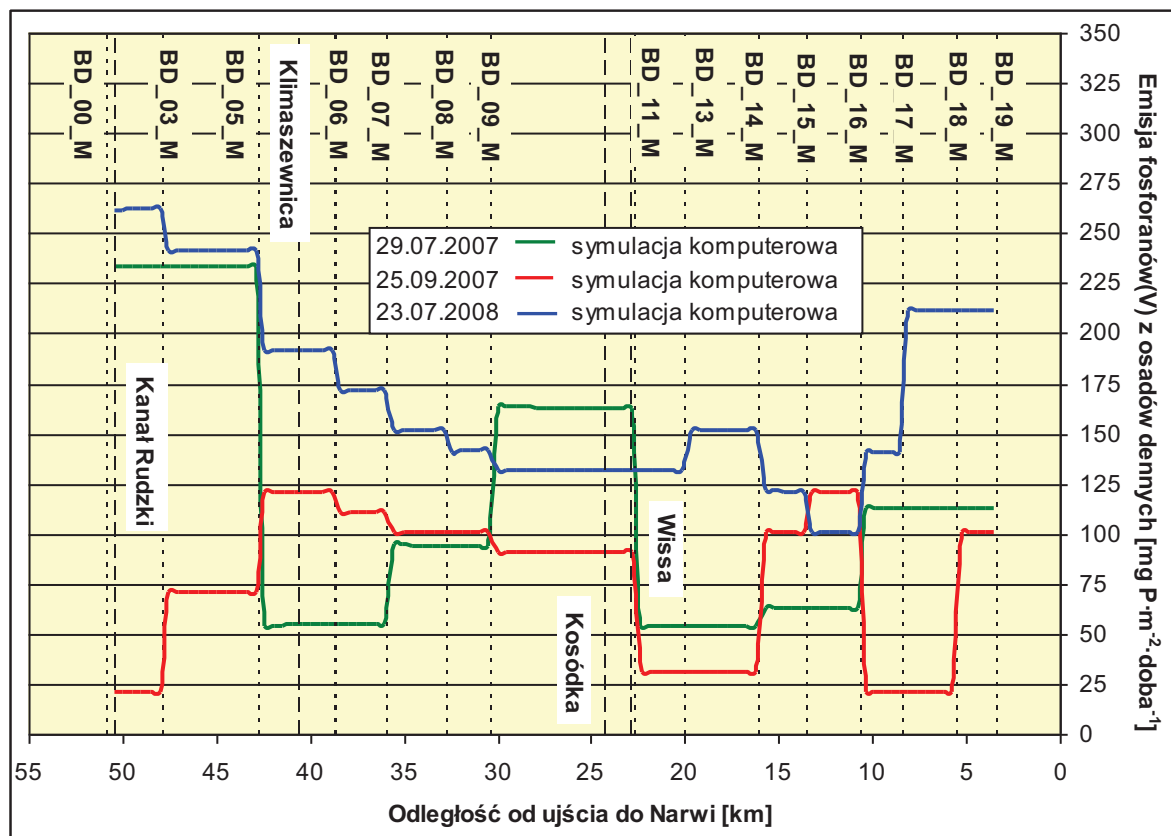


Rys. 6.39 Rozkład wielkości emisji amoniaku z osadów dennych do toni wodnej na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych w latach 2007-2008

wodnej Biebrzy tym intensywniej była ona zasilana nimi z osadów dennych. Porównując rozkład stężeń azotanów(V) w wodzie z rozkładem ich emisji z osadów dennych wzdłuż biegu Biebrzy widać wyraźnie, że pod względem tego parametru osady denne wpływały na jakość wody w największym stopniu w warunkach niskich stanów wody (lipiec 2008 r.), natomiast przy dużych przepływach (lipiec i wrzesień 2007 r.) wpływ ten nie był wyraźny.

6.3.16.14 Osady denne – amoniak

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych emisja amoniaku z osadów dennych do toni wodnej wynosiła odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 1,5 do 3,7 g N·m⁻²·doba⁻¹, w dniu 25.09.2007 r. od 0,6 do 2,3 g N·m⁻²·doba⁻¹ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,9 do 1,8 g N·m⁻²·doba⁻¹. Zdecydowanie największa emisja miała miejsce w lipcu 2007 r., natomiast emisje z września 2007 r. oraz lipca 2008 r. były na podobnym poziomie. Zauważalna jest duża niestabilność emisji amoniaku na całej długości koryta Biebrzy w lipcu 2007 r., kiedy to różnice pomiędzy wartością minimalną a maksymalną na poszczególnych odcinkach sięgały ponad 2,2 g N·m⁻²·doba⁻¹. Zachodziła wyraźna zbieżność pomiędzy wielkością stężeń tego parametru w wodzie Biebrzy a wielkością emisji z osadów dennych, tzn. zarówno stężenia jak i emisja były największe w lipcu 2007 r. oraz mniejsze, lecz zbliżone do siebie we wrześniu 2007 r. i lipcu 2008 r. Zjawisko to może wskazywać, że w

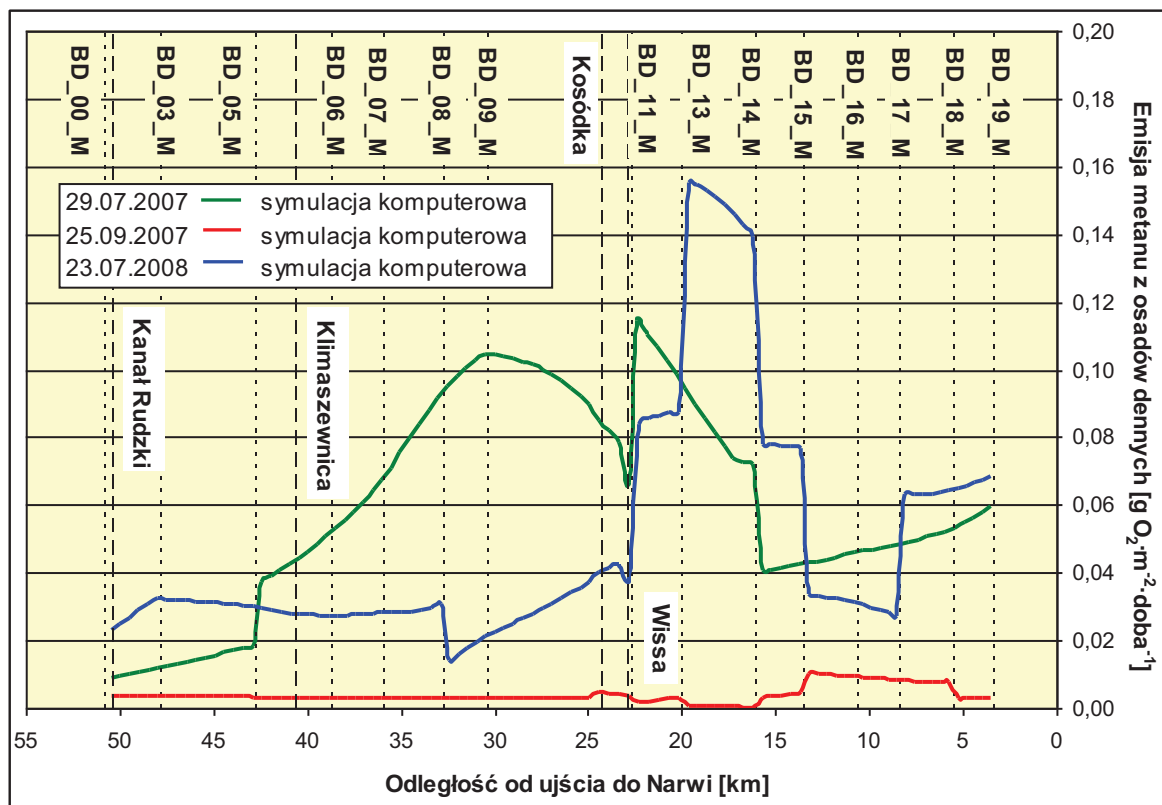


Rys. 6.40 Rozkład wielkości emisji fosforanów(V) z osadów dennych do toni wodnej na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych w latach 2007-2008

przypadku amoniaku osady dennie Biebrzy wpływają w sposób istotny na jej jakość bez względu na wielkość przepływu wody, choć z drugiej strony porównanie rozkładu stężeń amoniaku w wodzie z rozkładem jego emisji z osadów dennych wzdłuż biegu Biebrzy pokazuje, że wpływ ten był wyraźny tylko w warunkach niskich stanów wody (lipiec 2008 r.).

6.3.16.15 Osady dennie – fosforany(V)

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych emisja fosforanów(V) z osadów dennych do toni wodnej wynosiła odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 53 do 234 $\text{mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$ (średnio dla każdego odcinka $110 \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. od 21 do 121 $\text{mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$ (średnio $75 \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 101 do 262 $\text{mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$ (średnio $168 \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$). Największa emisja miała miejsce w lipcu 2008 r., najmniejsza we wrześniu 2007 r. Emisja fosforanów(V), wynosząca średnio na odcinek rzeki ponad $100 \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$, jest w literaturze fachowej uważana za znaczną (Kajak 1994) i świadczy o intensywnym zasilaniu wewnętrznym Biebrzy rozpuszczonym w wodzie fosforem mineralnym, zwłaszcza w okresie letnim. Wysoki poziom emisji zaobserwowany zarówno w lipcu 2007 r. jak i też w lipcu 2008 r. pokazuje, że osady dennie Biebrzy zasilają rzekę fosforem mineralnym zarówno przy dobrym natlenieniu wody jak i też w warunkach niskich stężeń tego pierwiastka. W obydwu letnich kampaniach

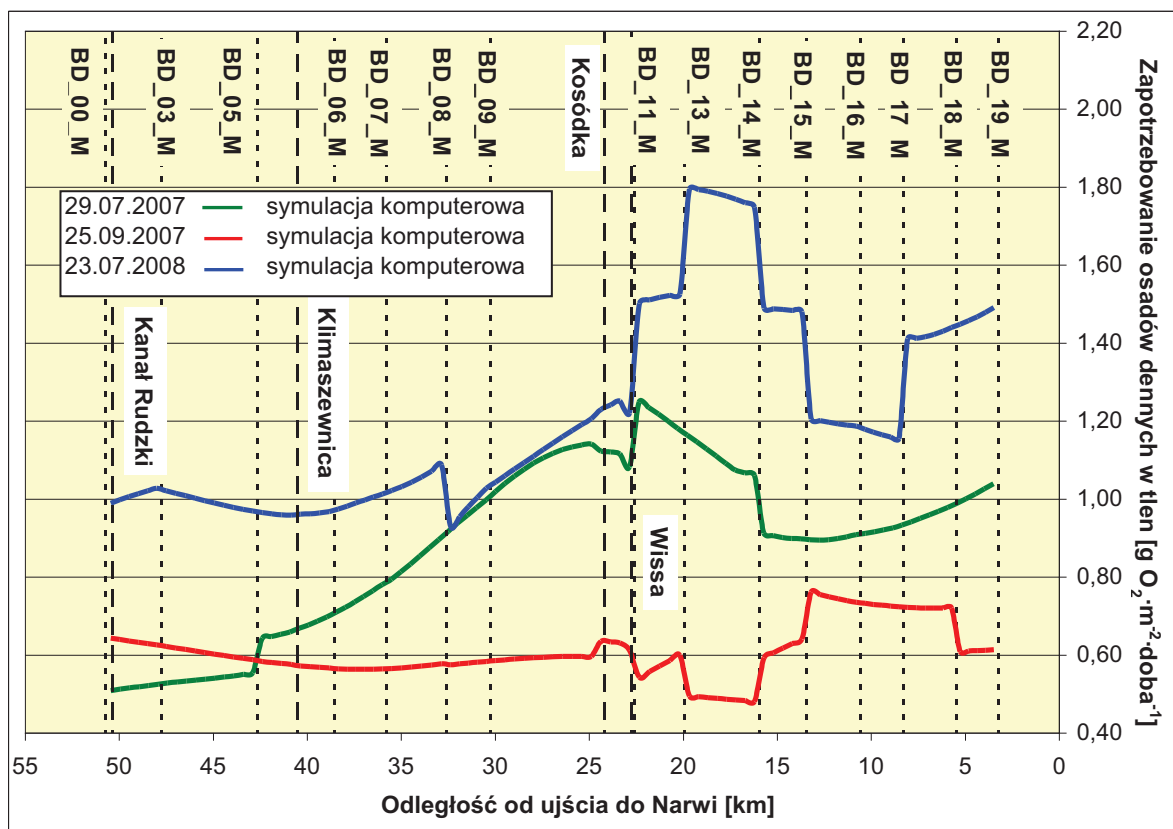


Rys. 6.41 Rozkład wielkości emisji metanu z osadów dennych do toni wodnej na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

pomiarowych najwyższa emisja fosforanów(V) miała miejsce na w pierwszym odcinku Biebrzy, tzn. od 51 do 48 km jej biegu, co może wskazywać na największe w całym korycie rzeczonym nagromadzenie fosforu w osadach dennych. Ponieważ na odcinku tym wpada do Biebrzy Kanał Rudzki taki wynik potwierdzałby wcześniejsze spostrzeżenia i wskazywał, iż dopływ ten jest odpowiedzialny nie tylko za wzrost stężeń fosforu mineralnego i ogólnego w Biebrzy Dolnej, ale również za odkładanie znacznych ilości fosforu w jej osadach dennych.

6.3.16.16 Osady denne – metan

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych emisja metanu z osadów dennych do toni wodnej wynosiła odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,01 do 0,1 g O₂·m⁻²·doba⁻¹, w dniu 25.09.2007 r. od 0 do 0,01 g O₂·m⁻²·doba⁻¹ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,01 do 0,16 g O₂·m⁻²·doba⁻¹, a więc była nieznaczna. Największa emisja miała miejsce w okresie letnim, tj. w lipcu 2008 r. oraz w lipcu 2007 r. Otrzymany wynik nie jest w pełni wiarygodny, ponieważ w modelu przemian biochemicznych – ze względów finansowych – zrezygnowano z oznaczania w próbkach wody stężeń węgla organicznego, a co za tym idzie jego zawartość w osadach dennych modelu została zaniżona. Należy przypuszczać, iż rzeczywista wartość emisji CH₄ jest znacznie wyższa, bowiem w osadach o dużym nagromadzeniu materii organicznej (co ma miejsce w Biebrzy) wytwarzają się znaczne ilości gazów, takich jak metan lub – w warunkach beztlenowych – siarkowodór (Kajak 1994).

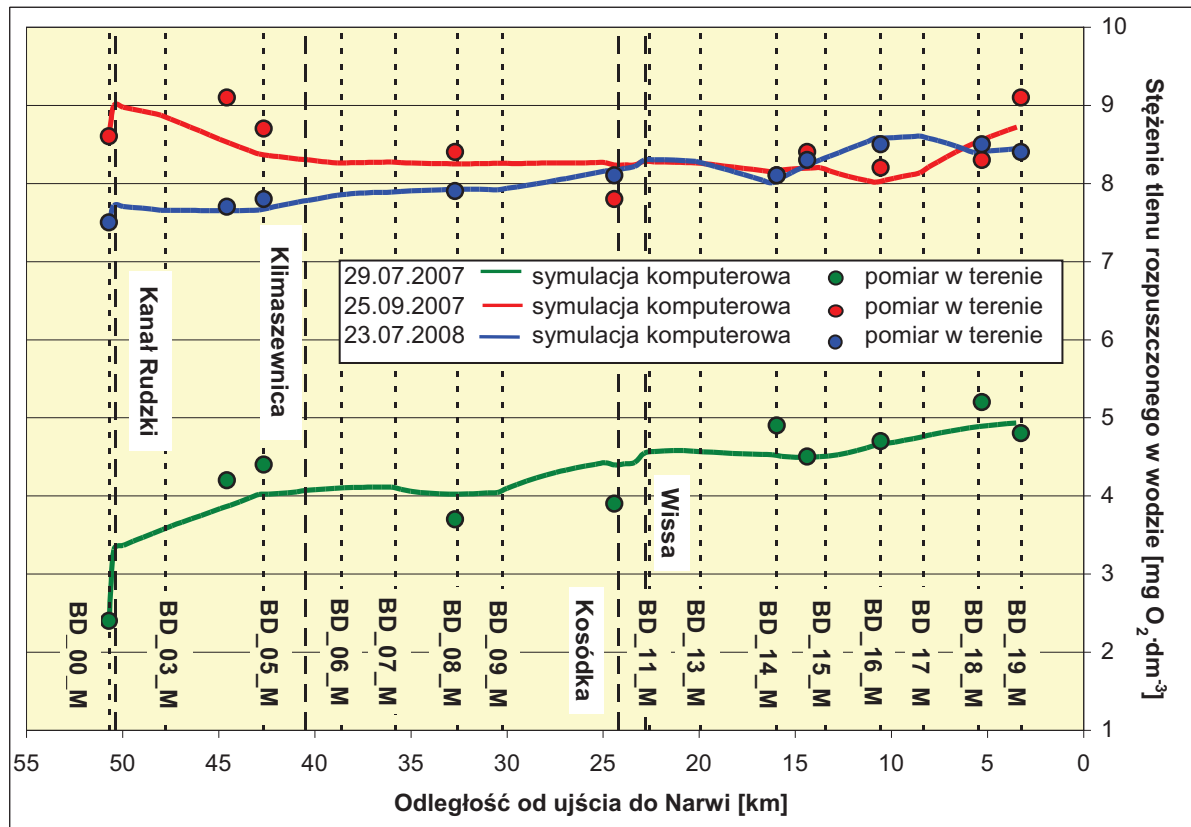


Rys. 6.42 Rozkład wielkości zapotrzebowania osadów dennych w tlen na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

6.3.16.17 Zapotrzebowanie osadów dennych w tlen

Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych zapotrzebowanie osadów dennych w tlen wynosiło odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 0,51 do 1,25 g O₂·m⁻²·doba⁻¹, w dniu 25.09.2007 r. od 0,48 do 0,76 g O₂·m⁻²·doba⁻¹ oraz w dniu 23.07.2008 r. od 0,93 do 1,8 g O₂·m⁻²·doba⁻¹. Największy pobór tlenu przez osady denne miał miejsce w lipcu 2008 r., najmniejszy we wrześniu 2007 r. W okresach letnich pobór tlenu przez osady denne był znacznie większy niż jesienią (wrzesień 2007 r.), co najprawdopodobniej oznacza, że spośród trzech kampanii pomiarowych tylko we wrześniu 2007 r. nad dnem Biebrzy występowało dobre natlenienie wody. Można przypuszczać, że skoro w lipcu 2007 r. w niektórych miejscach Biebrzy stężenie tlenu w wodzie (przy powierzchni) spadło do 2-3 mg O₂·dm⁻³ to przy dnie mogły wtedy wystąpić warunki beztlenowe, bowiem w cienkiej warstwie przydennej cieku stężenie tlenu jest zawsze dużo niższe niż w wodzie kilka lub kilkanaście centymetrów powyżej niej (Giziński, Falkowska 2003), a przecież głębokość koryta sięgała wtedy maksymalnie ponad 4 m.

Ponadto duże zapotrzebowanie osadów dennych w tlen w lipcu 2007/2008 r. wskazuje, że w wyższych temperaturach wody (20-21°C) następuje intensyfikacja procesów mineralizacji materii organicznej oraz utleniania wydobywającego się z osadów dennych amoniaku, na które przeznaczane są znaczne ilości tlenu. Porównanie rozkładów stężeń lub



Rys. 6.43 Rozkład stężeń tlenu rozpuszczonego w wodzie na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

emisji poszczególnych parametrów jakościowych wzdłuż biegu Biebrzy pokazało, że we wszystkich kampaniach pomiarowych największy wpływ na wartość zapotrzebowania osadów dennych w tlen miała wielkość emisji amoniaku oraz metanu.

6.3.16.18 Tlen rozpuszczony w wodzie

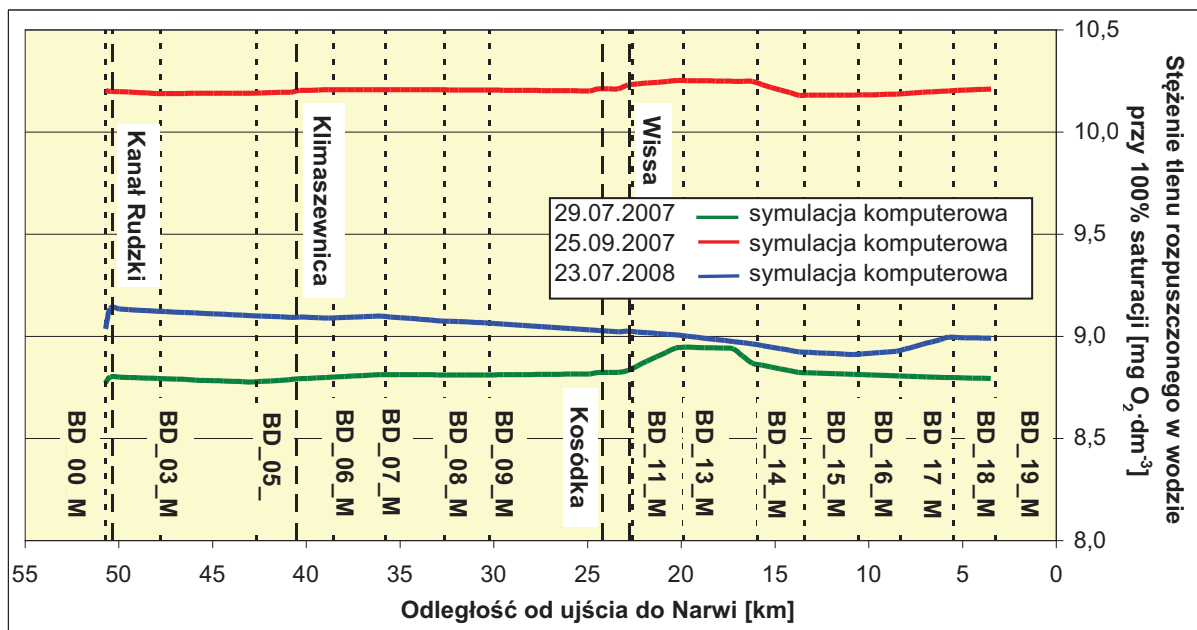
Biebrza Dolna. W poszczególnych kampaniach pomiarowych stężenie tlenu rozpuszczonego w Biebrzy wynosiło odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od 2,4 do 5,2 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ (średnio 4,3 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od 7,8 do 9,1 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ (średnio 8,5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od 7,5 do 8,5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ (średnio 8,1 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$). Najwyższe stężenia zanotowano w we wrześniu 2007 r. (I klasa czystości), nieco niższe w lipcu 2008 r. (I klasa czystości), natomiast zdecydowanie najmniej tlenu w wodzie było w lipcu 2007 r. (poniżej II klasy czystości). Oznaczanie tlenu w wodzie miało miejsce w ciągu dnia, w godzinach przedpołudniowych, więc analizując ten parametr należy brać pod uwagę naturalne, dobowe zmiany stężenia tlenu w wodzie – najwyższe zawartości O_2 notowane są w ciągu dnia (głównie dzięki przebiegowi fotosyntezy), natomiast najniższe nocą, gdy fotosynteza już nie zachodzi natomiast rozkład materii organicznej zużywający tlen jak najbardziej (Lampert, Sommer 1996). Oznacza to, że podane wyżej stężenia tlenu w Biebrzy były najprawdopodobniej jeszcze niższe w noc poprzedzającą pobór próbek wody.

W tym ostatnim okresie pomiarowym na odcinku początkowym Biebrzy Dolnej stężenie tlenu spadło niemal do poziomu letalnego dla ryb ($2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$), natomiast na całym odcinku praktycznie nie przekraczało progu $5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, co jest uważane za zakres stężeń szkodliwy dla większości organizmów wodnych (Giziński, Falkowska 2003). Niektóre publikacje naukowe podają, że stężenia tlenu w wodzie poniżej $3 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ występują w wodach zasilanych ściekami o dużej zawartości materii organicznej (Lampert, Sommer 1996). Dobowy ładunek tlenu rozpuszczonego w wodzie przedostający się poprzez przepływ obszarowy z koryta Biebrzy na mokradła (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $50,8 \text{ g O}_2 \cdot \text{s}^{-1}$ ($4390 \text{ kg O}_2 \cdot \text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $57,2 \text{ g O}_2 \cdot \text{s}^{-1}$ ($4939 \text{ kg O}_2 \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $28,5 \text{ g O}_2 \cdot \text{s}^{-1}$ ($2465 \text{ kg O}_2 \cdot \text{doba}^{-1}$). Największy dobowy ładunek tlenu rozpuszczonego zanotowano we wrześniu 2007 r., najmniejszy w lipcu 2008 r., czyli proporcjonalnie do wielkości przepływów obszarowych oraz stężeń tlenu w wodzie.

Dopływy punktowe Biebrzy. Stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie zanotowane w dopływach punktowych Biebrzy Dolnej wynosiły w poszczególnych kampaniach pomiarowych odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $2,6$ do $7,1 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, w dniu 25.09.2007 r. od $6,9$ do $9,7 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz w dniu 23.07.2008 r. od $4,6$ do $9,2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Najwyższe stężenia miały miejsce we wrześniu 2007 r., najniższe w lipcu 2007 r. i we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych najniższe stężenia tlenu wystąpiły w Kosódce. Dobowy ładunek tlenu rozpuszczonego w wodzie przedostający się poprzez dopływy punktowe do koryta Biebrzy Dolnej wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. $40,3 \text{ g O}_2 \cdot \text{s}^{-1}$ ($3486 \text{ kg O}_2 \cdot \text{doba}^{-1}$), w dniu 25.09.2007 r. $96,5 \text{ g O}_2 \cdot \text{s}^{-1}$ ($8340 \text{ kg O}_2 \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. $41,9 \text{ g O}_2 \cdot \text{s}^{-1}$ ($3623 \text{ kg O}_2 \cdot \text{doba}^{-1}$).

Największy ładunek tlenu rozpuszczonego zanotowano we wrześniu 2007 r., natomiast ładunki z lipca 2007 r. oraz z lipca 2008 r. były na podobnym poziomie, pomimo całkowicie odmiennych warunków przepływu. Zauważyć można, że jedynym dopływem punktowym, który we wszystkich trzech kampaniach pomiarowych powodował poniżej swojego ujścia wzrost stężenia tlenu w Biebrzy był Kanał Rudzki. Zjawisko to było szczególnie widoczne w lipcu 2007 r., co oznacza, że w sytuacji niskich stężeń tlenu w Biebrzy (np. gdy występuje tzw. „przyducha”) Kanał Rudzki ma zbawienny wpływ na warunki tlenowe panujące w Biebrzy.

Dopływy obszarowe Biebrzy. Wyniki kalibracji modelu przemian biochemicznych dla poszczególnych kampanii pomiarowych wykazały jednoznacznie, że stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie w dopływach obszarowych z torfowisk Basenu Dolnego były na podobnym poziomie lub nieco niższe i wynosiły na poszczególnych odcinkach koryta odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. od $3,7$ do $4,9 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio dla każdego odcinka $4,5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$), w dniu 25.09.2007 r. od $7,9$ do $9,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio $8,5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz w dniu 23.07.2008 r. od $7,6$ do $8,2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ (średnio $7,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$). Najwyższe średnie stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie zanotowano we wrześniu 2007 r.



Rys. 6.44 Rozkład stężeń tlenu rozpuszczonego w wodzie przy 100% saturacji na poszczególnych odcinkach Biebrzy Dolnej w kampaniach pomiarowych prowadzonych w latach 2007-2008

najniższe w lipcu 2007 r. Dobowy ładunek tlenu rozpuszczonego w wodzie przedostający się poprzez dopływy obszarowe do koryta Biebrzy (na całym odcinku Basenu Dolnego) wynosił dla poszczególnych kampanii odpowiednio: w dniu 29.07.2007 r. 35,2 g O₂·s⁻¹ (3039 kg O₂·doba⁻¹), w dniu 25.09.2007 r. 45,7 g O₂·s⁻¹ (3948 kg O₂·doba⁻¹) oraz w dniu 23.07.2008 r. 24,4 g O₂·s⁻¹ (2106 kg O₂·doba⁻¹). Największy ładunek tlenu rozpuszczonego w wodzie zanotowano we wrześniu 2007 r., przy najwyższych stężeniach tlenu w wodzie oraz jednych z największych przepływów obszarowych, natomiast pomimo wysokich stężeń tlenu w lipcu 2008 r. ładunek dobowy z tego okresu, ze względu na niewielki przepływ obszarowy z mokradeł, był najmniejszy spośród trzech okresów pomiarowych.

Deficyt tlenowy. Zjawisko niedoboru tlenu występuje wtedy, gdy zawartość O₂ rozpuszczonego w wodzie wynosi mniej niż 100% jego nasycenia. Wartość deficytu została wyznaczona jako stosunek różnicy pomiędzy stężeniem tlenu przy 100% saturacji (Rys. 6.44) a faktycznym stężeniem tlenu (Rys. 6.43) do wartości stężenia tlenu przy 100% saturacji, co obrazuje tabela 6.20. Deficyt tlenu występował we wszystkich okresach pomiarowych, we wszystkich wodach powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy, przy czym najlepsze warunki tlenowe panowały zawsze w Kanale Rudzkim. Największy deficyt tlenu wystąpił w poszczególnych ciekach w lipcu 2007 r., przy czym w samej Biebrzy niedobór tlenu wynosił na niektórych odcinkach nawet ponad 70%. Równie fatalne warunki tlenowe panowały tylko w ujściowym odcinku Kosódki, natomiast w Kanale Rudzkim, Klimaszewnicy oraz Wissie deficyt tlenu wynosił zaledwie ok. 20-30%.

Pomimo zachodzącego wówczas dobrego mieszania się wody w korycie rzeczonym (duże przepływy, wysokie prędkości przepływu) oraz wynikającego z tego odpowiedniego natlenienia, a także wysokiej produkcji tlenu w procesie fotosyntezy, doszło w Biebrzy (oraz

Tabela 6.20 Deficyt tlenowy w ciekach Basenu Dolnego Biebrzy wyznaczony dla poszczególnych kampanii pomiarowych 2007-2008

Rzeka	Parametr tlenowy	Data poboru próbek		
		29.07.2007	25.09.2007	23.07.2008
Biebrza	Zmierzone stężenie tlenu [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	2,4-5,2	7,8-9,1	7,5-8,5
	Stężenie tlenu przy 100% saturacji [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	8,8-8,9	10,2-10,3	8,9-9,1
	Temperatura wody [$^{\circ}\text{C}$]	21	14	19-20
	Deficyt tlenu [%]	42-73	12-24	7-18
Kanał Rudzki	Zmierzone stężenie tlenu [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	7,1	9,7	8,2
	Stężenie tlenu przy 100% saturacji [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	9,1	10,3	9,6
	Temperatura wody [$^{\circ}\text{C}$]	20	14	18
	Deficyt tlenu [%]	22	6	15
Klimaszewnica	Zmierzone stężenie tlenu [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	6,6	8,6	7,2
	Stężenie tlenu przy 100% saturacji [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	9,4	11,1	10,1
	Temperatura wody [$^{\circ}\text{C}$]	19	11	15
	Deficyt tlenu [%]	30	23	29
Kosódka	Zmierzone stężenie tlenu [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	2,6	6,9	4,6
	Stężenie tlenu przy 100% saturacji [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	9,4	10,8	9,4
	Temperatura wody [$^{\circ}\text{C}$]	19	12	19
	Deficyt tlenu [%]	72	36	51
Wissa	Zmierzone stężenie tlenu [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	6,2	8,8	9,2
	Stężenie tlenu przy 100% saturacji [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	9,1	10,6	9,4
	Temperatura wody [$^{\circ}\text{C}$]	20	13	19
	Deficyt tlenu [%]	32	17	2

w Kosódce) do znacznych deficytów tlenowych. Uważa się, że tego typu sytuacje są zazwyczaj spowodowane znacznym dopływem allochtonicznej materii organicznej do cieków, gdzie podlega ona procesom rozkładu konsumującym tlen zawarty w wodzie (Kajak 1994). Dotyczy to zwłaszcza obszarów o zwartej roślinności zanurzonej, takich jak mokradła porośnięte trzcinowiskami, gdzie dostęp światła do tafli wody jest bardzo ograniczony, a zatem produkcja tlenu na drodze fotosyntezy zminimalizowana. Przy danej temperaturze oraz natlenieniu wody skala oddziaływania na rzekę procesów biochemicznych konsumujących tlen rozpuszczony zależy głównie od ilości substancji organicznej oraz jej podatności na rozkład (Kajak 1994).

Tezę tę potwierdzają wyniki analiz chemicznych oraz symulacji komputerowych, które wykazały, że we wszystkich kampaniach pomiarowych Biebrza Dolna była zasilana znaczną ilością materii organicznej pochodzącej z torfowisk. Najbardziej charakterystycznym okresem był lipiec 2007 r., kiedy to Biebrza była zasilana ogromną ilością podstawowych składników materii organicznej pochodzącej z torfowisk, tj. azotem oraz fosforem organicznym. Azot, na skutek hydrolizy, ulegał przeobrażeniu w azot amonowy, a ten z kolei na drodze nityfikacji utleniał się do azotu azotanowego(III) a następnie azotu azotanowego(V). Im szybciej postępował proces nityfikacji azotu tym szybciej Biebrza samoczynnie oczyszczała się z

nadmiaru azotu organicznego, jednak równocześnie tym intensywniej zużywane były zapasy tlenu zawarte w wodzie. Ponieważ w wyższej temperaturze, tj. ok. 20-25°C (co miało miejsce w lipcu 2007 r.), mniej tlenu rozpuszcza się w wodzie, dlatego też jego zasoby były zużywane o wiele szybciej (Lampert, Sommer 1996).

Dodatkowym czynnikiem, wpływającym na zużycie tlenu zawartego w wodzie nie tylko w lipcu 2007 r., ale również w pozostałych kampaniach pomiarowych, było znaczne zapotrzebowanie osadów dennych w tlen wynikające w głównej mierze z utleniania powstałych tam dużych ilości amoniaku oraz metanu. Emisja amoniaku z osadów dennych do toni wodnej w lipcu 2007 r. sięgała $3,7 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$ i była jednym z ważniejszych czynników wpływających na duży deficyt tlenu w wodzie w tym okresie. Porównanie stężeń parametrów jakościowych w próbkach wody pobranych w dniu 23.07.2008 r. w sześciu punktach pomiarowych zlokalizowanych na całej długości Biebrzy Dolnej, zarówno przy powierzchni wody jak i też w strefie przydennej (tabela 5.14) wykazało, że średnie stężenia w wodzie przydennej były wyższe niż w toni wodnej, w tym: fosforu organicznego o 39%, amoniaku o 20%, azotanów(V) o 7%, odczynu o 0,2 oraz temperatury wody o 0,2-0,5°C. Deficyt tlenu to jeden z podstawowych objawów nadmiernej eutrofizacji wód powierzchniowych (Giziński, Falkowska 2003). Jednym ze skutków niedoboru tlenu w wodzie jest przewaga wydzielania fosforu mineralnego z osadów dennych nad jego przenikaniem z toni wodnej do osadów (Giziński, Falkowska 2003), przy czym im większy jest deficyt tlenu tym szybciej fosforany(V) uwalniają się z osadów (Kajak 1994).

6.3.17 Podsumowanie i wnioski

Wyniki symulacji jakości wód powierzchniowych Biebrzy oraz wymiany składników tych wód pomiędzy rzeką a otaczającymi ją mokradłami w poszczególnych kampaniach pomiarowych dowodzą, że wszystkie trzy modele zostały poprawnie skonstruowane i skalibrowane. Ze względu na fakt, iż poszczególne kampanie pomiarowe odzwierciedlały nie tylko różne warunki hydrologiczne (wysokie i niskie stany wody), ale również odmienne pory roku (lato, jesień), inne warunki pogodowe oraz różne lata (2007, 2008) porównywalność końcowych danych jakościowych nie jest aż tak wyrazista jak w przypadku modelu wymiany ciepła czy też modelu przepływu wody. Niemniej jednak otrzymane wyniki symulacji a także wyniki kalibracji poszczególnych parametrów jakościowych oraz parametrów regulujących przemiany biochemiczne wyraźnie wskazują na powtarzalność pewnych zjawisk i procesów zachodzących w konkretnych miejscach na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy, co jest wystarczającym dowodem świadczącym o pełnej weryfikacji poszczególnych modeli jakościowych. Ostateczne wnioski, jakie nasuwają się po analizie wyników symulacji komputerowych wygenerowanych dla każdej kampanii pomiarowej przez model przemian biochemicznych zachodzących w Biebrzy, są następujące:

- 1) Wyniki analiz chemicznych próbek wody z Biebrzy oraz efekty symulacji komputerowych jakości wód powierzchniowych Basenu Dolnego w poszczególnych kampaniach

pomiarowych wykazały, że mokradła (podmokłe torfowiska) otaczające Biebrzę są głównym źródłem azotu organicznego występującego w rzece w znacznych ilościach, przy czym największe stężenia tej formy azotu miały miejsce zawsze w okresie letnim (lipiec 2007/2008 r.). Azot organiczny dostaje się do Biebrzy jako główny składnik materii organicznej (zawierającej również organiczny fosfor oraz węgiel) wyflukanej z pokładów torfu, a następnie przetransportowanej obszarowo z mokradeł do koryta rzecznego. Badania naukowe wykazały, że w warstwie korzeniowej gleb torfowych (0-20 cm) znajduje się na jednym hektarze od 5 do 20 ton azotu zawartego w związkach organicznych (Okruszko H. 1997). Proces ten nasila się w okresie letnim, gdyż wtedy torfowiska wysychają (zwłaszcza wierzchnia warstwa tworzącego je torfu) na skutek dużego nasłonecznienia oraz słabego nawodnienia będącego efektem coraz mniejszych zalewów wiosennych w Dolinie Biebrzy. Największe zagrożenie jakości wody w Biebrzy występuje w przypadku tzw. „mokrego” lata (np. lipiec 2007 r.) obfitującego w opady atmosferyczne oraz wysokie stany wody w rzece, zwłaszcza gdy poprzedza je kilku- lub kilkunastodniowy okres pięknej, słonecznej pogody. W takich warunkach, ze względu na znaczne przepływy obszarowe, sumaryczny ładunek azotu organicznego przedostającego się do koryta Biebrzy Dolnej (na całej jej długości, tzn. od miejscowości Osowiec aż po ujście do Narwi) z dopływów obszarowych jest bardzo duży i np. w lipcu 2007 r. wyniósł ponad $4800 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$, przy stężeniach w wodzie dopływającej z torfowisk wynoszących od 1 do $8,5 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym samym czasie sumaryczny ładunek azotu organicznego z dopływów punktowych Biebrzy Dolnej (Kanał Rudzki, Klimaszewnica, Kosódka i Wissa) wyniósł $924 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$, a więc był pięciokrotnie mniejszy. W przypadku tzw. „suchego” lata, charakteryzującego się niewielką ilością opadów atmosferycznych oraz niskimi stanami wody w Biebrzy (np. lipiec 2008 r.), stężenie azotu organicznego w dopływach obszarowych znacznie wzrasta, jednak z powodu niewielkich przepływów obszarowych sumaryczny ładunek azotu organicznego zasilającego Biebrzę z mokradeł jest znacznie mniejszy, np. w lipcu 2008 r. wyniósł ok. $2000 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$, przy stężeniach w wodzie dopływającej z torfowisk wynoszących od 5 do $8 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym samym czasie sumaryczny ładunek azotu organicznego z dopływów punktowych Biebrzy Dolnej wyniósł $282 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$, a więc był siedmiokrotnie mniejszy. Przeprowadzony dla poszczególnych okresów pomiarowych bilans wymiany ładunków składników wód pomiędzy Biebrzą a otaczającymi ją mokradłami wykazał, że sumaryczny ładunek azotu organicznego, jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę był zawsze co najmniej kilkakrotnie większy od ładunku transportowanego z powrotem z Biebrzy na mokradła. Oznacza to, że w sezonie wegetacyjnym, bez względu na warunki hydrologiczne, mokradła są dla Biebrzy największym źródłem azotu organicznego na obszarze Basenu Dolnego. Z powodu bardzo wysokich stężeń azotu organicznego (wskaźnik – azot Kjeldahla) czystość wód Biebrzy w okresach wysokich stanów wody, zwłaszcza w porze letniej, spada do III lub IV klasy czystości wg Rozporządzenia Ministra

Środowiska z 2004 r. (Rozporządzenie 2004a), co jest równoznaczne II lub „poniżej II klasy czystości” wg Rozporządzenia MŚ z 2008 r. (Rozporządzenie 2008).

- 2) Charakterystycznym zjawiskiem, zachodzącym w sezonie wegetacyjnym na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy, jest wysoki udział azotu organicznego w stosunku do azotu ogólnego zawartego w wodzie. W poszczególnych kampaniach pomiarowych wynosił on w Biebrzy średnio: w dniu 29.07.2007 r. 83%, w dniu 25.09.2007 r. 79% oraz w dniu 23.07.2008 r. 76%, co wskazuje, że zjawisko to jest wprost proporcjonalne do wielkości przepływów obszarowych oraz stanów wody w rzece, a zatem wynika z zasilania azotem organicznym pochodzącym z torfowisk otaczających Biebrzę.
- 3) Drugim podstawowym składnikiem materii organicznej dopływającej obszarowo z mokradeł do koryta Biebrzy Dolnej jest fosfor organiczny, przy czym jego ilości są kilkunasto- a nawet kilkudziesięciokrotnie mniejsze niż azotu organicznego. Analogicznie jak w przypadku tego ostatniego największe ilości organicznej formy fosforu pojawiają się w Biebrzy w okresie letnim, zwłaszcza w trakcie tzw. „mokrego” lata, np. w lipcu 2007 r. sumaryczny ładunek fosforu organicznego przedostającego się do koryta Biebrzy (na całej jej długości) z dopływów obszarowych wyniósł $187 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$, przy stężeniach w wodzie dopływającej z torfowisk wynoszących od 0,08 do 0,45 $\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym samym czasie sumaryczny ładunek fosforu organicznego z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł $59 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$, a więc był trzykrotnie mniejszy. W przypadku tzw. „suchego” lata (np. lipiec 2008 r.), stężenie fosforu organicznego w dopływach obszarowych wzrasta, jednak z powodu niewielkich przepływów obszarowych sumaryczny ładunek zasilający Biebrzę z mokradeł jest znacznie mniejszy, np. w lipcu 2008 r. wyniósł $74 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$, przy stężeniach w wodzie dopływającej z torfowisk wynoszących od 0,05 do 0,5 $\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym samym czasie sumaryczny ładunek fosforu organicznego z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł $17 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$, a więc był czterokrotnie mniejszy. Przeprowadzony dla poszczególnych okresów pomiarowych bilans wymiany ładunków składników wód powierzchniowych pomiędzy Biebrzą a otaczającymi ją mokradłami wykazał, że sumaryczny ładunek organicznej formy fosforu, jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę był zawsze co najmniej kilkakrotnie większy od ładunku transportowanego z powrotem z Biebrzy na mokradła. Oznacza to, że w sezonie wegetacyjnym, bez względu na warunki hydrologiczne, mokradła są dla Biebrzy największym źródłem fosforu organicznego na obszarze Basenu Dolnego.
- 4) Konsekwencją zasilania Biebrzy Dolnej dużą ilością rozkładalnej materii organicznej była intensyfikacja zachodzących w niej procesów biochemicznych, które w sposób naturalny zmierzały do oczyszczenia rzeki poprzez mineralizację (rozkład) nadmiaru materii organicznej. Rozkład materii organicznej odbywał się zarówno w toni wodnej jak i też w osadach dennych, w których – na skutek opadania na dno większych cząstek – stopniowo gromadziły się zasoby nierozpuszczalnego w wodzie fosforu organicznego, węgla organicznego a także części azotu. Największy wpływ na czystość Biebrzy okazał

się mieć kilkuetapowy proces mineralizacji azotu organicznego, w tym szczególnie proces nityfikacji azotu amonowego powstałego w znacznych ilościach na skutek hydrolizy i dezaminacji azotu organicznego. Nityfikacja azotu, w wyniku której azot amonowy ulegał utlenieniu do azotu azotanowego(III), a ten z kolei do azotu azotanowego(V) prowadziła do spadku stężeń azotu organicznego w wodzie, ale równocześnie wywoływała wzrost stężeń azotanów(V) – podstawowego składnika pokarmowego roślin odpowiedzialnego (w nadmiarze) za eutrofizację wód. Wzrost ten był tym większy im lepsze warunki tlenowe panowały w Biebrzy, dlatego też największe tempo nityfikacji oraz najwyższe stężenia azotu azotanowego(V) zanotowano we wrześniu 2007 r. (od 0,16 do 0,2 mg N·dm⁻³), natomiast najwolniejszy przebieg nityfikacji (dwukrotnie mniejszy niż we wrześniu 2007 r.) oraz najniższe stężenia azotu azotanowego(V) miały miejsce w lipcu 2007 r. (od 0,10 do 0,12 mg N·dm⁻³). Zależność stężeń azotu azotanowego(V) od stężeń tlenu rozpuszczonego w wodzie wynikała nie tylko z bezpośredniego zużycia tlenu w procesie nityfikacji, ale również była konsekwencją zjawisk zachodzących w strefie przydennej Biebrzy. W przypadku bardzo niskich stężeń tlenu w wodzie przypowierzchniowej (lipiec 2007 r.) w strefie przydennej wytwarzały się warunki zbliżone do beztlenowych, co w efekcie prowadziło do odwrócenia procesu nityfikacji, czyli uruchomienia procesu denityfikacji, w wyniku którego z azotu azotanowego(V) powstawał amoniak. Zjawisko to prowadziło bezpośrednio do spadku stężeń azotanów(V) w strefie przydennej rzeki, a pośrednio – poprzez wyrównanie stężeń w układzie woda-osady denne – również w toni wodnej. Największe tempo przebiegu denityfikacji w warstwie przydennej Biebrzy zaobserwowano w lipcu 2007 r., natomiast najmniejsze (prawie czterokrotnie mniejsze) we wrześniu 2007 r., co wynikało z panujących wówczas dobrych warunków tlenowych.

- 5) Równocześnie z przebiegiem hydrolizy azotu organicznego w Biebrzy zachodziła hydroliza fosforu organicznego, jednak ze względu na znacznie mniejszą jego podatność na wspomniane zjawisko (w porównaniu do azotu organicznego) największy wpływ na spadek stężeń fosforu organicznego w wodzie miało opadanie na dno nierozpuszczalnych cząstek materii organicznej. Nieuniknionym skutkiem hydrolizy fosforu organicznego był wzrost stężeń fosforu mineralnego, jednakże z powodu dużej zawartości w wodzie wapnia (a także żelaza), fosfor mineralny był szybko wytrącany z wody, np. jako Ca₃(PO)₄ lub FePO₄, po czym opadał na dno rzeki. W ten sposób fosfor, zarówno organiczny jak i też mineralny, przedostający się do wód powierzchniowych był stosunkowo szybko kumulowany w osadach dennych, gdzie następowała mineralizacja organicznej jego formy. W efekcie, w osadach dennych Biebrzy przybywało zasobów fosforu mineralnego wprost proporcjonalnie do zasilania fosforem organicznym z mokradeł oraz fosforem organicznym i mineralnym z dopływów punktowych. Konsekwencją tych zjawisk była późniejsza znaczna emisja fosforanów(V) z osadów dennych do toni wodnej Biebrzy, czyli tzw. zasilanie wtórne, które w poszczególnych

kampaniach pomiarowych wyniosło (średnio dla każdego odcinka rzeki): 110 mg $P \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$ w dniu 29.07.2007 r., 75 mg $P \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz 168 mg $P \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$ w dniu 23.07.2008 r. Obliczony na tej podstawie dobowy ładunek fosforu mineralnego, jaki na całej długości koryta przenikał z osadów dennych Biebrzy do toni wodnej, wyniósł: 43,5 kg $P \cdot doba^{-1}$ w dniu 29.07.2007 r., 35,4 kg $P \cdot doba^{-1}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz 105 kg $P \cdot doba^{-1}$ w dniu 23.07.2008 r. Należy przy tym zaznaczyć, że w emisji fosforanów(V) z osadów dennych nie uczestniczyła cała powierzchnia dna rzeki, ale tylko pewna jej część, tzn. 49% powierzchni dna w dniu 29.07.2007 r., 55% w dniu 25.09.2007 r. oraz 34% w dniu 23.07.2008 r. Powyższe wyniki świadczą o intensywnym zasilaniu wewnętrznym Biebrzy rozpuszczonym w wodzie fosforem mineralnym, zwłaszcza w okresie letnim i to bez względu na warunki tlenowe. Najwyższy poziom emisji fosforanów(V) w okresie letnim, wskazujący na największe w całym korycie rzeczonym nagromadzenie fosforu w osadach dennych, miał miejsce na w pierwszym odcinku Biebrzy, tj. od 51 do 48 km jej biegu, tam gdzie do rzeki wpada Kanał Rudzki. Spostrzeżenie to pokrywa się z wynikami analiz chemicznych, które wykazały, że Kanał Rudzki jest najpoważniejszym źródłem fosforu spośród wszystkich dopływów punktowych Biebrzy Dolnej. Oznacza to, że ciek ten jest odpowiedzialny nie tylko za wzrost stężeń fosforu mineralnego i ogólnego w Biebrzy, ale również za odkładanie znacznych ilości tego pierwiastka w jej osadach dennych.

- 6) Stężenia fosforu organicznego w stosunku do fosforu ogólnego transportowanego w Biebrzy Dolnej wynosiły na całej długości koryta średnio: 49% w dniu 29.07.2007 r., 49% w dniu 25.09.2007 r. oraz 33% w dniu 23.07.2008 r. Oznacza to, że w przypadku wysokich stanów wód w sezonie wegetacyjnym proporcja pomiędzy fosforem organicznym a mineralnym wynosi w Biebrzy ok. 1:1, natomiast przy niskich stanach wód proporcja ta zmienia się na korzyść fosforu mineralnego, który okazuje się być w takich warunkach dominującą formą fosforu występującego w Biebrzy.
- 7) Pierwszą, podstawową konsekwencją mineralizacji dużych ilości materii organicznej, w tym zwłaszcza nityfikacji azotu, był znaczny wzrost zużycia tlenu rozpuszczonego w wodach powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy. W każdym okresie pomiarowym, zarówno przy niskich jak i też wysokich stanach wód oraz bez względu na porę sezonu wegetacyjnego (lato, jesień), we wszystkich ciekach powierzchniowych Basenu Dolnego występował deficyt tlenowy, tzn. nasycenie tego pierwiastka w wodzie wynosiło mniej niż 100%. Największy niedobór tlenu, sięgający w Biebrzy i Kosódce 73% (nasycenie 27%), wystąpił w lipcu 2007 r. podczas wysokich stanów wody, dużych przepływów obszarowych oraz znacznego zasilania z mokradeł materią organiczną pochodzącą z odwadnianych torfowisk. W tym czasie stężenie tlenu w Biebrzy wynosiło od 2,4 do 5,2 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$, co oznacza że w przypadku ciepłego i „mokrego” lata warunki tlenowe panujące w rzece pogarszają się do takiego stopnia, iż są szkodliwe dla większości organizmów wodnych (Giziński, Falkowska 2003) osiągając sporadycznie i lokalnie

poziom masowej śmiertelności ryb z powodu uduszenia (tzw. „przyduchy” występującej przy stężeniu tlenu wynoszącym $2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$), co miało miejsce np. w czerwcu 2005 r. W pozostałych okresach pomiarowych stężenie tlenu w Biebrzy wynosiło odpowiednio: od 7,8 do 9,1 $\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 7,5 do 8,5 $\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 23.07.2008 r. Porównanie wartości deficytów tlenowych w poszczególnych kampaniach pomiarowych z warunkami naturalnymi, jakie wtedy panowały wskazuje, że niedobór tlenu w Biebrzy jest wprost proporcjonalny do temperatury jej wód oraz poziomu zasilania materią organiczną pochodzącą z torfowisk. Oznacza to, że najgorsze warunki tlenowe w rzece występują zawsze w okresie letnim, bowiem gdy temperatura wód powierzchniowych przekracza $20\text{-}21^\circ\text{C}$ coraz mniej tlenu rozpuszcza się w wodzie. Należy przypuszczać, że analogiczne lub nawet gorsze warunki tlenowe panują wtedy na mokradłach, gdyż po pierwsze są to wody niemal stojące, po drugie na obszarach o zwartej roślinności zanurzonej przebieg fotosyntezy jest zminimalizowany ze względu na ograniczony dostęp promieniowania słonecznego i po trzecie stężenie materii organicznej w wodzie jest tam największe. Przyczyną występowania deficytów tlenowych w Biebrzy oraz jej dopływach jest przebieg procesów biochemicznego rozkładu znacznej ilości materii organicznej dopływającej obszarowo z odwadnianych torfowisk, w szczególności dotyczy to azotu, którego mineralizacja – na drodze nityfikacji – jest jednym z najważniejszych procesów konsumujących tlen rozpuszczony w wodzie. Z powodu niskich stężeń tlenu w wodzie jakość wód Biebrzy w okresach letnich, wysokich stanów wody spada do IV lub V klasy czystości wg Rozporządzenia MŚ z 2004 r., co jest równoznaczne „poniżej II klasy czystości” wg Rozporządzenia MŚ z 2008 r.

- 8) Drugim istotnym źródłem ubytków tlenu w Biebrzy było znaczne zapotrzebowanie osadów dennych w ten pierwiastek, wynikające z rozkładu nagromadzonej tam materii organicznej oraz utleniania produktów rozkładu, tj. amoniaku i metanu. Latem, przy temperaturze wody powyżej 20°C , następuje intensyfikacja procesów biochemicznego rozkładu materii organicznej zalegającej na dnie rzeki skutkująca większym zużyciem tlenu rozpuszczonego w wodzie oraz wyższą o $0,2\text{-}0,5^\circ\text{C}$ temperaturą wód przydennych w stosunku do wód przypowierzchniowych. Wskazują na to wysokie wartości zapotrzebowania osadów dennych w tlen zanotowane w lipcu 2007 r. (od 0,5 do 1,2 $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$) oraz w lipcu 2008 r. (od 0,9 do 1,8 $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$), znacznie wyższe niż we wrześniu 2007 r. (od 0,5 do 0,8 $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$). Ponadto wyniki pomiarów temperatury wody w Biebrzy przeprowadzone w lipcu 2008 r. na całej długości rzeki (tabela 5.9), a także wartości emisji amoniaku z osadów dennych (od 1,5 do 3,7 $\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 29.07.2007 r., od 0,6 do 2,3 $\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 0,9 do 1,8 $\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 23.07.2008 r.). W przypadku, gdy wysokie zapotrzebowanie osadów dennych w tlen występowało równocześnie z niskimi stężeniami tego pierwiastka w wodzie dochodziło do sytuacji (lipiec 2007 r.), w której w strefie przydennej Biebrzy występowały bardzo niskie stężenia tlenu lub też jego możliwy

brak, o czym świadczą wysokie wartości tempa przebiegu denitryfikacji w warstwie przydennej w modelu przemian biochemicznych. Jednym ze skutków niedoboru tlenu w ciekach powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy jest występująca wtedy przewaga wydzielania fosforu mineralnego z osadów dennych nad jego przenikaniem z toni wodnej do osadów, co w dłuższej perspektywie czasu oznacza wzrost zasilania wewnętrznego Biebrzy fosforem mineralnym.

- 9) Porównanie stężeń parametrów jakościowych w próbkach wód przydennych oraz przypowierzchniowych pobranych w dniu 23.07.2008 r. w sześciu punktach pomiarowych, zlokalizowanych na całej długości Biebrzy Dolnej, wykazało, że średnie stężenia w wodzie przydennej były równe lub wyższe niż w toni wodnej, w tym: fosforu organicznego o 39%, amoniaku o 20% oraz azotanów(V) o 7%. Równocześnie okazało się, że wielkość stężeń azotu amonowego w toni wodnej była w największym stopniu skorelowana z wielkością emisji amoniaku z osadów dennych, co oznacza, że osady denne Biebrzy są dla niej samej znacznym źródłem wewnętrznym amoniaku. W przypadku azotanów(V) wielkość emisji z osadów dennych okazała się być zbliżona dla poszczególnych okresów pomiarowych (od 25,7 do 37,7 mg N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., od 22,8 do 25 mg N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 28,4 do 37,1 mg N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.), pomimo panujących wówczas diametralnie różnych warunków naturalnych. Ponadto była ona w pełni uzależniona od stężeń tego parametru w toni wodnej, tzn. im były one mniejsze tym wielkość emisji była większa. Oznacza to, że w układzie osady denne-woda stężenia azotanów(V) pozostają wielkością stałą w znacznym stopniu niezależną od zjawisk zachodzących w toni wodnej. Zjawisko przenikania różnych form azotu z osadów dennych do toni wodnej Biebrzy jest ważnym czynnikiem wpływającym na jakość wód powierzchniowych, bowiem główne zasoby azotu (ok. 90% jego masy) występujące w danym ekosystemie rzeczonym są zmagazynowane właśnie w osadach dennych (Kajak 1994).
- 10) Stosunek N:P w ciekach powierzchniowych Basenu Dolnego wynosił w trakcie poszczególnych kampanii pomiarowych odpowiednio: w Biebrzy od 9:1 do 33:1, w Kanale Rudzkim od 7:1 do 12:1, w Klimaszewnicy od 16:1 do 23:1, w Kosódce od 15:1 do 17:1 oraz w Wissie od 10:1 do 16:1. W zdecydowanej większości przypadków proporcja N:P wynosiła powyżej 10, zatem należy przypuszczać, że pierwiastkiem limitującym wzrost biomasy roślin na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy jest fosfor. Przy wysokich stanach wód na Biebrzy oraz znacznej wymianie wody z torfowiskami proporcja N:P gwałtownie wzrastała do poziomu 30:1 lub więcej, co z kolei potwierdza, że wymywany z torfów azot wcześniej czy później trafia do wód Biebrzy.
- 11) Wyniki analiz chemicznych oraz efekty symulacji komputerowych wykazały, że największe stężenia chlorofilu „a”, będącego bezpośrednim wskaźnikiem stężeń fitoplanktonu w wodzie a pośrednim stopnia zaawansowania eutrofizacji wód, występowały w Biebrzy oraz na mokradłach Basenu Dolnego w trakcie tzw. „suchego”

roku (lipiec 2008 r.) i wynosiły odpowiednio: w Biebrzy od 4,4 do 8,5 mg A·dm⁻³, w dopływach punktowych od 2,1 do 32 mg A·dm⁻³ oraz w dopływach obszarowych z mokradeł od 12 do 35 mg A·dm⁻³. Najwyższe stężenia zanotowane w Kosódce oraz dopływach obszarowych z mokradeł (powyżej 25 mg A·dm⁻³) kwalifikowały jakość tych wód do III klasy czystości wg Rozporządzenia MŚ z 2004 r., co jest równoznaczne II klasie czystości wg Rozporządzenia MŚ z 2008 r. Opierając się o same stężenia chlorofilu „a” można wyciągnąć wniosek, iż w sprzyjających warunkach, tj. przy niskim poziomie wód powierzchniowych, wysokich stężeniach biogenów w wodzie oraz wysokiej temperaturze wody zjawisko umiarkowanej eutrofizacji na obszarze Basenu Dolnego występuje, jednak ma miejsce głównie na płytkich rozlewiskach, ewentualnie w starorzeczach Biebrzy, natomiast nie w samej rzece. Biorąc jednak pod uwagę definicję eutrofizacji – która mówi, że proces ten to wzrost żyzności wód powierzchniowych, rozumiany jako wzrost stężeń związków fosforu i azotu dopływających do wód w postaci mineralnej bądź też jako materia organiczna (Kajak 1994) – należy przyjąć, że eutrofizacja ma również miejsce w Biebrzy, czego objawem były np. znaczne deficyty tlenu, jakie pojawiły w Basenie Dolnym latem 2007 r. Wzrost żyzności Biebrzy dotyczy w zasadzie tylko wzrastającej ilości przyswajalnych form azotu (azotanowego(V) oraz amonowego), gdyż niewielkie stężenia rozpuszczonego fosforu mineralnego są czynnikiem hamującym postęp eutrofizacji w rzece, jako że fosfor jest pierwiastkiem limitującym wzrost biomasy roślin. Jednak należy spodziewać się, że w przypadku długoterminowego przyrostu stężeń fosforu mineralnego w wodzie, np. na skutek zwiększonego zasilania z osadów dennych lub wzrostu zawartości biogenów w dopływach punktowych i/lub w Biebrzy Środkowej, rozlewiska Biebrzy Dolnej oraz sama rzeka mogą w przyszłości ulec nadmiernej eutrofizacji. Równocześnie nadmierne użyźnianie wód powierzchniowych Basenu Dolnego azotem może doprowadzić w najbliższej przyszłości do niekorzystnych zmian w składzie gatunkowym tutejszej roślinności mokradłowej. Najnowsze badania naukowe wykazały, że bez względu na charakter siedlisk, duża (nadmierna) dostępność dla roślin przyswajalnych form azotu powoduje stopniowy zanik gatunków rzadkich i wrażliwych na zanieczyszczenie środowiska oraz równoczesną ekspansję gatunków odpornych na zanieczyszczenia, przy czym najbardziej zagrożone są rośliny niskie, wiążące azot atmosferyczny oraz rośliny jedno- i dwuroczne (Collins et al. 2005). Zagrożenie to jest poważne, ponieważ wyniki analiz chemicznych oraz efekty symulacji komputerowych wykazały, że Biebrza jest w dużych ilościach zasilana azotem amonowym – podstawowym składnikiem pokarmowym roślin. W warunkach Basenu Dolnego należy spodziewać się, że wraz z postępującym użyźnianiem wód powierzchniowych azotem coraz większą powierzchnię rozlewisk będą pokrywały szuwały trzcinowe, a w składzie gatunkowym tutejszej roślinności mokradłowej coraz większy udział będzie miała trzcina pospolita. Proces ten jest już

widoczny na obszarze basenu od co najmniej kilku lat, czego wymiernym efektem jest m. in. zwężające się koryto Biebrzy na skutek ekspansji trzciny.

- 12) Przeprowadzony dla poszczególnych okresów pomiarowych dobowy bilans wymiany ładunków składników wód powierzchniowych na obszarze Basenu Dolnego wykazał, że:
- a) Sumaryczny ładunek azotu azotanowego(V), jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę (79 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 128 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 40 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.) był zbliżony do ładunku transportowanego z powrotem z Biebrzy na mokradła (119 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 107 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 45 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.). W tym samym czasie sumaryczny ładunek azotu azotanowego(V) z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł: 189 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 214 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 90 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r., a więc był dwukrotnie większy. Ładunek transportowany z Biebrzy Środkowej (początek Biebrzy Dolnej) wyniósł: 163 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 217 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 108 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Równocześnie sumaryczny ładunek azotu azotanowego(V) przenikający z osadów dennych Biebrzy do toni wodnej wyniósł: 13,1 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 10,6 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 21 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Oznacza to, że w ogólnym bilansie Basenu Dolnego najważniejszym źródłem azotu azotanowego(V) w Biebrzy Dolnej są jej dopływy punktowe oraz ujście Biebrzy Środkowej.
 - b) Sumaryczny ładunek azotu amonowego, jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę wyniósł: 255 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 63 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 190 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Z kolei ładunek transportowany z powrotem z Biebrzy na mokradła wyniósł: 266 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 39 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 27 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. W tym samym czasie sumaryczny ładunek azotu amonowego z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł: 114 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 63 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 55 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.; z Biebrzy Środkowej: 228 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 45,6 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 43,4 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r., natomiast z osadów dennych: 1028 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 592 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 814 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Oznacza to, że w ogólnym bilansie Basenu Dolnego najważniejszym (i zarazem bardzo obfitym) źródłem azotu amonowego w Biebrzy są jej osady denne.
 - c) Sumaryczny ładunek azotu ogólnego, jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę wyniósł: 5172 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 1853 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 4412 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Największy dobowy ładunek azotu ogólnego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych dopływów obszarowych do koryta rzeki, jednak ładunek z lipca 2008 r. był na niewiele niższym poziomie, choć stan wód był wtedy bardzo niski (tzw. „suchy” rok).

Oznacza to, że w kwestii zasilania Biebrzy azotem pochodzącym z torfowisk sprawą drugorzędną jest wielkość przepływów obszarowych, natomiast najważniejszy jest poziom nawodnienia torfów. W czasie ciepłych pór roku, zwłaszcza w trakcie tzw. „suchego” lata, następuje wysuszenie wierzchniej warstwy torfów, po czym nawet niewielki przepływ obszarowy jest w stanie przetransportować do koryta Biebrzy znaczny ładunek azotu ze względu na jego wysokie stężenia w wodzie.

d) Sumaryczny ładunek fosforu mineralnego, jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę wyniósł: 41 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 16,4 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 31,5 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Z kolei ładunek transportowany z powrotem z Biebrzy na mokradła był zawsze zbliżony lub większy: 77 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 20 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 20 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Oznacza to, że Biebrza jest liniowym źródłem fosforu mineralnego dla otaczających ją mokradeł. W tym samym czasie sumaryczny ładunek fosforu mineralnego z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł: 41 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 37 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 39 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r., natomiast z Biebrzy Środkowej: 106 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 27 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 35 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Ładunek z osadów dennych wyniósł: 43,5 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 35 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 105 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. To z kolei oznacza, że w ogólnym bilansie Basenu Dolnego największe znaczenie w kwestii zasilania Biebrzy fosforem mineralnym mają:

- osady denne Biebrzy – w przypadku niskich stanów wód na rzece,
- Biebrza Środkowa + dopływy punktowe – w przypadku wysokich stanów wód.

Wniosek ten uzyskuje dodatkowe potwierdzenie przy porównaniu, w poszczególnych okresach pomiarowych, rozkładów stężeń fosforu mineralnego oraz organicznego w Biebrzy, które nie wykazują żadnych wyraźnych korelacji. Dowodzi to, że poszczególne formy fosforu występujące w Biebrzy mają odrębne, główne źródła zasilania w Basenie Dolnym – dla fosforu organicznego są to mokradła, a dla fosforu mineralnego j. w.

e) Sumaryczny ładunek tlenu, jakim Biebrza zasilala obszarowo mokradła (4390 kg O₂·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 4939 kg O₂·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 2465 kg O₂·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.) był zawsze większy od ładunku tlenu otrzymywanego z powrotem z torfowisk (3039 kg O₂·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 3948 kg O₂·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 2106 kg O₂·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.). Oznacza to, że w sezonie wegetacyjnym, bez względu na warunki hydrologiczne, Biebrza pełni funkcję natleniającą rozlewiska Basenu Dolnego, proporcjonalnie do wielkości przepływu na rzece.

9) Istotny wpływ na jakość wód powierzchniowych Biebrzy Dolnej miały tylko dwa spośród czterech jej dopływów punktowych, tj. Kanał Rudzki oraz Wissa, co obrazuje tabela 6.21. Kanał Rudzki, w poszczególnych okresach pomiarowych, wpływał na jakość Biebrzy w dwojaki sposób: z jednej strony negatywny, poprzez zasilanie jej znacznym ładunkiem fosforu mineralnego (od 28 do 34 kg P·doba⁻¹) oraz fosforu organicznego (od 14 do 50 kg

Tabela 6.21 Charakterystyka zbiorcza wpływu dopływów punktowych na jakość wody w Biebrzy Dolnej w poszczególnych kampaniach pomiarowych 2007-2008

Rzeka	Termin poboru próbek wody oraz symulacji komputerowych	Wpływ dopływu punktowego na jakość wód Biebrzy poniżej ujścia do rzeki		Klasa jakości wody według Rozporządzenia MŚ z 2004 r. (skala klas I-V)	Klasa jakości wody według Rozporządzenia MŚ z 2008 r. (skala klas I-V)	Ocena końcowa wpływu na jakość wód Biebrzy
		Pozytywny	Negatywny			
Kanał Rudzki	29.07.2007	Obniżenie stężeń: azotu amonowego (nieznaczne) Podwyższenie stężeń: tlenu rozpuszczonego (znaczne)	Podwyższenie stężeń: azotu amonowego (V) (nieznaczne), azotu azotanowego (V) (znaczne), fosforu organicznego (znaczne), fosforu mineralnego (nieznaczne), fosforu ogólnego (znaczne), chlorofilu a (nieznaczne)	IV	Poniżej II klasy	Wpływ wybitnie pozytywny na warunki tlenowe, lecz ogólnie negatywny ze względu na zasilenie fosforem oraz azotanami(V), o dużym znaczeniu
	25.09.2007	Obniżenie stężeń: azotu organicznego (znaczne), azotu azotanowego(V) (nieznaczne), azotu ogólnego (znaczne) Podwyższenie stężeń: tlenu rozpuszczonego (nieznaczne)	Podwyższenie stężeń: azotu amonowego (nieznaczne), fosforu organicznego (nieznaczne), fosforu mineralnego (znaczne), fosforu ogólnego (znaczne)	II	I	Wpływ mieszany: pozytywny ze wzgl. na redukcję zw. azotu i poprawę warunków tlenowych, lecz negatywny ze wzgl. na zasilenie fosforem, o dużym znaczeniu
	23.07.2008	Obniżenie stężeń: azotu azotanowego(V) (nieznaczne), chlorofilu a (znaczne) Podwyższenie stężeń: tlenu rozpuszczonego (nieznaczne)	Podwyższenie stężeń: azotu amonowego (nieznaczne), fosforu mineralnego (bardzo duże), fosforu ogólnego (znaczne)	II	I	Wpływ negatywny, ze względu na znaczne zasilenie fosforem, o dużym znaczeniu
Klima-szewnica	29.07.2007	-	-	IV	Poniżej II klasy	Brak wpływu
	25.09.2007	-	Podwyższenie stężeń: azotu azotanowego(V) (nieznaczne)	III	II	Wpływ negatywny, bez znaczenia
	23.07.2008	-	-	III	II	Brak wpływu
Kosódka	29.07.2007	Obniżenie stężeń: fosforu ogólnego (nieznaczne)	-	V	Poniżej II klasy	Wpływ pozytywny, bez znaczenia
	25.09.2007	-	Podwyższenie stężeń: chlorofilu a (nieznaczne)	II	II	Wpływ negatywny, bez znaczenia
	23.07.2008	-	Podwyższenie stężeń: chlorofilu a (nieznaczne)	IV	Poniżej II klasy	Wpływ negatywny, bez znaczenia
Wissa	29.07.2007	Obniżenie stężeń: azotu organicznego (nieznaczne), azotu ogólnego (nieznaczne), fosforu organicznego (nieznaczne), fosforu ogólnego (nieznaczne)	Podwyższenie stężeń: azotu amonowego (nieznaczne), azotu azotanowego(V) (znaczne)	II	II	Wpływ mieszany: pozytywny ze wzgl. na redukcję biogenów, negatywny ze względu na zasilenie azotanami(V), o dużym znaczeniu
	25.09.2007	Obniżenie stężeń: chlorofilu a (nieznaczne)	Podwyższenie stężeń: azotu azotanowego(V) (znaczne)	II	I	Wpływ negatywny, o dużym znaczeniu
	23.07.2008	Obniżenie stężeń: chlorofilu a (nieznaczne) Podwyższenie stężeń: tlenu rozpuszczonego (nieznaczne)	Podwyższenie stężeń: azotu azotanowego(V) (znaczne)	II	I	Wpływ negatywny, o dużym znaczeniu

$P \cdot \text{doba}^{-1}$), natomiast z drugiej strony w sposób wybitnie pozytywny poprzez wyraźne natlenianie jej wód (ładunkiem od 2560 do 6600 $\text{kg O}_2 \cdot \text{doba}^{-1}$). W trakcie wszystkich kampanii pomiarowych w Kanale Rudzkim panowały najlepsze warunki tlenowe spośród wszystkich cieków powierzchniowych Basenu Dolnego, tzn. notowano najwyższe stężenia tlenu oraz najmniejsze jego deficyty. Oznacza to, że w sezonie wegetacyjnym, bez względu na warunki hydrologiczne, ciek ten intensywnie natlenia wody Biebrzy poniżej swojego ujścia. Wissa z kolei, pomimo transportowania wód nieco czystszych niż Kanał Rudzki, wpływała na jakość Biebrzy w sposób negatywny zasilając ją znacznym ładunkiem azotu azotanowego(V) (od 34 do 76 $\text{kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$). Klimaszewnica i Kosódka transportowały we wszystkich okresach pomiarowych wody o najniższej klasie czystości (IV-V klasa jakości wg Rozporządzenia MŚ z 2004 r., „poniżej II klasy” wg Rozporządzenia MŚ z 2008 r.), jednak ich wpływ na jakość wody w korycie Biebrzy był pomijalny ze względu na bardzo małe przepływy w ich odcinkach ujściowych, co skutkowało niewielkimi ładunkami zanieczyszczeń. Należy jednak przypuszczać, że lokalnie, tzn. w swojej strefie ujściowej, dopływy te znacznie pogarszały jakość wód Biebrzy, dotyczy to zwłaszcza Kosódki, w której w poszczególnych kampaniach pomiarowych notowano najniższe stężenia tlenu oraz największe deficyty tlenowe.

- 10) Wyniki analiz chemicznych próbek wody z Biebrzy oraz efekty symulacji komputerowych w poszczególnych kampaniach pomiarowych wykazały, że na odcinkach od 15,9 do 13,4 km biegu Biebrzy oraz od 8,3 do 5,5 km biegu rzeki w dopływach obszarowych występowały znaczne, ponad przeciętne stężenia takich parametrów jakościowych jak: azot organiczny, azot amonowy, azot azotanowy(V), fosfor organiczny, fosfor mineralny oraz chlorofil „a”. W szczególności dotyczy to związków azotu, w tym wysokich stężeń azotu organicznego wraz z zachwianą proporcją N:P charakterystyczną dla Biebrzy, co świadczy o antropogenicznym pochodzeniu zanieczyszczeń. Ich źródłem są najprawdopodobniej wiejskie skupiska ludności położone w obrębie wymienionych odcinków rzeki, tuż nad samym jej prawym brzegiem, tj. wieś Brzostowo (od 15 do 14,4 km biegu rzeki) oraz wieś Rutkowskie (od 6,6 do 5,3 km biegu rzeki). Wysokie stężenia poszczególnych parametrów jakościowych wynikają zapewne z przenikania do wód Biebrzy ścieków bytowych i/lub gnojowicy pochodzącej z chowu zwierząt w zabudowaniach gospodarskich, które niejednokrotnie zlokalizowane są już 20-30 metrów od brzegu rzeki. Powszechnie uważa się, że główną przyczyną nadmiernej eutrofizacji wód powierzchniowych jest nawożenie pól uprawnych, jednak badania naukowe ostatniej dekady pokazały, że poważną rolę odgrywa niewłaściwa gospodarka odchodami zwierząt hodowlanych (Giziński, Falkowska 2003).
- 11) Zagęszczenie glonów bentosowych na dnie Biebrzy wynosiło w poszczególnych okresach pomiarowych odpowiednio: od 93 do 122 $\text{mg A} \cdot \text{m}^{-2}$ w dniu 29.07.2007 r. (pokrycie glonami 51% powierzchni dna), od 6 do 14 $\text{mg A} \cdot \text{m}^{-2}$ w dniu 25.09.2007 r. (pokrycie 45% dna) oraz od 37 do 113 $\text{mg A} \cdot \text{m}^{-2}$ w dniu 23.07.2008 r. (pokrycie 66%

dnia). Pomimo diametralnie różnych warunków hydrologicznych zagęszczenia glonów na dnie Biebrzy w lipcu 2007 r. oraz w lipcu 2008 r. były do siebie bardzo zbliżone i niemal dziesięciokrotnie większe od zagęszczenia zaobserwowanego we wrześniu 2007 r., co wskazuje, że najważniejszym czynnikiem wpływającym na rozwój glonów przydennych jest temperatura wód.

12) Odczyn wód powierzchniowych Basenu Dolnego wynosił w poszczególnych okresach pomiarowych:

- w Biebrzy średnio: 7,6 w dniu 29.07.2007 r., 7,8 w dniu 25.09.2007 r. oraz 7,9 w dniu 23.07.2008 r.
- w dopływach punktowych: od 7,4 do 7,9 w dniu 29.07.2007 r., od 7,4 do 7,9 w dniu 25.09.2007 r. oraz od 7,5 do 8,0 w dniu 23.07.2008 r.
- w dopływach obszarowych: od 6,8 do 8,0 w dniu 29.07.2007 r., od 6,7 do 8,5 w dniu 25.09.2007 r. oraz od 6,3 do 7,7 w dniu 23.07.2008 r.

Powyższe wyniki wskazują, że w sezonie wegetacyjnym odczyn wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy wynosi średnio 7 ± 1 , a zatem jest zasadniczo obojętny, jedynie w niektórych miejscach lub w specyficznych warunkach staje się lekko zasadowy ($\text{pH} = 8$) lub też lekko kwaśny ($\text{pH} = 6$). Najniższe/najwyższe pH miały wody dopływające obszarowo z torfowisk do Biebrzy, co wskazuje na większe/mniejsze stężenie w nich substancji humusowych wymytych z pokładów torfu.

13) Zasadowość ogólna wód powierzchniowych Basenu Dolnego wynosiła w poszczególnych okresach pomiarowych:

- w Biebrzy średnio: $239 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 29.07.2007 r., $220 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz $225 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 23.07.2008 r.
- w dopływach punktowych: od 190 do $257 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 29.07.2007 r., od 196 do $294 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 217 do $348 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 23.07.2008 r.
- w dopływach obszarowych: od 185 do $290 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 29.07.2007 r., od 160 do $260 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 160 do $300 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ w dniu 23.07.2008 r.

Największe nasycenie wody zawartym w niej węglanem wapnia oraz największe różnice pomiędzy jego minimalną a maksymalną wartością (wynoszące nawet $140 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) występowały w wodach dopływających obszarowo z mokradeł, co oznacza, że wody powierzchniowe zalegające na rozlewiskach Basenu Dolnego nie stanowią jednolitej, pod względem chemicznym, masy wód, lecz raczej mieszaninę wód powierzchniowych z wodami podziemnymi, bogatymi w wapń, żelazo oraz glin wyplukane z podłoża mineralnego.

Rozdział 7

Podsumowanie pracy oraz wnioski końcowe

Podsumowując spostrzeżenia, poczynione na podstawie wyników badań terenowych, efektów symulacji komputerowych a także dokładnych analiz przedstawionych w poszczególnych rozdziałach dysertacji, wyciągnięto następujące wnioski końcowe z pracy:

7.1 Podsumowanie i wnioski końcowe związane z dynamiką przepływu oraz termiką wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy

- 1) **Poszczególne kampanie pomiarowe odzwierciedlały różne warunki hydrologiczne** panujące w ciekach powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy. Natężenia przepływu zmierzone w Biebrzy w okresach 26-28.07.2007 r. oraz 21-24.09.2007 r. zakwalifikowano, na podstawie danych wieloletnich IMGW, jako średnie miesięczne przepływy charakterystyczne (SSQ), natomiast zmierzone w okresie 19-22.07.2008 r. jako niskie miesięczne przepływy charakterystyczne (SNQ). Najmniejsze przepływy oraz najniższe stany wody w Biebrzy spośród wszystkich kampanii pomiarowych wystąpiły w lipcu 2008 r., natomiast największe przepływy, a także najwyższe stany wody (sięgające na niektórych odcinkach krawędzi koryta) charakteryzowały lipiec 2007 r., przy czym były niewiele większe niż we wrześniu tego samego roku. Ze względu na skromne opady atmosferyczne na obszarze Doliny Biebrzy, niskie stany wody w Biebrzy oraz niewielkie przepływy uznano okres pomiarowy 19-22.07.2008 r. jako reprezentatywny dla przypadku tzw. „suchego” lata. Równocześnie, ze względu na całkowicie przeciwne warunki hydrologiczne oraz pogodowe okres pomiarowy 26-28.07.2007 r. uznano jako reprezentatywny dla tzw. „mokrego” lata.
- 2) **Biebrza Dolna okazała się być rzeką o bardzo zmiennej geometrii oraz hydraulicce koryta.** Na całej jej długości (liczącej od m. Osowiec aż po ujście do Narwi blisko 50 km), w zależności od charakteru roku („mokry” lub „suchy”) oraz pory sezonu wegetacyjnego (lato, jesień) szerokość koryta rzecznoego wahała się od 21 do 37 m, szerokość dna od 6 do 33 m, średnia głębokość przepływu od 0,9 do 4,3 m (maksymalnie 4,5 m) oraz średni współczynnik szorstkości dna od 0,022 do 0,052 $s \cdot m^{-1/3}$. Koryto Biebrzy Dolnej silnie meandrowało, zakola rzeczne były przy tym tak ostre, że koryto niejednokrotnie zwracało w górę rzeki, a przy wyższych stanach wód zmieniało swoje położenie przecinając w poprzek meandry i tworząc nowe starorzecza.
- 3) Bezpośrednim skutkiem geometrycznej i hydraulicznej zmienności koryta rzecznoego były **znaczne wahania natężenia przepływu oraz średniej prędkości przepływu**, jakie występowały na poszczególnych odcinkach Biebrzy. Natężenie przepływu wynosiło: od

18,2 do 22,7 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dniach 26-28.07.2007 r., od 13,2 do 22,7 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dniach 21-24.09.2007 r. oraz od 8,4 do 13,8 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dniach 19-22.07.2008 r., natomiast średnia prędkość przepływu odpowiednio: od 0,24 do 0,47 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, od 0,18 do 0,51 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ oraz od 0,08 do 0,47 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Najwyższą średnią prędkość przepływu wody w Biebrzy zaobserwowano w ujściowym jej odcinku, co potwierdza odwadniające działanie Narwi.

- 4) **Całkowita ilość wody wpływającej do Basenu Dolnego**, liczona jako suma przepływu w Biebrzy na wysokości wodowskazu Osowiec + suma przepływów w ujściowych odcinkach jej dopływów punktowych (Kanał Rudzki, Klimaszewnica, Kosódka, Wissa) **była we wszystkich okresach pomiarowych większa od ilości wody wypływającej z Basenu Dolnego**, liczonej jako przepływ na Biebrzy w pobliżu jej ujścia do Narwi. Różnica ta wynosiła w poszczególnych okresach pomiarowych: 4 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dniach 26-28.07.2007 r., 1,4 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dniach 21-24.09.2007 r. oraz 0,5 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dniach 19-22.07.2008 r., a więc proporcjonalnie do wielkości przepływów występujących na rzece. Oznacza to, że bez względu na warunki hydrologiczne Biebrza w ostatecznym rozrachunku zawsze pozostawia na obszarze Basenu Dolnego część transportowanej przez siebie wody.
- 5) Konstrukcja oraz kalibracja modelu matematycznego przepływu wody w Biebrzy wykazała, że **pozostawiana na obszarze Basenu Dolnego woda zasila tutejsze mokradła** (podmokłe torfowiska). Okazało się, że bez względu na panujące warunki hydrologiczne pomiędzy korytem Biebrzy Dolnej a otaczającymi ją mokradłami dochodziło do obszarowego przepływu wody. Zjawisko to zachodziło dwukierunkowo, tzn. na niektórych odcinkach Biebrzy woda przepływała z koryta rzecznego na mokradła, natomiast na innych odcinkach odwrotnie – z mokradeł dopływała do koryta. Obszarowa wymiana wody odbywała się na dwa sposoby:
- poprzez grawitacyjny spływ powierzchniowy, polegający na przelewaniu się nadmiaru wody poza krawędź brzegów rzeki,
 - poprzez infiltrację wód gruntowych.
- W przypadku wysokich stanów wody dominował wariant pierwszy, co było szczególnie widoczne w lipcu 2007 r., gdy wśród trzcinowisk porastających brzegi Biebrzy słychać było w wielu miejscach plusk przepływającej wody. Obszarowa wymiana wody poprzez infiltrację wód gruntowych nabierała większego znaczenia w okresach niskich stanów wody, tzn. przy minimalnych spływach powierzchniowych (np. w lipcu 2008 r.).
- 6) **Wielkość obszarowej wymiany wody pomiędzy Biebrzą a otaczającymi ją mokradłami była wprost proporcjonalna do natężenia przepływu w rzece** oraz jej stanu wody. Oznacza to, że wraz z podnoszeniem się zwierciadła wody na Biebrzy wzrasta znaczenie odwadnianych torfowisk jako potencjalnego źródła obszarowych oddziaływań na chemizm rzeki oraz równocześnie wzrasta wpływ samej Biebrzy na chemizm nawadnianych mokradeł. Przepływ z mokradeł do koryta Biebrzy w poszczególnych okresach pomiarowych wynosił (dla całej Biebrzy Dolnej): w dniach 26-

28.07.2007 r. $8,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, w dniach 21-24.09.2007 r. $5,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz w dniach 19-22.07.2008 r. $3,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast przepływ z koryta Biebrzy na mokradła wynosił odpowiednio: $12,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $6,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz $3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Różnice w przepływach wskazują, że bez względu na warunki hydrologiczne Biebrza zawsze zasila mokradła częścią transportowanej przez siebie wody. Wykazano tu pewną prawidłowość, w postaci wykresu krzywej: im notowano wyższe stany wody (a co za tym idzie większe przepływy) w Biebrzy na wysokości wodowskazu Osowiec tym większa ilość wody zostawała później wchłonięta obszarowo przez mokradła, np. przy przepływie rzędu $20-21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wartość ta wynosiła ok. 30-35% przepływu. Powyżej $20-21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ilość pozostawianej na torfowiskach wody gwałtownie wzrastała, nawet przy niewielkim przyroście Q.

- 7) W poszczególnych okresach pomiarowych, **spośród czterech dopływów Biebrzy Dolnej tylko Kanał Rudzki oraz Wissa miały istotny udział w bilansie jej przepływu**, dotyczyło to zwłaszcza Kanału Rudzkiego, którego natężenie przepływu stanowiło od 22 do 60% wartości przepływu Biebrzy na wysokości jego ujścia (w przypadku Wissy od 6 do 8%). Poniżej ujścia Kanału Rudzkiego zaobserwowano również jedne z najwyższych średnich prędkości przepływu na Biebrzy, co oznacza, że dopływ ten bardzo korzystnie wpływa na mieszanie się wód Biebrzy. Zjawisko to sprzyja rozcieńczaniu stężeń transportowanych substancji chemicznych, a także poprawia natlenienie wód Biebrzy.
- 8) **Stabilność temperatury wód Biebrzy Dolnej okazała się być bezpośrednio uzależniona od wielkości natężenia przepływu** oraz stanów wody w rzece. Przy wysokich stanach wody, nawet pomimo zmieniających się warunków pogodowych, temperatura wody w Biebrzy na całej długości koryta wykazywała dużą stabilność oscylując wokół wartości 14°C (wrzesień 2007 r.) lub 21°C (lipiec 2007 r.), natomiast przy niskich stanach wody (lipiec 2008 r.) temperatura stopniowo wzrastała wraz z biegiem rzeki, od 19°C (początek Basenu Dolnego) do $21,5^\circ\text{C}$ (ujście do Narwi). Nasuwa się spostrzeżenie, że im mniej wody płynie w korycie Biebrzy tym większy wpływ na termikę jej wód mają warunki pogodowe, a zwłaszcza nasłonecznienie. W przypadku wysokich stanów, gdy w korycie rzeki płyną duże ilości wody i jednocześnie dochodzi do znacznych przepływów obszarowych, wpływ promieniowania słonecznego jest zbyt mały (nawet w środku lata), aby podnieść temperaturę wód powierzchniowych nawet o 1°C .
- 9) Wszędzie **tam, gdzie dochodziło do obszarowej wymiany wody pomiędzy Biebrzą a otaczającymi ją mokradłami występowały różnice w temperaturze wód powierzchniowych**. Zazwyczaj były one niewielkie (ok. $1-2^\circ\text{C}$), jednak na niektórych odcinkach wynosiły nawet $5-10^\circ\text{C}$. W przypadku różnicy rzędu $1-2^\circ\text{C}$ *in minus* należy przypuszczać, że Biebrza była zasilana swoimi własnymi wodami powierzchniowymi odprowadzonymi kilka kilometrów wcześniej na mokradła, gdzie na skutek mniejszego wystawienia na działanie promieniowania słonecznego (zastąpienie tafli wody przez wysokie na ok. 2 m trzcinowiska) nieznacznie spadła ich temperatura. W przypadku różnicy rzędu $1-2^\circ\text{C}$ *in plus* mogła zachodzić sytuacja odwrotna, tzn. dopływająca

obszarowo woda pochodziła z otwartych, nie zarośniętych rozlewisk, gdzie była cały czas nagrzewana przez promieniowanie słoneczne. Z kolei w przypadku dopływu wód chłodniejszych o 5-10°C nasuwa się przypuszczenie, że Biebrza była zasilana wodami podziemnymi lub mieszanymi, tzn. powierzchniowo-podziemnymi. Zasilanie chłodniejszymi wodami mieszanymi lub podziemnymi było najbardziej widoczne w lipcu 2008 r. (występowało na kilku odcinkach rzeki) przy niskim stanie wody na Biebrzy, natomiast przy wysokich stanach (lipiec oraz wrzesień 2007 r.) zjawisko to występowało tylko na jednym odcinku rzeki. W poszczególnych kampaniach pomiarowych największe różnice pomiędzy temperaturą wody w Biebrzy a temperaturą dopływów obszarowych występowały w lipcu 2007 r. i lipcu 2008 r., natomiast najmniejsze we wrześniu 2007 r.

- 10) We wszystkich kampaniach pomiarowych **na odcinku od 15,9 do 13,4 km biegu Biebrzy dochodziło do nieznacznego wzrostu temperatury w rzece**. Zjawisko to wydaje się być zrozumiałe biorąc pod uwagę fakt, iż właśnie na tym odcinku koryto oraz dno Biebrzy ulegało gwałtownemu rozszerzeniu (do ponad 30 m), a sama rzeka wypłycała się, np. w lipcu 2008 r. głębokość przepływu wynosiła tu tylko 0,9 m, przy czym na wysokości wsi Brzostowo, na odcinku o długości ok. kilkuset metrów, Biebrza miała zaledwie 0,5 m głębokości z widocznymi na środku rzeki mieliznami. Równocześnie na tym samym odcinku dochodziło we wszystkich okresach pomiarowych do obszarowego zasilania rzeki wodami cieplejszymi o 3-6°C. Okoliczny teren to podmokłe pastwiska z niemal doszczętnie wygryzioną roślinnością przez pasące się stada krów i koni, zatem należy przypuszczać, że źródłem ciepła są nagrzane od słońca, płytkie wody zaskórne zalegające na pastwiskach, które powoli przesączają się przez torf w kierunku rzeki.
- 11) We wszystkich kampaniach pomiarowych, bez względu na warunki hydrologiczne oraz pogodowe, **dopływy punktowe Biebrzy zasilają rzekę wodami nieznacznie od niej chłodniejszymi**, różnica ta wynosiła: 1°C (Kanał Rudzki, Wissa), 1-2°C (Kosódka) oraz 2-5°C (Klimaszewnica). Pomimo tego, iż temperatura wody w Kanale Rudzkim była tylko o 1°C niższa niż w Biebrzy to w okresie letnim, tj. w lipcu 2007 r. oraz w lipcu 2008 r. wody Biebrzy poniżej ujścia kanału ulegały zauważalnemu schłodzeniu (o ok. 0,5°C) ze względu na znaczny przepływ w Kanale Rudzkim.
- 12) Pomiary wykonane w lipcu 2008 r. wykazały, że **na całej długości Biebrzy temperatura wód przydennych była wyższa o 0,2-0,5°C** w stosunku do temperatury wód przypowierzchniowych, mierzonej 0,5 m pod powierzchnią zwierciadła wody. Sytuacja, w której bez względu na głębokość koryta rzecznoego oraz pomimo panujących w czasie pomiarów dobrych warunków pogodowych (silne nasłonecznienie) temperatura przy dnie cieką była wyższa niż przy powierzchni może wskazywać, iż osady denne są w pewnym stopniu źródłem ciepła dla wód powierzchniowych, najprawdopodobniej na skutek przebiegu biochemicznych procesów rozkładu materii organicznej, w czasie których wydzielany jest nadmiar ciepła.

7.2 Podsumowanie i wnioski końcowe związane z jakością wód powierzchniowych i osadów dennych Basenu Dolnego Biebrzy

- 1) Wyniki analiz chemicznych próbek wody z Biebrzy oraz efekty symulacji komputerowych jakości wód powierzchniowych Basenu Dolnego w poszczególnych kampaniach pomiarowych wykazały, że **mokradła otaczające Biebrzę są głównym źródłem azotu organicznego występującego w rzece** w znacznych ilościach, przy czym największe stężenia tej formy azotu miały miejsce zawsze w okresie letnim (lipiec 2007/2008 r.). Azot organiczny dostaje się do Biebrzy jako główny składnik materii organicznej (zawierającej również organiczny fosfor oraz węgiel) wypłukanej z pokładów torfu, a następnie przetransportowanej obszarowo z mokradeł do koryta rzecznej. Badania naukowe wykazały, że w warstwie korzeniowej gleb torfowych (0-20 cm) znajduje się na jednym hektarze od 5 do 20 ton azotu zawartego w związkach organicznych (Okruszko H. 1997). Proces ten nasila się w okresie letnim, gdyż wtedy torfowiska wysychają (zwłaszcza wierzchnia warstwa tworząca je torfu) na skutek dużego nasłonecznienia oraz słabego nawodnienia będącego efektem coraz mniejszych zalewów wiosennych w Dolinie Biebrzy. Największe zagrożenie jakości wody w Biebrzy występuje w przypadku tzw. „mokrego” lata (np. lipiec 2007 r.) obfitującego w opady atmosferyczne oraz wysokie stany wody w rzece, zwłaszcza gdy poprzedza je kilku- lub kilkunastodniowy okres pięknej, słonecznej pogody. W takich warunkach, ze względu na znaczne przepływy obszarowe, sumaryczny ładunek azotu organicznego przedostającego się do koryta Biebrzy Dolnej (na całej jej długości, tzn. od miejscowości Osowiec aż po ujście do Narwi) z dopływów obszarowych jest bardzo duży i np. w lipcu 2007 r. wyniósł ponad $4800 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$, przy stężeniach w wodzie dopływającej z torfowisk wynoszących od 1 do $8,5 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym samym czasie sumaryczny ładunek azotu organicznego z dopływów punktowych Biebrzy Dolnej (Kanał Rudzki, Klimaszewnica, Kosódka i Wissa) wyniósł $924 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$, a więc był pięciokrotnie mniejszy. W przypadku tzw. „suchego” lata, charakteryzującego się niewielką ilością opadów atmosferycznych oraz niskimi stanami wody w Biebrzy (np. lipiec 2008 r.), stężenie azotu organicznego w dopływach obszarowych znacznie wzrasta, jednak z powodu niewielkich przepływów obszarowych sumaryczny ładunek azotu organicznego zasilającego Biebrzę z mokradeł jest znacznie mniejszy, np. w lipcu 2008 r. wyniósł ok. $2000 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$, przy stężeniach w wodzie dopływającej z torfowisk wynoszących od 5 do $8 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym samym czasie sumaryczny ładunek azotu organicznego z dopływów punktowych Biebrzy Dolnej wyniósł $282 \text{ kg N} \cdot \text{doba}^{-1}$, a więc był siedmiokrotnie mniejszy. Przeprowadzony dla poszczególnych okresów pomiarowych bilans wymiany ładunków składników wód pomiędzy Biebrzą a otaczającymi ją mokradłami wykazał, że sumaryczny ładunek azotu organicznego, jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę był zawsze co najmniej kilkakrotnie większy od ładunku transportowanego z powrotem z Biebrzy na mokradła. Oznacza to, że w sezonie wegetacyjnym, bez względu na warunki hydrologiczne,

mokradła są dla Biebrzy największym źródłem azotu organicznego na obszarze Basenu Dolnego. Z powodu bardzo wysokich stężeń azotu organicznego (wskaźnik – azot Kjeldahla) czystość wód Biebrzy w okresach wysokich stanów wody, zwłaszcza w porze letniej, spada do III lub IV klasy czystości wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2004 r. (Rozporządzenie 2004a), co jest równoznaczne II lub „poniżej II klasy czystości” wg Rozporządzenia MŚ z 2008 r. (Rozporządzenie 2008).

- 2) Charakterystycznym zjawiskiem, zachodzącym w sezonie wegetacyjnym na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy, jest **wysoki udział azotu organicznego w stosunku do azotu ogólnego zawartego w wodzie**. W poszczególnych kampaniach pomiarowych wynosił on w Biebrzy średnio: w dniu 29.07.2007 r. 83%, w dniu 25.09.2007 r. 79% oraz w dniu 23.07.2008 r. 76%, co wskazuje, że zjawisko to jest wprost proporcjonalne do wielkości przepływów obszarowych oraz stanów wody w rzece, a zatem wynika z zasilania azotem organicznym pochodzącym z torfowisk otaczających Biebrzę.
- 3) Drugim **podstawowym składnikiem materii organicznej dopływającej obszarowo z mokradeł do koryta Biebrzy Dolnej jest fosfor organiczny**, przy czym jego ilości są kilkunasto- a nawet kilkudziesięciokrotnie mniejsze niż azotu organicznego. Analogicznie jak w przypadku tego ostatniego największe ilości organicznej formy fosforu pojawiają się w Biebrzy w okresie letnim, zwłaszcza w trakcie tzw. „mokrego” lata, np. w lipcu 2007 r. sumaryczny ładunek fosforu organicznego przedostającego się do koryta Biebrzy (na całej jej długości) z dopływów obszarowych wyniósł $187 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$, przy stężeniach w wodzie dopływającej z torfowisk wynoszących od 0,08 do 0,45 $\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym samym czasie sumaryczny ładunek fosforu organicznego z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł $59 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$, a więc był trzykrotnie mniejszy. W przypadku tzw. „suchego” lata (np. lipiec 2008 r.), stężenie fosforu organicznego w dopływach obszarowych wzrasta, jednak z powodu niewielkich przepływów obszarowych sumaryczny ładunek zasilający Biebrzę z mokradeł jest znacznie mniejszy, np. w lipcu 2008 r. wyniósł $74 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$, przy stężeniach w wodzie dopływającej z torfowisk wynoszących od 0,05 do 0,5 $\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym samym czasie sumaryczny ładunek fosforu organicznego z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł $17 \text{ kg P} \cdot \text{doba}^{-1}$, a więc był czterokrotnie mniejszy. Przeprowadzony dla poszczególnych okresów pomiarowych bilans wymiany ładunków składników wód powierzchniowych pomiędzy Biebrzą a otaczającymi ją mokradłami wykazał, że sumaryczny ładunek organicznej formy fosforu, jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę był zawsze co najmniej kilkakrotnie większy od ładunku transportowanego z powrotem z Biebrzy na mokradła. Oznacza to, że w sezonie wegetacyjnym, bez względu na warunki hydrologiczne, mokradła są dla Biebrzy największym źródłem fosforu organicznego na obszarze Basenu Dolnego.
- 4) **Trzecim, ważnym składnikiem materii organicznej dopływającej obszarowo z mokradeł do Biebrzy Dolnej jest węgiel organiczny**.

- 5) **Konsekwencją zasilania Biebrzy Dolnej dużą ilością rozkładalnej materii organicznej była intensyfikacja zachodzących w niej procesów biochemicznych**, które w sposób naturalny zmierzały do oczyszczenia rzeki poprzez mineralizację (rozkład) nadmiaru materii organicznej. Rozkład materii organicznej odbywał się zarówno w toni wodnej jak i też w osadach dennych, w których – na skutek opadania na dno większych cząstek – stopniowo gromadziły się zasoby nierozpuszczalnego w wodzie fosforu organicznego, fosforu mineralnego, węgla organicznego a także części azotu. Największy wpływ na czystość Biebrzy okazał się mieć kilkuetapowy proces mineralizacji azotu organicznego, w tym szczególnie proces nityfikacji azotu amonowego powstałego w znacznych ilościach na skutek hydrolizy i szybkiej dezaminacji azotu organicznego. Nityfikacja azotu, w wyniku której azot amonowy ulegał utlenieniu do azotu azotanowego(III), a ten z kolei do azotu azotanowego(V) prowadziła do spadku stężeń azotu organicznego w wodzie, ale równocześnie wywoływała wzrost stężeń azotanów(V) – podstawowego składnika pokarmowego roślin odpowiedzialnego (w nadmiarze) za eutrofizację wód. Wzrost ten był tym większy im lepsze warunki tlenowe panowały w Biebrzy, dlatego też największe tempo nityfikacji oraz najwyższe stężenia azotu azotanowego(V) zanotowano we wrześniu 2007 r. (od 0,16 do 0,2 mg N·dm⁻³), natomiast najwolniejszy przebieg nityfikacji (dwukrotnie mniejszy niż we wrześniu 2007 r.) oraz najniższe stężenia azotu azotanowego(V) miały miejsce w lipcu 2007 r. (od 0,10 do 0,12 mg N·dm⁻³). Zależność stężeń azotu azotanowego(V) od stężeń tlenu rozpuszczonego w wodzie wynikała nie tylko z bezpośredniego zużycia tlenu w procesie nityfikacji, ale również była konsekwencją zjawisk zachodzących w strefie przydennej Biebrzy. W przypadku bardzo niskich stężeń tlenu w wodzie przypowierzchniowej (lipiec 2007 r.) w strefie przydennej wytwarzały się warunki zbliżone do beztlenowych, co w efekcie prowadziło do odwrócenia procesu nityfikacji, czyli uruchomienia procesu denityfikacji, w wyniku którego z azotu azotanowego(V) powstawał amoniak. Zjawisko to prowadziło bezpośrednio do spadku stężeń azotanów(V) w strefie przydennej rzeki, a pośrednio – poprzez wyrównanie stężeń w układzie woda-osady denne – również w toni wodnej. Największe tempo przebiegu denityfikacji w warstwie przydennej Biebrzy zaobserwowano w lipcu 2007 r., natomiast najmniejsze (prawie czterokrotnie mniejsze) we wrześniu 2007 r., co wynikało z panujących wówczas dobrych warunków tlenowych.
- 6) Równocześnie z przebiegiem hydrolizy azotu organicznego w Biebrzy zachodziła hydroliza fosforu organicznego, jednak ze względu na znacznie mniejszą jego podatność na wspomniane zjawisko (w porównaniu do azotu organicznego) **największy wpływ na spadek stężeń fosforu organicznego w wodzie miało opadanie na dno nierozpuszczalnych cząstek materii organicznej**. Nieuniknionym skutkiem hydrolizy fosforu organicznego był wzrost stężeń fosforu mineralnego, jednakże z powodu dużej zawartości w wodzie wapnia (a także żelaza), fosfor mineralny był szybko wytrącany z wody, np. jako Ca₃(PO)₄ lub FePO₄, po czym opadał na dno rzeki. W ten sposób fosfor,

zarówno organiczny jak i też mineralny, przedostający się do wód powierzchniowych był stosunkowo szybko kumulowany w osadach dennych, gdzie następowała mineralizacja organicznej jego formy. W efekcie, w osadach dennych Biebrzy przybywało zasobów fosforu mineralnego wprost proporcjonalnie do zasilania fosforem organicznym z mokradeł oraz fosforem organicznym i mineralnym z dopływów punktowych. Konsekwencją tych zjawisk była późniejsza znaczna emisja fosforanów(V) z osadów dennych do toni wodnej Biebrzy, czyli tzw. zasilanie wtórne, które w poszczególnych kampaniach pomiarowych wyniosło (średnio dla każdego odcinka rzeki): $110 \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$ w dniu 29.07.2007 r., $75 \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz $168 \text{ mg P}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$ w dniu 23.07.2008 r. Obliczony na tej podstawie dobowy ładunek fosforu mineralnego, jaki na całej długości koryta przenikał z osadów dennych Biebrzy do toni wodnej, wyniósł: $43,5 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$ w dniu 29.07.2007 r., $35,4 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz $105 \text{ kg P}\cdot\text{doba}^{-1}$ w dniu 23.07.2008 r. Należy przy tym zaznaczyć, że w emisji fosforanów(V) z osadów dennych nie uczestniczyła cała powierzchnia dna rzeki, ale tylko pewna jej część, tzn. 49% powierzchni dna w dniu 29.07.2007 r., 55% w dniu 25.09.2007 r. oraz 34% w dniu 23.07.2008 r. Powyższe wyniki świadczą o intensywnym zasilaniu wewnętrznym Biebrzy rozpuszczonym w wodzie fosforem mineralnym, zwłaszcza w okresie letnim i to bez względu na warunki tlenowe. Najwyższy poziom emisji fosforanów(V) w okresie letnim, wskazujący na największe w całym korycie rzeczonym nagromadzenie fosforu w osadach dennych, miał miejsce na w pierwszym odcinku Biebrzy, tj. od 51 do 48 km jej biegu, tam gdzie do rzeki wpada Kanał Rudzki. Spostrzeżenie to pokrywa się z wynikami analiz chemicznych, które wykazały, że Kanał Rudzki jest najpoważniejszym źródłem fosforu spośród wszystkich dopływów punktowych Biebrzy Dolnej. Oznacza to, że ciek ten jest odpowiedzialny nie tylko za wzrost stężeń fosforu mineralnego i ogólnego w Biebrzy, ale również za odkładanie znacznych ilości tego pierwiastka w jej osadach dennych.

- 7) Stężenia fosforu organicznego w stosunku do fosforu ogólnego transportowanego w Biebrzy Dolnej wynosiły na całej długości koryta średnio: 49% w dniu 29.07.2007 r., 49% w dniu 25.09.2007 r. oraz 33% w dniu 23.07.2008 r. Oznacza to, że **w przypadku wysokich stanów wód** w sezonie wegetacyjnym **proporcja pomiędzy fosforem organicznym a mineralnym wynosi w Biebrzy ok. 1:1**, natomiast przy niskich stanach wód proporcja ta zmienia się na korzyść fosforu mineralnego, który okazuje się być w takich warunkach dominującą formą fosforu występującego w Biebrzy.
- 8) Pierwszą, **podstawową konsekwencją mineralizacji** dużych ilości **materii organicznej**, w tym zwłaszcza nityfikacji azotu, **był znaczny wzrost zużycia tlenu rozpuszczonego** w wodach powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy. W każdym okresie pomiarowym, zarówno przy niskich jak i też wysokich stanach wód oraz bez względu na porę sezonu wegetacyjnego (lato, jesień), we wszystkich ciekach powierzchniowych Basenu Dolnego występował deficyt tlenowy, tzn. nasycenie tego pierwiastka w wodzie wynosiło mniej niż

100%. Największy niedobór tlenu, sięgający w Biebrzy i Kosódce 73% (nasylenie 27%), wystąpił w lipcu 2007 r. podczas wysokich stanów wody, dużych przepływów obszarowych oraz znacznego zasilania z mokradeł materią organiczną pochodzącą z odwadnianych torfowisk. W tym czasie stężenie tlenu w Biebrzy wynosiło od 2,4 do 5,2 mg O₂·dm⁻³, co oznacza że w przypadku ciepłego i „mokrego” lata warunki tlenowe panujące w rzece pogarszają się do takiego stopnia, iż są szkodliwe dla większości organizmów wodnych (Giziński, Falkowska 2003) osiągając sporadycznie poziom masowej śmiertelności ryb z powodu uduszenia (tzw. „przyduchy” występującej przy stężeniu tlenu wynoszącym 2 mg O₂·dm⁻³), co miało miejsce np. w czerwcu 2005 r. W pozostałych okresach pomiarowych stężenie tlenu w Biebrzy wynosiło odpowiednio: od 7,8 do 9,1 mg O₂·dm⁻³ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 7,5 do 8,5 mg O₂·dm⁻³ w dniu 23.07.2008 r. Porównanie wartości deficytów tlenowych w poszczególnych kampaniach pomiarowych z warunkami naturalnymi, jakie wtedy panowały wskazuje, że niedobór tlenu w Biebrzy jest wprost proporcjonalny do temperatury jej wód oraz poziomu zasilania materią organiczną pochodzącą z torfowisk. Oznacza to, że najgorsze warunki tlenowe w rzece występują zawsze w okresie letnim, bowiem gdy temperatura wód powierzchniowych przekracza 20-21°C coraz mniej tlenu rozpuszcza się w wodzie. Należy przypuszczać, że analogiczne lub nawet gorsze warunki tlenowe panują wtedy na mokradłach, gdyż po pierwsze są to wody niemal stojące, po drugie na obszarach o zwartej roślinności zanurzonej przebieg fotosyntezy jest zminimalizowany ze względu na ograniczony dostęp promieniowania słonecznego i po trzecie stężenie materii organicznej w wodzie jest tam największe. Przyczyną występowania deficytów tlenowych w Biebrzy oraz jej dopływach jest przebieg procesów biochemicznego rozkładu znacznej ilości materii organicznej dopływającej obszarowo z odwadnianych torfowisk, w szczególności dotyczy to azotu, którego mineralizacja – na drodze nityfikacji – jest jednym z najważniejszych procesów konsumujących tlen rozpuszczony w wodzie. Z powodu niskich stężeń tlenu w wodzie jakość wód Biebrzy w okresach letnich, wysokich stanów wody spada do IV lub V klasy czystości wg Rozporządzenia MŚ z 2004 r., co jest równoznaczne „poniżej II klasy czystości” wg Rozporządzenia MŚ z 2008 r.

- 9) Drugim **istotnym źródłem ubytków tlenu w Biebrzy było znaczne zapotrzebowanie osadów dennych w ten pierwiastek**, wynikające z rozkładu nagromadzonej tam materii organicznej oraz utleniania produktów rozkładu, tj. amoniaku i metanu. Latem, przy temperaturze wody powyżej 20°C, następuje intensyfikacja procesów biochemicznego rozkładu materii organicznej zalegającej na dnie rzeki skutkująca większym zużyciem tlenu rozpuszczonego w wodzie oraz wyższą o 0,2-0,5°C temperaturą wód przydennych w stosunku do wód przypowierzchniowych. Wskazują na to wysokie wartości zapotrzebowania osadów dennych w tlen zanotowane w lipcu 2007 r. (od 0,5 do 1,2 g O₂·m⁻²·doba⁻¹) oraz w lipcu 2008 r. (od 0,9 do 1,8 g O₂·m⁻²·doba⁻¹), znacznie wyższe niż we wrześniu 2007 r. (od 0,5 do 0,8 g O₂·m⁻²·doba⁻¹). Ponadto wyniki pomiarów

temperatury wody w Biebrzy przeprowadzone w lipcu 2008 r. na całej długości rzeki (tabela 5.9), a także wartości emisji amoniaku z osadów dennych (od 1,5 do 3,7 g N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., od 0,6 do 2,3 g N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 0,9 do 1,8 g N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.). W przypadku, gdy wysokie zapotrzebowanie osadów dennych w tlen występowało równocześnie z niskimi stężeniami tego pierwiastka w wodzie dochodziło do sytuacji (lipiec 2007 r.), w której w strefie przydennej Biebrzy występowały bardzo niskie stężenia tlenu lub też jego możliwy brak, o czym świadczą wysokie wartości tempa przebiegu denitryfikacji w warstwie przydennej w modelu przemian biochemicznych. Jednym ze skutków niedoboru tlenu w ciekach powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy jest występująca wtedy przewaga wydzielania fosforu mineralnego z osadów dennych nad jego przenikaniem z toni wodnej do osadów, co w dłuższej perspektywie czasu oznacza wzrost zasilania wewnętrznego Biebrzy fosforem mineralnym.

- 10) Pogarszające się okresowo (np. latem) warunki bytowania w Biebrzy ryb, głównie z powodu niskich stężeń tlenu, mogą prowadzić (przy utrzymaniu się obecnych tendencji) do niekorzystnych zmian w składzie gatunkowym tutejszej ichtiofauny, objawiających się: dominacją gatunków odpornych na niskie stężenia tlenu, stopniowym wypieraniem gatunków wrażliwych, spadkiem różnorodności gatunkowej oraz spadkiem liczebności niektórych populacji. Jeszcze kilkadziesiąt lat temu w Biebrzy stwierdzano obecność 36-37 gatunków ryb, podczas gdy dzisiaj występuje w jej wodach 28-31 gatunków, co daje spadek bioróżnorodności o ok. 20%.
- 11) Porównanie stężeń parametrów jakościowych w próbkach wód przydennych oraz przypowierzchniowych pobranych w dniu 23.07.2008 r. w sześciu punktach pomiarowych, zlokalizowanych na całej długości Biebrzy Dolnej, wykazało, że **średnie stężenia substancji zawartych w wodzie przydennej były równe lub wyższe niż w toni wodnej**, w tym: fosforu organicznego o 39%, amoniaku o 20% oraz azotanów(V) o 7%. Równocześnie okazało się, że wielkość stężeń azotu amonowego w toni wodnej była w największym stopniu skorelowana z wielkością emisji amoniaku z osadów dennych, co oznacza, że osady denne Biebrzy są dla niej samej znacznym źródłem wewnętrznym amoniaku – substancji uważanej za szczególnie szkodliwą dla środowiska wodnego. W przypadku azotanów(V) wielkość emisji z osadów dennych okazała się być zbliżona dla poszczególnych okresów pomiarowych (od 25,7 do 37,7 mg N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., od 22,8 do 25 mg N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 28,4 do 37,1 mg N·m⁻²·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.), pomimo panujących wówczas diametralnie różnych warunków naturalnych. Ponadto była ona w pełni uzależniona od stężeń tego parametru w toni wodnej, tzn. im były one mniejsze tym wielkość emisji była większa. Oznacza to, że w układzie osady denne-woda stężenia azotanów(V) pozostają wielkością stałą w znacznym stopniu uniezależnioną od zjawisk zachodzących w toni wodnej. Zjawisko przenikania różnych form azotu z osadów dennych do toni wodnej

Biebrzy jest ważnym czynnikiem wpływającym na jakość wód powierzchniowych, bowiem główne zasoby azotu (ok. 90% jego masy) występujące w danym ekosystemie rzeczonym są zmagazynowane właśnie w osadach dennych (Kajak 1994).

- 12) Stosunek N:P w ciekach powierzchniowych Basenu Dolnego wynosił w trakcie poszczególnych kampanii pomiarowych odpowiednio: w Biebrzy od 9:1 do 33:1, w Kanale Rudzkim od 7:1 do 12:1, w Klimaszewnicy od 16:1 do 23:1, w Kosódce od 15:1 do 17:1 oraz w Wissie od 10:1 do 16:1. W zdecydowanej większości przypadków proporcja N:P wynosiła powyżej 10, zatem należy przypuszczać, że **pierwiastkiem limitującym wzrost biomasy roślin na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy jest fosfor**. Przy wysokich stanach wód na Biebrzy oraz znacznej wymianie wody z torfowiskami proporcja N:P gwałtownie wzrastała do poziomu 30:1 lub więcej, co z kolei potwierdza, że wymywany z torfów azot wcześniej czy później trafia do wód Biebrzy.
- 13) Wyniki analiz chemicznych oraz efekty symulacji komputerowych wykazały, że największe stężenia chlorofilu „a”, będącego bezpośrednim wskaźnikiem stężeń fitoplanktonu w wodzie a pośrednim stopnia zaawansowania eutrofizacji wód, występowały w Biebrzy oraz na mokradłach Basenu Dolnego w trakcie tzw. „suchego” roku (lipiec 2008 r.) i wynosiły odpowiednio: w Biebrzy od 4,4 do 8,5 mg A·dm⁻³, w dopływach punktowych od 2,1 do 32 mg A·dm⁻³ oraz w dopływach obszarowych z mokradeł od 12 do 35 mg A·dm⁻³. Najwyższe stężenia zanotowane w Kosódce oraz dopływach obszarowych z mokradeł (powyżej 25 mg A·dm⁻³) kwalifikowały jakość tych wód do III klasy czystości wg Rozporządzenia MŚ z 2004 r., co jest równoznaczne II klasie czystości wg Rozporządzenia MŚ z 2008 r. Opierając się o same stężenia chlorofilu „a” można wyciągnąć wniosek, iż w sprzyjających warunkach, tj. przy niskim poziomie wód powierzchniowych, wysokich stężeniach biogenów w wodzie oraz wysokiej temperaturze wody **zjawisko umiarkowanej eutrofizacji na obszarze Basenu Dolnego występuje**, jednak ma miejsce głównie na płytkich rozlewiskach, ewentualnie w starorzeczach Biebrzy, natomiast nie w samej rzece. Biorąc jednak pod uwagę definicję eutrofizacji – która mówi, że proces ten to wzrost żyzności wód powierzchniowych, rozumiany jako wzrost stężeń związków fosforu i azotu dopływających do wód w postaci mineralnej bądź też jako materia organiczna (Kajak 1994) – należy przyjąć, że eutrofizacja ma również miejsce w Biebrzy, czego objawem były np. znaczne deficyty tlenu, jakie pojawiły w Basenie Dolnym latem 2007 r. Wzrost żyzności Biebrzy dotyczy w zasadzie tylko wzrastającej ilości przyswajalnych form azotu (azotanowego(V) oraz amonowego), gdyż niewielkie stężenia rozpuszczonego fosforu mineralnego są czynnikiem hamującym postęp eutrofizacji w rzece, jako że fosfor jest pierwiastkiem limitującym wzrost biomasy roślin. Jednak należy spodziewać się, że w przypadku długoterminowego przyrostu stężeń fosforu mineralnego w wodzie, np. na skutek zwiększonego zasilania z osadów dennych lub wzrostu zawartości biogenów w dopływach punktowych i/lub w Biebrzy Środkowej, rozlewiska Biebrzy Dolnej oraz sama

rzeka mogą w przyszłości ulec nadmiernej eutrofizacji. Równocześnie nadmierne użyźnianie wód powierzchniowych Basenu Dolnego azotem może doprowadzić w najbliższej przyszłości do niekorzystnych zmian w składzie gatunkowym tutejszej roślinności mokradłowej. Najnowsze badania naukowe wykazały, że bez względu na charakter siedlisk, duża (nadmierna) dostępność dla roślin przyswajalnych form azotu powoduje stopniowy zanik gatunków rzadkich i wrażliwych na zanieczyszczenie środowiska oraz równoczesną ekspansję gatunków odpornych na zanieczyszczenia, przy czym najbardziej zagrożone są rośliny niskie, wiążące azot atmosferyczny oraz rośliny jedno- i dwuroczne (Collins et al. 2005). Zagrożenie to jest poważne, ponieważ wyniki analiz chemicznych oraz efekty symulacji komputerowych wykazały, że Biebrza jest w dużych ilościach zasilana azotem amonowym – podstawowym składnikiem pokarmowym roślin. W warunkach Basenu Dolnego należy spodziewać się, że wraz z postępującym użyźnianiem wód powierzchniowych azotem coraz większy udział w składzie gatunkowym roślinności mokradłowej oraz coraz większą powierzchnię rozlewisk będą pokrywały szuwały trzcinowe. Proces ten jest już widoczny na obszarze basenu od co najmniej kilku lat, czego wymiernym efektem jest m. in. zwężające się koryto Biebrzy na skutek ekspansji trzciny pospolitej.

- 14) Przeprowadzony dla poszczególnych okresów pomiarowych dobowy bilans wymiany ładunków składników wód powierzchniowych na obszarze Basenu Dolnego wykazał, że:
- a) Sumaryczny ładunek azotu azotanowego(V), jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę (79 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 128 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 40 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.) był zbliżony do ładunku transportowanego z powrotem z Biebrzy na mokradła (119 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 107 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 45 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.). W tym samym czasie sumaryczny ładunek azotu azotanowego(V) z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł: 189 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 214 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 90 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r., a więc był dwukrotnie większy. Ładunek transportowany z Biebrzy Środkowej (początek Biebrzy Dolnej) wyniósł: 163 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 217 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 108 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Równocześnie sumaryczny ładunek azotu azotanowego(V) przenikający z osadów dennych Biebrzy do toni wodnej wyniósł: 13,1 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 10,6 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 21 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Oznacza to, że w ogólnym bilansie Basenu Dolnego **najważniejszym źródłem azotu azotanowego(V) w Biebrzy Dolnej są jej dopływy punktowe oraz ujście Biebrzy Środkowej.**
 - b) Sumaryczny ładunek azotu amonowego, jakim mokradła zasilają obszarowo Biebrzę wyniósł: 255 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 63 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 190 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Z kolei ładunek transportowany z powrotem z Biebrzy na mokradła wyniósł: 266 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 39 kg N·doba⁻¹ w

dniu 25.09.2007 r. oraz 27 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. W tym samym czasie sumaryczny ładunek azotu amonowego z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł: 114 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 63 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 55 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r.; z Biebrzy Środkowej: 228 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 45,6 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 43,4 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r., natomiast z osadów dennych: 1028 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 592 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 814 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Oznacza to, że w ogólnym bilansie Basenu Dolnego **najważniejszym** (i zarazem bardzo obfitym) **źródłem azotu amonowego w Biebrzy są jej osady denne**.

- c) Sumaryczny ładunek azotu ogólnego, jakim mokradła zasilały obszarowo Biebrzę wyniósł: 5172 kg N·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 1853 kg N·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 4412 kg N·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Największy dobowy ładunek azotu ogólnego zanotowano w lipcu 2007 r., podczas najwyższych stanów wody na Biebrzy oraz największych dopływów obszarowych do koryta rzeki, jednak ładunek z lipca 2008 r. był na niewiele niższym poziomie, choć stan wód był wtedy bardzo niski (tzw. „suchy” rok). Oznacza to, że **w kwestii zasilania Biebrzy azotem pochodzącym z torfowisk** sprawą drugorzędną jest wielkość przepływów obszarowych, natomiast **najważniejszy jest poziom nawodnienia torfów**. W czasie ciepłych pór roku, zwłaszcza w trakcie tzw. „suchego” lata, następuje wysuszenie wierzchniej warstwy torfów, po czym nawet niewielki przepływ obszarowy jest w stanie przetransportować do koryta Biebrzy znaczny ładunek azotu ze względu na jego wysokie stężenia w wodzie.
- d) Sumaryczny ładunek fosforu mineralnego, jakim mokradła zasilały obszarowo Biebrzę wyniósł: 41 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 16,4 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 31,5 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Z kolei ładunek transportowany z powrotem z Biebrzy na mokradła był zawsze zbliżony lub większy: 77 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 20 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 20 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Oznacza to, że **Biebrza jest liniowym źródłem fosforu mineralnego dla otaczających ją mokradeł**. W tym samym czasie sumaryczny ładunek fosforu mineralnego z dopływów punktowych Biebrzy wyniósł: 41 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 37 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 39 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r., natomiast z Biebrzy Środkowej: 106 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 27 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 35 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. Ładunek z osadów dennych wyniósł: 43,5 kg P·doba⁻¹ w dniu 29.07.2007 r., 35 kg P·doba⁻¹ w dniu 25.09.2007 r. oraz 105 kg P·doba⁻¹ w dniu 23.07.2008 r. To z kolei oznacza, że w ogólnym bilansie Basenu Dolnego **największe znaczenie w kwestii zasilania Biebrzy fosforem mineralnym mają:**
- **osady denne Biebrzy – w przypadku niskich stanów wód na rzece,**
 - **Biebrza Środkowa + dopływy punktowe – w przypadku wysokich stanów wód.**

Wniosek ten uzyskuje dodatkowe potwierdzenie przy porównaniu, w poszczególnych okresach pomiarowych, rozkładów stężeń fosforu mineralnego oraz organicznego w

Biebrzy, które nie wykazują żadnych wyraźnych korelacji. Dowodzi to, że poszczególne formy fosforu występujące w Biebrzy mają odrębne, główne źródła zasilania w Basenie Dolnym – dla fosforu organicznego są to mokradła, a dla fosforu mineralnego j. w.

- e) Sumaryczny ładunek tlenu, jakim Biebrza zasilala obszarowo mokradla (4390 kg $O_2 \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 29.07.2007 r., 4939 kg $O_2 \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz 2465 kg $O_2 \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 23.07.2008 r.) był zawsze większy od ładunku tlenu otrzymywanego z powrotem z torfowisk (3039 kg $O_2 \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 29.07.2007 r., 3948 kg $O_2 \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz 2106 kg $O_2 \cdot \text{doba}^{-1}$ w dniu 23.07.2008 r.). Oznacza to, że w sezonie wegetacyjnym, bez względu na warunki hydrologiczne, **Biebrza natlenia rozlewiska Basenu Dolnego**, proporcjonalnie do wielkości przepływu na rzece.
- 9) **Istotny wpływ na jakość wód powierzchniowych Biebrzy Dolnej miały tylko** dwa spośród czterech jej dopływów punktowych, tj. **Kanał Rudzki oraz Wissa**, co obrazuje tabela 6.21. Kanał Rudzki, w poszczególnych okresach pomiarowych, wpływał na jakość Biebrzy w dwojaki sposób: z jednej strony negatywny, poprzez zasilanie jej znacznym ładunkiem fosforu mineralnego (od 28 do 34 kg P·doba⁻¹) oraz fosforu organicznego (od 14 do 50 kg P·doba⁻¹), natomiast z drugiej strony w sposób wybitnie pozytywny poprzez wyraźne natlenianie jej wód (ładunkiem od 2560 do 6600 kg $O_2 \cdot \text{doba}^{-1}$). W trakcie wszystkich kampanii pomiarowych w Kanale Rudzkim panowały najlepsze warunki tlenowe spośród wszystkich cieków powierzchniowych Basenu Dolnego, tzn. notowano najwyższe stężenia tlenu oraz najmniejsze jego deficyty. Oznacza to, że w sezonie wegetacyjnym, bez względu na warunki hydrologiczne, ciek ten intensywnie natlenia wody Biebrzy poniżej swojego ujścia. Wissa z kolei, pomimo transportowania wód nieco czystszych niż Kanał Rudzki, wpływała na jakość Biebrzy w sposób negatywny zasilając ją znacznym ładunkiem azotu azotanowego(V) (od 34 do 76 kg N·doba⁻¹). Klimaszewnica i Kosódka transportowały we wszystkich okresach pomiarowych wody o najniższej klasie czystości (IV-V klasa jakości wg Rozporządzenia MŚ z 2004 r., „poniżej II klasy” wg Rozporządzenia MŚ z 2008 r.), jednak ich wpływ na jakość wody w korycie Biebrzy był pomijalny ze względu na bardzo małe przepływy w ich odcinkach ujściowych, co skutkowało niewielkimi ładunkami zanieczyszczeń. Należy jednak przypuszczać, że lokalnie, tzn. w swojej strefie ujściowej, dopływy te znacznie pogarszały jakość wód Biebrzy, dotyczy to zwłaszcza Kosódki, w której w poszczególnych kampaniach pomiarowych notowano najniższe stężenia tlenu oraz największe deficyty tlenowe.
- 10) Wyniki analiz chemicznych próbek wody z Biebrzy oraz efekty symulacji komputerowych w poszczególnych kampaniach pomiarowych wykazały, że **na odcinkach od 15,9 do 13,4 km biegu Biebrzy oraz od 8,3 do 5,5 km biegu rzeki w dopływach obszarowych występowały** znaczne, **ponad przeciętne stężenia** takich **parametrów jakościowych** jak: azot organiczny, azot amonowy, azot azotanowy(V), fosfor organiczny, fosfor mineralny oraz chlorofil „a”. W szczególności dotyczy to związków azotu, w tym wysokich stężeń azotu organicznego wraz z zachwianą proporcją N:P charakterystyczną dla

Biebrzy, co świadczy o antropogenicznym pochodzeniu zanieczyszczeń. **Ich źródłem są** najprawdopodobniej **wiejskie skupiska ludności** położone w obrębie wymienionych odcinków rzeki, tuż nad samym jej prawym brzegiem, **tj. wieś Brzostowo** (od 15 do 14,4 km biegu rzeki) **oraz wieś Rutkowskie** (od 6,6 do 5,3 km biegu rzeki). Wysokie stężenia poszczególnych parametrów jakościowych wynikają zapewne z przenikania do wód Biebrzy ścieków bytowych i/lub gnojowicy pochodzącej z chowu zwierząt w zabudowaniach gospodarskich, które niejednokrotnie zlokalizowane są już 20-30 metrów od brzegu rzeki. Powszechnie uważa się, że główną przyczyną nadmiernej eutrofizacji wód powierzchniowych jest nawożenie pól uprawnych, jednak badania naukowe ostatniej dekady pokazały, że poważną rolę odgrywa niewłaściwa gospodarka odchodami zwierząt hodowlanych (Giziński, Falkowska 2003).

11) Zagęszczenie glonów bentosowych na dnie Biebrzy wynosiło w poszczególnych okresach pomiarowych odpowiednio: od 93 do 122 mg $A \cdot m^{-2}$ w dniu 29.07.2007 r. (pokrycie glonami 51% powierzchni dna), od 6 do 14 mg $A \cdot m^{-2}$ w dniu 25.09.2007 r. (pokrycie 45% dna) oraz od 37 do 113 mg $A \cdot m^{-2}$ w dniu 23.07.2008 r. (pokrycie 66% dna). Pomimo diametralnie różnych warunków hydrologicznych zagęszczenia glonów na dnie Biebrzy w lipcu 2007 r. oraz w lipcu 2008 r. były do siebie bardzo zbliżone i niemal dziesięciokrotnie większe od zagęszczenia zaobserwowanego we wrześniu 2007 r., co wskazuje, że **najważniejszym czynnikiem wpływającym na rozwój glonów przydennych w Biebrzy jest temperatura jej wód.**

12) Odczyn wód powierzchniowych Basenu Dolnego wynosił w poszczególnych kampaniach:

- w Biebrzy średnio: 7,6 w dniu 29.07.2007 r., 7,8 w dniu 25.09.2007 r. oraz 7,9 w dniu 23.07.2008 r.
- w dopływach punktowych: od 7,4 do 7,9 w dniu 29.07.2007 r., od 7,4 do 7,9 w dniu 25.09.2007 r. oraz od 7,5 do 8,0 w dniu 23.07.2008 r.
- w dopływach obszarowych: od 6,8 do 8,0 w dniu 29.07.2007 r., od 6,7 do 8,5 w dniu 25.09.2007 r. oraz od 6,3 do 7,7 w dniu 23.07.2008 r.

Powyższe wyniki wskazują, że **w sezonie wegetacyjnym odczyn wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy wynosi średnio 7 ± 1** , a zatem jest zasadniczo obojętny, jedynie w niektórych miejscach lub w specyficznych warunkach staje się lekko zasadowy ($pH = 8$) lub też lekko kwaśny ($pH = 6$). Najniższe/najwyższe pH miały wody dopływające obszarowo z torfowisk do Biebrzy, co wskazuje na większe/mniejsze stężenie w nich substancji humusowych wymytych z pokładów torfu.

13) Zasadowość ogólna wód powierzchniowych Basenu Dolnego wynosiła w poszczególnych okresach pomiarowych:

- w Biebrzy średnio: 239 mg $CaCO_3 \cdot dm^{-3}$ w dniu 29.07.2007 r., 220 mg $CaCO_3 \cdot dm^{-3}$ w dniu 25.09.2007 r. oraz 225 mg $CaCO_3 \cdot dm^{-3}$ w dniu 23.07.2008 r.

- w dopływach punktowych: od 190 do 257 mg CaCO₃·dm⁻³ w dniu 29.07.2007 r., od 196 do 294 mg CaCO₃·dm⁻³ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 217 do 348 mg CaCO₃·dm⁻³ w dniu 23.07.2008 r.
- w dopływach obszarowych: od 185 do 290 mg CaCO₃·dm⁻³ w dniu 29.07.2007 r., od 160 do 260 mg CaCO₃·dm⁻³ w dniu 25.09.2007 r. oraz od 160 do 300 mg CaCO₃·dm⁻³ w dniu 23.07.2008 r.

Największe nasycenie wody zawartym w niej węglanem wapnia oraz największe różnice pomiędzy jego minimalną a maksymalną wartością (wynoszące nawet 140 mg CaCO₃·dm⁻³) występowały w wodach dopływających obszarowo z mokradeł, co oznacza, że **wody powierzchniowe zalegające na rozlewiskach Basenu Dolnego nie stanowią jednolitej**, pod względem chemicznym, masy wód, lecz raczej **mieszaninę wód powierzchniowych z wodami podziemnymi**, bogatymi w wapń, żelazo oraz glin wypłukane z podłoża mineralnego.

7.3 Wnioski z monitoringu jakości wód powierzchniowych i osadów dennych Basenu Dolnego Biebrzy w latach 1993-2007, pokrywające się z wnioskami z doktoratu

- 1) Wody powierzchniowe Basenu Dolnego są umiarkowanie zanieczyszczone, w największym stopniu Kosódka i Klimaszewnica, w następnej kolejności Kanał Rudzki, Biebrza oraz Wissa.
- 2) Największy wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego mają niskie stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie oraz wysokie stężenia azotu organicznego, z powodu których w latach 2006-2007 żaden z cieków Basenu Dolnego nie spełniał warunków niezbędnych dla życia ryb karpiowatych oraz drapieżnych.
- 3) Spadek stężeń związków organicznych szybko ulegających biodegradacji (BZT₅) świadczy o coraz mniejszym zanieczyszczaniu Basenu Dolnego ściekami bytowymi docierającymi tu z całej zlewni Biebrzy.
- 4) Pojawiające się okresowo niskie stężenia tlenu w Biebrzy i jej dopływach są spowodowane wzrastającym stężeniem różnych form azotu, które utleniając się w procesie nityfikacji zużywają tlen rozpuszczony w wodzie, a także na skutek intensyfikacji procesów biochemicznych zachodzących w osadach dennych.
- 5) Wzrastające stężenia azotanów(III) w Biebrzy są skutkiem przyspieszenia w ciągu ostatnich lat procesu wysychania torfowisk, z których rzeka jest zasilana znacznymi ilościami azotu poprzez spływ powierzchniowy oraz za pośrednictwem wód gruntowych.
- 6) Istotny wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego mają osady denne Biebrzy, które stanowią wtórne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych, m. in. rozpuszczalnym w wodzie fosforem mineralnym oraz amoniakiem.
- 7) Znaczące zmiany jakości wody w poszczególnych punktach pomiarowych zlokalizowanych wzdłuż biegu Biebrzy wskazują na pojawiające się okresowo

antropogeniczne źródła zanieczyszczeń, tj. wiejskie jednostki osadnicze.

- 8) Pogarszające się okresowo (zwłaszcza latem) warunki bytowania w Biebrzy ryb mogą prowadzić, przy utrzymaniu się obecnych tendencji, do niekorzystnych zmian w składzie gatunkowym tutejszej ichtiofauny (dominacja gatunków odpornych na zanieczyszczenia i niskie stężenia tlenu, stopniowe wypieranie gatunków wrażliwych, spadek różnorodności gatunkowej) oraz do spadku liczebności poszczególnych populacji.
- 9) Wzrastająca w Biebrzy oraz jej dopływach ilość przyswajalnych dla roślin form azotu będzie prowadzić do niekorzystnych zmian w składzie gatunkowym roślinności mokradłowej występującej w strefie zalewowej Basenu Dolnego. W efekcie nastąpi dominacja gatunków odpornych na zanieczyszczenia, takich jak np. trzcina pospolita, stopniowe wypieranie gatunków wrażliwych oraz spadek różnorodności gatunkowej.
- 10) Wzrastająca w Biebrzy oraz jej dopływach ilość azotu może, przy utrzymaniu się obecnych tendencji, doprowadzić w najbliższej przyszłości do nadmiernej żyzności (eutrofizacji) wód powierzchniowych Basenu Dolnego. Nastąpi to w przypadku wzrostu stężeń rozpuszczalnego w wodzie fosforu mineralnego, np. na skutek zwiększonego zasilania z osadów dennych lub wzrostu zawartości biogenów w dopływach punktowych i/lub w Biebrzy Środkowej.

7.4 Weryfikacja tez rozprawy doktorskiej

Szczegółowo omówione w rozdziałach 5-6 wyniki badań terenowych oraz efekty symulacji komputerowych, a także przedstawione w podrozdziałach 7.1-7.3 płynące z nich wnioski końcowe umożliwiły stwierdzenie prawdziwości postawionych na początku pracy głównych tez rozprawy doktorskiej:

- 1) Zwiększająca się w Biebrzy Dolnej oraz jej dopływach ilość zanieczyszczeń antropogenicznych oraz substancji pochodzenia naturalnego może spowodować, obecnie lub w przyszłości, powolną degradację ekologiczną przyrodniczo cennego ekosystemu rzeczno-Basenu Dolnego Biebrzańskiego Parku Narodowego.
- 2) Istotny wpływ na pogorszenie jakości wód powierzchniowych na obszarze Basenu Dolnego mają dopływy Biebrzy transportujące zanieczyszczenia z obszarów znajdujących się poza granicami parku narodowego.
- 3) Znaczny wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy mają odwadniane torfowiska, które są naturalnym źródłem materii organicznej.
- 4) Istotny wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy mają osady denne Biebrzy, które stanowią wtórne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych, np. fosforem mineralnym.
- 5) Istotny wpływ na jakość wód powierzchniowych Basenu Dolnego Biebrzy mają nie skanalizowane, wiejskie jednostki osadnicze zlokalizowane wzdłuż brzegów dolnego odcinka Biebrzy, które stanowią obszarowe źródła zanieczyszczenia rzeki biogenami.

7.5 Prognoza przyszłościowych zmian środowiskowych na obszarze Basenu Dolnego Biebrzy

Próbując przewidzieć, jaki będzie w przyszłości stan środowiska naturalnego w południowej części Biebrzańskiego Parku Narodowego należy rozważyć trzy najważniejsze czynniki wpływające na ten proces. Pierwszy z nich to **zmiany klimatyczne**, a więc zjawiska, na które w skali lokalnej nie mamy praktycznie żadnego wpływu. Zgodnie z ogólnosiątkowymi trendami należy spodziewać się stopniowego ocieplenia klimatu w całej Kotlinie Biebrzańskiej, a więc również w Basenie Dolnym Biebrzy. Proces ten spowoduje, że z roku na rok będą występować coraz łagodniejsze zimy z coraz mniejszą pokrywą śnieżną. Mniej zalegającego na przedwiośniu śniegu przyniesie coraz mniejsze roztopowe zalewy wiosenne, a więc w efekcie coraz krótszy okres dobrego nawodnienia torfów tworzących torfowiska Basenu Dolnego. *Summa summarum* ocieplenie klimatu przyspieszy wysychanie torfów i spowoduje, że ich wierzchnia, przesuszona warstwa nie tylko będzie sięgać coraz głębiej w podłoże, ale również będzie coraz bardziej podatna na wypłukiwanie z niej materii organicznej w trakcie okresowych wezbrań wody. W efekcie do Biebrzy będą transportowane obszarowo coraz większe ilości materii organicznej, dzięki czemu w toni wodnej będą wzrastały stężenia azotu organicznego oraz fosforu organicznego, a w osadach dennych będzie przybywać zasobów azotu i fosforu.

Bezpośrednim skutkiem tego procesu będzie intensyfikacja biochemicznego rozkładu materii organicznej, w tym głównie nityfikacja azotu w toni wodnej oraz mineralizacja fosforu i produkcja amoniaku w osadach dennych, natomiast pośrednim – coraz częstsze i coraz większe spadki stężenia tlenu w Biebrzy. To z kolei może przynieść niekorzystne zmiany w składzie gatunkowym tutejszej ichtiofauny oraz spadek liczebności populacji poszczególnych gatunków ryb. Już teraz miejscowi wędkarze z 20-30-letnim stażem zgodnym chórem zapewniają, że z roku na rok w Biebrzy jest coraz mniej ryb (zwłaszcza tych szlachetniejszych gatunków) oraz coraz częściej w okresie letnim występują tzw. przyduchy, czyli masowe śnięcie ryb z powodu zbyt niskich stężeń tlenu rozpuszczonego w wodzie. Równocześnie sama rzeka, a także jej rozlewiska, będą w coraz większym stopniu użyźniane azotem, co niemal na pewno wpłynie na powolny zanik roślinności wrażliwej na zanieczyszczenia oraz przyspieszy ekspansję gatunków powszechnie występujących i odpornych na gorszą jakość wód powierzchniowych. Bezpośrednim i łatwo zauważalnym efektem tego zjawiska będzie stopniowa ekspansja szuwarów trzcinowych (składających się głównie z trzciny pospolitej), a pośrednim – spadek różnorodności gatunkowej wśród tutejszej roślinności mokradłowej.

Drugim czynnikiem, którego dotychczasowy wpływ na stan środowiska Basenu Dolnego Biebrzy był niepodważalnie negatywny jest **rozwój cywilizacyjny w zlewni Biebrzy**. Obserwując zmiany w infrastrukturze, zachodzące w otulinie Biebrzańskiego Parku Narodowego, a także w województwie podlaskim oraz w całej Polsce, należy spodziewać się

zjawisk, jakie już dawno temu miały miejsce w krajach wysokorozwiniętych, takich jak np. Stany Zjednoczone czy Niemcy, gdzie przyroda była stopniowo, ale konsekwentnie podporządkowywana potrzebom gospodarczym oraz konsumpcyjnym oczekiwaniom społeczeństwa. Rozwój cywilizacyjny, reprezentowany m. in. poprzez rozwój przestrzenny skupisk ludności oraz rozbudowę zakładów produkcyjnych, będzie prowadził stopniowo do coraz większej produkcji ścieków komunalnych i przemysłowych w całej zlewni Biebrzy. To z kolei zaowocuje coraz większym ładunkiem wód ściekowych, oczyszczonych w różnym stopniu, a następnie odprowadzonych do lokalnych cieków powierzchniowych, które wcześniej czy później zasilają Biebrzę lub jej dopływy. Patrząc na dotychczasowe dysproporcje pomiędzy szybkim tempem rozbudowy sieci wodociągowych oraz wolnym tempem budowy nowych sieci kanalizacyjnych czy oczyszczalni ścieków w gminach biebrzańskich należy przypuszczać, że największe znaczenie dla jakości wód Basenu Dolnego będzie miał rozwój skupisk ludności zlokalizowanych w jego zlewni. Ze względu na brak większych osad w bezpośredniej zlewni Biebrzy Dolnej, a także biorąc pod uwagę wnioski płynące z rozprawy doktorskiej należy przypuszczać, że największym zagrożeniem dla środowiska wodnego Basenu Dolnego będzie wzrastający ładunek biogenów, tzn. azotu i fosforu, dopływający tu z Basenu Środkowego oraz poprzez dopływy punktowe (głównie Kanał Rudzki i Wissa). Obawa ta jest uzasadniona, bowiem już teraz raporty Inspekcji Ochrony Środowiska oficjalnie podają, że na obszarze województwa podlaskiego zaobserwowano w ciągu ostatnich kilku lat systematyczny wzrost ładunku azotu ogólnego odprowadzanego do wód powierzchniowych, co jest związane z wytwarzaniem różnych form tego biogenu w procesie oczyszczania ścieków. W przypadku wzrastających ładunków fosforu mineralnego dopływającego do Biebrzy Dolnej, lub też zwiększającego się zasilania wewnętrznego z osadów dennych należy spodziewać się wzrostu żyzności wód powierzchniowych Basenu Dolnego, a w dalszej konsekwencji ich eutrofizacji.

Ostatnim, ale bardzo ważnym czynnikiem, który pośrednio będzie wpływał na stan środowiska Basenu Dolnego Biebrzy jest **kierunek zmian w polskich oraz unijnych przepisach prawnych związanych z ochroną wód powierzchniowych**. Obecnie kierunek ten napawa głębokim pesymizmem. Z punktu widzenia prawnej ochrony oraz oceny jakości wód powierzchniowych Polska znalazła się w tym momencie w sytuacji paradoksalnej. Z jednej strony już od połowy lat 90. XX w. nasz kraj był mentalnie i legislacyjnie przygotowywany do przyjęcia prawa Unii Europejskiej, czego ukoronowaniem było wdrożenie Ramowej Dyrektywy Wodnej (Dyrektywa 2000/60/EC). Spodziewano się, zgodnie z prowadzoną w naszym kraju kampanią informacyjną oraz częstymi wypowiedziami komisarzy unijnych w Brukseli, że przepisy unijne, w sposób jasny i przejrzysty, uporządkują skomplikowaną problematykę ochrony wód powierzchniowych oraz umożliwią, poprzez podanie konkretnych rozwiązań, przeciwdziałanie wzrastającemu zanieczyszczeniu środowiska wodnego w Polsce. Tymczasem okazało się, że Ramowa Dyrektywa Wodna jest zlepką ogólnych koncepcji i wytycznych, a także spisem pobożnych życzeń jej autorów,

które powtarzane średnio co kilka stron dokumentu można sprowadzić do jednego, prostego zdania: „Należy dążyć do poprawy czystości wód powierzchniowych”. Nie znajdziemy tam żadnych konkretnych przepisów, brak jest jakichkolwiek norm czy wartości liczbowych dla poszczególnych wskaźników jakości wód, a zatem okazało się, że prawnych środków do oceny oraz ochrony jakości wód powierzchniowych nadal należy szukać w polskich przepisach wykonawczych, tzn. w rozporządzeniach Ministra Środowiska RP.

7.6 Propozycje przeciwdziałania negatywnym zmianom w środowisku wodnym Basenu Dolnego Biebrzy

Oczywiście stan zanieczyszczenia Biebrzy i jej dopływów substancjami pokarmowymi nie jest w chwili obecnej, w porównaniu do wielu rzek Polski, alarmujący jednak należy pamiętać, że jako park narodowy jest to obszar specjalnie chroniony i zgodnie z wymaganiami zawartymi w Dyrektywie Wodnej UE jesteśmy zobowiązani do osiągnięcia oraz utrzymania jego odpowiedniego statusu ekologicznego. Status ten wyraża się między innymi wysoką jakością (czystością) wód powierzchniowych stanowiących w Dolinie Biebrzy główny czynnik przyrodotwórczy. Biebrzański Park Narodowy jako jeden z ostatnich, prawie całkowicie naturalnych obszarów mokradłowych Europy oraz ostoja setek gatunków ptaków jest wart każdych wydanych na ten cel pieniędzy. Należy zadbać o to, aby powolny, aczkolwiek postępujący rozwój cywilizacyjny terenów północno-wschodniej Polski nie zniweczył w najbliższej przyszłości idei Zielonych Płuc Polski, aby w dobie postępującego uprzemysłowienia, zmotoryzowania i konsumpcjonizmu Europy przyszłe pokolenia Polaków mogły, tak jak my teraz, cieszyć się widokiem dzikiej przyrody w tak pięknych miejscach jak Dolina Biebrzy. W związku z powyższym proponuje się podjęcie następujących działań, które powinny zminimalizować prognozowane, negatywne zmiany w środowisku wodnym Basenu Dolnego Biebrzy:

- **Prowadzenie edukacji społeczeństwa na obszarze zlewni Biebrzy, a przynajmniej w obrębie gmin biebrzańskich.** Edukacja lokalnej społeczności, a zwłaszcza dzieci, powinna polegać na uświadamianiu negatywnych skutków dla czystości wody, a w dalszej perspektywie degradacji biebrzańskiej przyrody, jakie wywołują takie działania jak: odprowadzanie nieczystości domowych do wód powierzchniowych, zaśmiecanie brzegów rzek i mokradeł, gromadzenie obornika w przyzmach zlokalizowanych w pobliżu brzegów wód powierzchniowych czy też odprowadzanie do nich nadmiaru gnojowicy powstałej w trakcie chowu zwierząt.
- **Nawiązanie przez Dyрекcję Parku kontaktu, a w dalszej perspektywie stałej współpracy z kierownikami oczyszczalni ścieków** odprowadzających oczyszczone wody ściekowe do wód położonych w zlewni Basenu Dolnego. Współpraca ta powinna polegać na uświadomieniu znaczenia dla przyrody prawidłowej pracy wszystkich oczyszczalni ścieków działających z zlewni Biebrzy Dolnej, a zwłaszcza usuwania ze ścieków – na etapie oczyszczania chemicznego – nadmiaru biogenów, tj. azotu i fosforu.

- **Złożenie w Ministerstwie Środowiska wniosku o naniesienie poprawek do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego** (Dziennik Ustaw Nr 137, poz. 984). Poprawki te powinny polegać na usunięciu klauzuli, która dla mniejszych i średnich oczyszczalni ścieków określa minimalne wymagania jakościowe tylko w przypadku ścieków odprowadzanych bezpośrednio do jezior lub ich dopływów. Identyczne, najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników oraz minimalne procenty redukcji zanieczyszczeń powinny obowiązywać w przypadku oczyszczonych ścieków odprowadzanych do wszystkich rzek. Wprowadzenie tej prostej poprawki automatycznie zobliguje zarządców mniejszych i średnich oczyszczalni ścieków działających w zlewni Biebrzy Dolnej do redukcji biogenów w odprowadzanych ściekach oraz umożliwi Inspekcji Ochrony Środowiska egzekwowanie poprawy jakości wód powierzchniowych.
- **Skanalizowanie wsi Brzostowo oraz Rutkowskie**, co powinno znacznie zmniejszyć negatywny wpływ tych skupisk ludności na jakość wody w Biebrzy poprzez zmniejszenie obszarowego dopływu zanieczyszczeń do rzeki.
- **Niedopuszczanie do gwałtownych przyborów wody na Biebrzy w okresie lata**. Można to osiągnąć m. in. poprzez kontrolę działania śluzy znajdującej się na ujściowym odcinku Kanału Augustowskiego wpadającego do Biebrzy Środkowej w miejscowości Dębowo. Gwałtowne przybory wody powodują nie tylko niekontrolowane wypłukiwanie materii organicznej z torfowisk, a następnie obszarowe zasilanie nią Biebrzy Dolnej, ale również nieprzewidziane podtopienia nadrzecznych łąk, co uniemożliwia miejscowym rolnikom zbiór siana oraz zniechęca ich do koszenia traw.
- **Prowadzenie stałego monitoringu jakości wód powierzchniowych Basenu Dolnego**, tj. na Biebrzy, Kanale Rudzkim i Wissie w zakresie stężeń tlenu oraz najważniejszych biogenów, tzn. azotu (organicznego, amonowego, azotanowego(III) i azotanowego(V)) oraz fosforu (mineralnego). Rozwiązaniem idealnym byłby też równoczesny monitoring strefy przydennej Biebrzy pod kątem stężeń tlenu, amoniaku oraz fosforanów(V). Monitoring powinien być prowadzony przez cały rok, w kilku lub kilkunastu stałych punktach pomiarowych rozproszonych na całej długości Biebrzy Dolnej w taki sposób, aby uzupełniać się z siecią monitoringu państwowego IOŚ.

Literatura

- Allan J. D. 1998. *Ekologia wód płynących*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Anaszko M., Grodzki S. 2001. *Ochrona zasobów i walorów środowiska przyrodniczego obszaru Bagien Biebrzańskich*. [W:] *Społeczno-gospodarcze aspekty funkcjonowania Biebrzańskiego Parku Narodowego*. C. Sadowska-Snarska (red.). Studia Regionalne nr 2 (4). Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej, Białystok, s. 231-264.
- Balla D., Kalettka T. 2003. *Effect of the accuracy of stream parameter estimation on simulated water quality for the German wetland region Spreewald*. [W:] *Measurement techniques and data assessment in wetlands hydrology*. S. Ignar, P. Nowakowski, T. Okruszko (red.). „Wethydro” – Center of Excellence in Wetland Hydrology. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 37-52.
- Banaszuk H. 2001. *Kotlina Biebrzańska. Aktualny stan, walory i główne zagrożenia środowiska przyrodniczego*. [W:] *Społeczno-gospodarcze aspekty funkcjonowania Biebrzańskiego Parku Narodowego*. C. Sadowska-Snarska (red.). Studia Regionalne nr 2 (4). Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej, Białystok, s. 9-54.
- Banaszuk H. 2004. *Geomorfologia Kotliny Biebrzańskiej*. [W:] *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. H. Banaszuk (red.). Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, s. 44-98.
- Bartoszuik H., Dembek W., Jezierski T., Kamiński J., Kupis J., Liro A., Nawrocki P., Sidor T., Wasilewski Z. 2001. *Spasanie podmokłych łąk w dolinach Narwi i Biebrzy jako metoda ochrony ich walorów przyrodniczych*. Biblioteczka Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych nr 98. Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Bielak S., Bykov R. 2000. *Wpływ południowego odcinka obwodnicy drogowej na warunki środowiskowe oraz organizację ruchu na terenie południowych osiedli Krakowa*. [W:] „Inżynieria Środowiska”, t. 5, z. 1. Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków.
- Bielak S., Dworak T. Z. 2000. *Problem wpływu motoryzacji na funkcje lecznicze uzdrowisk krajowych na przykładzie uzdrowiska Swoszowice w Krakowie*. [W:] „Inżynieria Środowiska”, t. 5, z. 2. Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków.
- Bleuten W., Gajewski G., Kardel I., Kowalewski Z., Mioduszeński W., Siłakowski M., Wassen M., Wielechowska A., Zdanowicz A. 2002. *Characteristics of the Lower Biebrza Basin*. [W:] *Hydrological system analysis in the valley of Biebrza River*. W.

- Mioduszewski, E. P. Querner (red.). Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, s. 9-38.
- Boczar J. (red.) 1995. *Modele matematyczne jakości wody w ujściowym odcinku rzeki*. Wydawnictwo Instytutu Budownictwa Wodnego PAN, Szczecin.
- Bojakowska I. 2001. *Kryteria oceny zanieczyszczeń osadów wodnych*. [W:] *Przegląd geologiczny*. Vol. 49, nr 3. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Bojakowska I., Gliwicz T. 2003. *Wyniki geochemicznych badań osadów wodnych Polski w latach 2000-2002*. Raport państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Bołtromiuk A. 2001. *Gospodarka rolna na terenie Biebrzańskiego Parku Narodowego*. [W:] *Společno-gospodarcze aspekty funkcjonowania Biebrzańskiego Parku Narodowego*. C. Sadowska-Snarska (red.). *Studia Regionalne* nr 2 (4). Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej, Białystok, s. 171-201.
- Borkowski M. 1999. *Doświadczenia z 20 lat czynnej ochrony Bagien Biebrzańskich*. [W:] *Aktualna problematyka ochrony mokradeł*. W. Dembek (red.). Materiały seminaryjne nr 43. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, s. 97-104.
- Briggs L., Adrados L. C., Buszko M. 1999. *Pond conservation perspectives in north eastern Poland*. [W:] *Aktualna problematyka ochrony mokradeł*. W. Dembek (red.). Materiały seminaryjne nr 43. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, s. 105-109.
- Brown G. L., Barnwell T. O. 1987. *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS*. U. S. Environmental Protection Agency publication No. EPA/600/3-87-007, Athens, Georgia, Stany Zjednoczone.
- Byczkowski A., Kiciński T. 1991. *Hydrologia i hydrografia dorzecza Biebrzy*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 75-118.
- Byczkowski A., Mandes B. 1997. *Przepływy rzeczne w zlewni Biebrzy i ich zmienność w przebiegu czasowym*. Materiały (maszynopis) seminarium pt. „Gospodarka Wodna w dolinie Biebrzy i jej funkcje w ochronie walorów przyrodniczych”. Biebrzański Park Narodowy, Goniądz.
- Byczkowski A., Czarnicka H., Fal B., Ignar S., Okruszko T., Bogdanowicz E., Bok G., Chormański J., Dąbrowski M., Kardel I., Piekarski M. 2000. *Plan Ochrony Biebrzańskiego Parku Narodowego. Operat „Ochrona Zasobów Wodnych”*. Tom I (maszynopis) „Charakterystyka zasobów wodnych”. Katedra Budownictwa Wodnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa.
- Byczkowski A., Fal B. 2004. *Wody powierzchniowe Kotliny Biebrzańskiej*. [W:] *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. H. Banaszuk (red.). Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, s. 113-183.

- Chapra S. C. 1997. *Surface Water – Quality Modeling*. Wydawnictwo the McGraw-Hill Companies, Inc., New York-Toronto, Stany Zjednoczone.
- Chapra S. C., Pelletier G. J., Tao H. 2007. *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.07: Documentation*. Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University, Medford, MA, Stany Zjednoczone (<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>).
- Chaudhury R. R., Sobrinho J. A. H., Wright R. M., Sreenivas M. 1998. *Dissolved oxygen modeling of the Blackstone River (Northeastern United States)*. [W:] *Water Research*, vol. 32, no. 8, pp. 2400-2412.
- Chormański J., Kowalewski K., Mazippus M. 2003. *Application of the GPS techniques for water stag measurements and river slope calculation in wetland area of Upper Biebrza Basin*. W:] *Measurement techniques and data assessment in wetlands hydrology*. S. Ignar, P. Nowakowski, T. Okruszko (red.). „Wethydro” – Center of Excellence in Wetland Hydrology. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 53-50.
- Chormański J., Okruszko T., Skąpski J., Michałowski R., Borowski J. 2000a. *Assessment of the flooded area in the Biebrza valley*. [W:] *Some aspects of water management in the valley of Biebrza River*. W. Mioduszewski, M. Wassen (red.). Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, s. 101-106.
- Chormański J., Okruszko T., Ignar S., Byczkowski A. 2000b. *Methods of flood extension assessment in the marsh valley*. Sprawozdanie (maszynopis) z konferencji naukowej „*European conference on advances in flood research*” 1-3 listopada 2000 r., Poczdam, Niemcy.
- Churski T., Szuniewicz J. 1991. *Gleby hydrogeniczne i ich właściwości fizyczno-wodne w Pradolinie Biebrzy*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 271-293.
- Clean Water Act 2002. *Federal Water Pollution Control Act* (33 U.S.C. 1251 et seq.) (<http://www.thecre.com/fedlaw/legal14water/cwa.htm>, <http://epw.senate.gov/water.pdf>).
- Collins S. L., Gough L., Clark C., Cleland E. E., Gross K., Milchunas D. G., Pennings S. 2005. *Nitrogen fertilization of soil puts rare plant species at risk*. [W:] *Proceedings of the National Academy of Sciences, Issue No. 22*. Stany Zjednoczone Ameryki (<http://www.universityofcalifornia.edu/news/article/7079>).
- Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) 2003. Guidance Document No 12. Horizontal Guidance on the Role of Wetlands in the Water Framework Directive*. Office for Official Publications of the European Communities, Luksemburg, UE (<http://www.waterframeworkdirective.wdd.moa.gov.cy/docs/GuidanceDocuments/Guidancedoc12wetlands.pdf>).

- Cubilo F., Rodriguez B., Barnwell T. O. Jr. 1992. *A system for control of river water quality for the community of Madrid using QUAL2E*. [W:] *Water Science and Technology* 26(7/8):1867-1873.
- Czernuszenko W., Rowiński P. 1994. *Współczesne modele matematyczne procesów transportu i mieszania zanieczyszczeń w rzekach*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Czerwiński A. 1991. *Lasy na torfowiskach w Kotlinie Biebrzańskiej i perspektywy ich rozwoju w aspekcie produkcyjnym i ochrony środowiska*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 336-370.
- Dembek W., Oświt J., Szewczyk M. 1999. *Mokradła Polski – czym są obecnie?* [W:] *Aktualna problematyka ochrony mokradeł*. W. Dembek (red.). Materiały seminaryjne nr 43. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, s. 29-38.
- Dembek W., Piórkowski H., Rycharski M. 2000. *Mokradła na tle regionalizacji fizyczno-geograficznej Polski*. Biblioteczka Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych nr 97. Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Dobrzański G., Dobrzańska M., Kielczewski D., Łapińska E. 1996. *Ochrona środowiska przyrodniczego*. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Warszawa.
- Dojlido J. 1995. *Chemia wód powierzchniowych*. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Drołc A., Koncan J. Z. 1996. *Water quality modelling of the River Sava, Slovenia*. [W:] *Water Research*, vol. 30, no.11, pp. 2587-2592.
- Dyrektywa 2000. *Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej* (http://wwf.pl/informacje/publikacje/natura/ramowa_dyrektywa_wodna.pdf).
- Giziński A., Falkowska E. 2003. *Hydrobiologia stosowana: ochrona wód powierzchniowych*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Humanistyczno-Ekonomicznej we Włocławku, Włocławek.
- Głowaciński Z. (red.) 2002. *Czerwona lista zwierząt ginących i zagrożonych w Polsce*. Polska Akademia Nauk, Instytut Ochrony Przyrody, Kraków.
- Górnjak A. 1996. *Substancje humusowe i ich rola w funkcjonowaniu ekosystemów słodkowodnych*. Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
- Górnjak A. 2004. *Klimat i termika wód powierzchniowych Kotliny Biebrzańskiej*. [W:] *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. H. Banaszuk (red.). Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, s. 345-362.
- Hanna R. B., Campbell S. G. 2000. *Water Quality Modeling in the Systems Impact Assessment Model for the Klamath River Basin – Keno, Oregon to Seiad Valley*,

-
- California. Open-File Report 99-113, U. S. Geological Survey, Fort Collins, CO, Stany Zjednoczone.
- Hoffmann J. 2004. *The Biebrza National Park – a unique wetland ecosystem under threat*. European Protected Areas, vol. 4, summer 2004. IUCN The World Conservation Union
(http://www.uicn.org/places/europe/rofe/documents/UK%20NewsletterSummer%2004%20Vol_links.pdf).
- Holnicki P., Nahorski Z., Żochowski A. 2000. *Modelowanie procesów środowiska naturalnego*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Warszawa.
- IOŚ 2003. *Stan środowiska w Polsce w latach 1996-2001*. Raport państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- IOŚ 2004. *Stan czystości rzek, jezior i Bałtyku na podstawie wyników badań wykonywanych w ramach państwowego monitoringu środowiska w latach 2002-2003*. Raport państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- IOŚ 2006. *Stan środowiska w Polsce na tle celów i priorytetów Unii Europejskiej. Raport wskaźnikowy 2004*. Raport państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- IOŚ 2007a. *Raport o stanie środowiska województwa Podlaskiego w latach 2004-2006*. Raport państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Białystok
(<http://www.wios.bialystok.pl/pdf/raport2004-2006.pdf>).
- IOŚ 2007b. *Stan czystości rzek województwa podlaskiego w 2006 r.* Raport państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Białystok
(<http://www.wios.bialystok.pl/pdf/rzeki2006.pdf>).
- James A. 1993. *An Introduction to Water Quality Modelling*. Wydawnictwo John Wiley & Sons, Inc., Chichester, Wielka Brytania.
- Januszkiewicz T. 1975. *Zagadnienie fosforu w eutrofizacji i ochronie wód*. [W:] „Gospodarka wodna” nr 2/75, s. 58-66.
- Kajak A., Andrzejewska L., Ciesielska Z., Chmielewski K., Kaczmarek M., Makulec G., Pętał J., Ryszkowska J., Stopnicki J., Szanser M., Wasilewska M. 1991. *Ekologiczna analiza przemian zachodzących na torfowiskach pod wpływem gospodarki*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 435-454.
- Kajak Z. 1994. *Hydrobiologia. Ekosystemy wód śródlądowych*. Wydawnictwo Filii Uniwersytetu Warszawskiego w Białymstoku, Białystok.

- Kardel I. 2001. *Analiza zmian jakości wód powierzchniowych w Pradolinie Biebrzy*. Rozprawa doktorska (maszynopis). Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa.
- Kardel I., Frąk M., Ignar S., Okruszko T. 2007. *Influence of Wetlands on the Leaching Carbon Compounds to the Surface Waters – Biebrza Wetlands Case Study*. [W:] Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 16, No. 2A, Part II, p. 395-401.
- Kossowska-Cezak U., Olszewski K., Przybylska G. 1991. *Klimat Kotliny Biebrzańskiej*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 119-160.
- Kotowski W., Rycharski M., Dembek W. 1999. *Mokradła w sieci Econet-Polska*. [W:] *Aktualna problematyka ochrony mokradeł*. W. Dembek (red.). Materiały seminaryjne nr 43. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, s. 39-45.
- Kożuchowski K. (red.) 2006. *Meteorologia i klimatologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kubrak J., Nachlik E. (red.) 2003. *Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Kundzewicz Z. W. 2003. *Ecohydrology for sustainable wetlands under global change – data, models, management*. [W:] *Measurement techniques and data assessment in wetlands hydrology*. S. Ignar, P. Nowakowski, T. Okruszko (red.). „Wethydro” – Center of Excellence in Wetland Hydrology. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 25-35.
- Lampert W., Sommer U. 1996. *Ekologia wód śródlądowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Melching C. S., Yoon C. G. 1996. *Key sources of uncertainty in QUAL2E model of Passaic River*. [W:] *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 122, no. 2, pp. 105-114.
- Mioduszewski W. 2001. *Uwarunkowania zrównoważonego rozwoju obszaru funkcjonalnie związanego z Biebrzańskim Parkiem Narodowym*. [W:] *Spółeczno-gospodarcze aspekty funkcjonowania Biebrzańskiego Parku Narodowego*. C. Sadowska-Snarska (red.) Studia Regionalne nr 2 (4). Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej, Białystok, s. 65-78.
- Mioduszewski W., Kajak A., Gotkiewicz J., Banaszuk H., Szuniewicz J., Byczkowski A., Okruszko T., Białokoz W., Matuszkiewicz A., Czerwiński A., Sterzyńska M., Lesiński G., Richling A., Malinowska A., Kowalczyk A., Kachniarz T., Skalmowski W. 2001. *Plan Ochrony Biebrzańskiego Parku Narodowego. Operat Generalny* (maszynopis). Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Warszawa.
- Mioduszewski W., Gajewska B. 2000. *The effect of the Narew River regulation on water levels in the lower part of the Biebrza River*. [W:] *Some aspects of water*

- management in the valley of Biebrza River*. W. Mioduszewski, M. Wassen (red.). Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, s. 59-70.
- Mioduszewski M., Querner E. P., Okruszko T., Wassen M. 2002a. *Analysis of the study results*. [W:] *Hydrological system analysis in the valley of Biebrza River*. W. Mioduszewski, E. P. Querner (red.). Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, s. 121-127.
- Mioduszewski M., Querner E. P., Ślesicka A., Gajewski G., Zdanowicz A., Wielechowska A., 2002b. *Groundwater system analysis*. [W:] *Hydrological system analysis in the valley of Biebrza River*. W. Mioduszewski, E. P. Querner (red.). Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, s. 81-119.
- Mioduszewski W., Siłakowski M., Bleuten W. 2000. *Preliminary assessment of surface and groundwater quality in peatlands of the Central biebrza Basin*. [W:] *Some aspects of water management in the valley of Biebrza River*. W. Mioduszewski, M. Wassen (red.). Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, s. 47-58.
- Mioduszewski W., Ślesicka A. 2004. *Wybrane problemy gospodarowania wodą w dolinie Biebrzy*. [W:] *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. H. Banaszuk (red.). Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, s. 214-261.
- Mioduszewski W., Wassen M. 2000. *Main issues of water management in the Biebrza National Park*. [W:] *Some aspects of water management in the valley of Biebrza River*. W. Mioduszewski, M. Wassen (red.). Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, s. 7-18.
- Okruszko H. 1991a. *Kształtowanie się naukowego rozpoznania Bagien Biebrzańskich jako przygotowanie decyzji do postępowania na tych terenach*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 11-25.
- Okruszko H. 1991b. *Przeobrażanie się mokradeł pod wpływem odwodnienia*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 251-269.
- Okruszko H. 1991c. *Rodzaje mokradeł w Pradolinie Biebrzy*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 163-184.
- Okruszko H. 1997. *Uwarunkowania przeobrażeń związków azotowych w glebach organogenicznych w kontekście eutrofizacji wody*. Materiały z konferencji naukowo-technicznej pt. „Woda jako czynnik warunkujący wielofunkcyjny i zrównoważony rozwój rolnictwa”. Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty
- Okruszko T., Chormański J., Mirosław-Świątek D., Skąpski J., Wassen M. 2002. *Surface water system analysis*. [W:] *Hydrological system analysis in the valley of Biebrza*

- River*. W. Mioduszewski, E. P. Querner (red.). Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, s. 39-80.
- Oświt J. 1968. *Strefowy układ zbiorowisk roślinnych jako odzwierciedlenie stosunków wodnych w dolinie dolnej Biebrzy*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 83. Warszawa.
- Oświt J. 1991a. *Budowa, geneza i rozwój torfowisk pradolinnych Biebrzy*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 185-218.
- Oświt J. 1991b. *Łąkowe zbiorowiska roślinne Bagien Biebrzańskich na tle warunków siedliskowych*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 297-334.
- Pajnowska H., Poźniak R. 1991. *Hydrogeologia Pradoliny Biebrzy i obszarów otaczających*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 63-74.
- Paschal J. E. Jr., Mueller D. K. 1991. *Simulation of water quality and the effects of wastewater effluent on the South Platte River from Chatfield Reservoir through Denver, Colorado*. USGS Water Resources Investigations Report 91-4016. U. S. Geological Survey, Denver, Colorado, Stany zjednoczone.
- Piórkowski H. 2003. *Wykorzystanie zdjęć lotniczych i satelitarnych w monitoringu spontanicznej sukcesji zbiorowisk zaroślowych w obszarach mokradłowych Doliny Biebrzy*. [W:] *Aktualne problemy ochrony mokradeł*. Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie – Rozprawy naukowe i monografie, nr 5. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, s. 43-58.
- Piórkowski H., Rycharski M. 1999. *Zróźnicowanie przestrzenne i dynamika sukcesji zbiorowisk leśnych i zaroślowych w dolinie Biebrzy na podstawie zdjęć lotniczych*. [W:] *Aktualna problematyka ochrony mokradeł*. W. Dembek (red.). Materiały seminaryjne nr 43. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, s. 89-96.
- Raczyński J. 1991. *Fauna oraz zespoły ptaków i ssaków Doliny Biebrzy*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 371-406.
- Rakiel-Czarnecka W. 2005. *Głębszy oddech dla Zielonych Płuc Polski*. [W:] Miesięcznik „Przyroda Polska” nr 5/2005, Warszawa.
- Rozporządzenie 1991. *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi*. Dziennik Ustaw Nr 116, poz. 503.
- Rozporządzenie 2002a. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 października 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące*

-
- środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych.* Dziennik Ustaw Nr 176, poz. 1455.
- Rozporządzenie 2002b. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych.* Dziennik Ustaw Nr 241, poz. 2093.
- Rozporządzenie 2004a. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód.* Dziennik Ustaw Nr 32, poz. 284.
- Rozporządzenie 2004b. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2004 r. w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków Natura 2000.* Dziennik Ustaw Nr 229, poz. 2212 i 2313.
- Rozporządzenie 2005. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2005 r. w sprawie wykazu substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej.* Dziennik Ustaw Nr 233, poz. 1987.
- Rozporządzenie 2006. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.* Dziennik Ustaw Nr 137, poz. 984.
- Rozporządzenie 2007. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 września 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków Natura 2000.* Dziennik Ustaw Nr 179, poz. 1275.
- Rozporządzenie 2008. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych.* Dziennik Ustaw Nr 162, poz. 1008.
- Serwin M. 1991. *Charakterystyka i ocena rolnictwa na obszarze Doliny Biebrzy.* [W:] *Bagna Biebrzańskie.* H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 457-488.
- Sieńko A., Grygoruk A. (red.) 2003. *X lat (1993-2003) Biebrzańskiego Parku Narodowego.* Biebrzański Park Narodowy, Goniądz.
- Siłakowski M. 1996. *Problemy zagrożenia środowiska w aspekcie zanieczyszczeń zasobów wodnych w dolinie Biebrzy* (maszynopis). Biebrzański Park Narodowy, Goniądz.
- Schmidt A., Piórkowski A., Bartoszek H. 2000. *Monitoring scrub encroachment in the Biebrza National Park.* [W:] *Remote sensing techniques and geographic information systems for wetland conservation and management.* Alterra-rapport 174 (maszynopis), Uniwersytet Wageningen, Holandia.
- Schnoor J. L. 1996. *Environmental Modeling. Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil.* Wydawnictwo John Wiley & Sons, Inc., New York-Singapore, Stany Zjednoczone.

- Świątek D., Okruszko T. 2003. *Analysis of impact of natural stream bed variability representation on computed water surface*. [W:] *Measurement techniques and data assessment in wetlands hydrology*. S. Ignar, P. Nowakowski, T. Okruszko (red.). „Wethydro” – Center of Excellence in Wetland Hydrology. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 117-126.
- The List of Wetlands of International Importance 2008*. The Ramsar Convention of Wetlands, Gland, Szwajcaria (<http://www.ramsar.org/sitelist.pdf>).
- Tsihrintzis V. A., Fuentes H. R., Rodriguez L. 1995. *Modeling water quality in low velocity sub-tropical streams*. [W:] *Proceedings of the 3rd International Conference on Water Pollution: Modelling, Measuring and Prediction in Porto Carras, Greece*. L. C. Wrobel, P. Latinopoulos (ed.), Computational Mechanics, Inc., Billerica, MA, Stany Zjednoczone.
- Ujda K. 1988. *Pomiary przepływu wody w korytach otwartych*. Seria „Instrukcje i podręczniki”, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Verhoeven R., Banasiak R., Okruszko T., Świątek D., Chormański J., Nowakowski P., Kardel I., Stelmaszczyk M. 2003. *Hydraulic modelling of river flow – data collection and problem solving*. [W:] *Measurement techniques and data assessment in wetlands hydrology*. S. Ignar, P. Nowakowski, T. Okruszko (red.). „Wethydro” – Center of Excellence in Wetland Hydrology. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 9-23.
- Wassen M. J. 1990. *Water flow as a major landscape ecological factor in fen development*. Rozprawa doktorska. Uniwersytet w Utrechcie, Utrecht, Holandia.
- Wassen M. J., Okruszko T., Kardel I., Chormański J., Świątek D., Mioduszewski W., Bleuten W., Querner E. P., Kahloun M. E., Batelaan O., Meire P. 2006. *Eco-hydrological functioning of the Biebrza wetlands; lessons for conservation and restoration of deteriorated wetlands*. [W:] *Wetlands: Functioning, Biodiversity Conservation and Restoration*. Vol. 2, chapter 12. Wydawnictwo Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Niemcy.
- Wesolowski E. A. 1995. *Verification of Water-Quality Model to Simulate Effects of Discharging Treated Wastewater During Ice-Cover Conditions to the Red River of the North at Fargo, North Dakota and Moorhead, Minnesota*. USGS Water Resources Investigations Report 95-4292, U. S. Geological Survey, Stany Zjednoczone.
- Witkowski A. 1991. *Rybostan dorzecza Biebrzy*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 407-434.
- Zimny H. 2002. *Ekologia ogólna*. Agencja reklamowo-wydawnicza A. Grzegorzczak, W-wa.
- Żurek S. 1991. *Geomorfologia Pradoliny Biebrzy*. [W:] *Bagna Biebrzańskie*. H. Okruszko (red.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, zeszyt nr 372. Wydawnictwo PWN, Warszawa, s. 29-62.

Załącznik nr 1

Wyniki pomiarów terenowych w kampanii
pomiarowej 26-29 lipca 2007 r.

Tabela 8.1 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej w dniach 26-28.07.2007 r.

Przekrój nr 1 BD_00_M						Przekrój nr 3 BD_05_M						Przekrój nr 5 BD_07_M						Przekrój nr 7 BD_09_M						Przekrój nr 8 BD_11_M					
Odległość pionu od „0”	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0”	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0”	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0”	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0”	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0”	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi						
1,0	-0,22			1,0	-0,46	NPB		1,0	-0,36	NPB		3,0	-0,20	NPB		1,0	-0,47	NPB		3,0	-0,20	NPB							
2,0	-0,18			2,0	-0,23			2,0	-0,15			3,5	0,00	BL		2,0	-0,25			3,5	0,00	BL							
3,0	-0,11			3,0	-0,23			3,0	-0,16			3,0	0,00	BP		3,0	-0,27			4,0	1,26								
4,0	0,00	BL		3,5	-0,10			3,5	-0,11			3,0	0,00	NPB		3,5	-0,20			5,0	1,92								
5,0	0,43			4,0	0,00	BL		3,9	0,00	BL		3,0	0,00			6,0	2,68			6,0	2,68		BL						
6,0	0,47			5,0	0,11			4,0	0,03			4,0	0,03			7,0	2,82			7,0	2,82								
6,5	0,62			6,0	0,45			5,0	0,83			5,0	0,83			8,0	2,85			8,0	2,85								
7,0	1,00		BP	7,0	1,05			6,0	1,41			6,0	1,41			9,0	2,73			9,0	2,73								
8,0	1,04			8,0	1,53			7,0	1,63			7,0	1,63			10,0	2,43			10,0	2,43								
9,0	1,50			9,0	1,73			8,0	1,75			8,0	1,75			11,0	2,37			11,0	2,37								
10,0	1,91			10,0	2,02			9,0	1,82			9,0	1,82			12,0	2,33			12,0	2,33								
11,0	2,16			11,0	2,11			10,0	1,86			10,0	1,86			13,0	2,12			13,0	2,12								
12,0	2,14			12,0	2,15			11,0	1,87			11,0	1,87			14,0	2,00			14,0	2,00								
13,0	2,34			13,0	2,22			12,0	1,85			12,0	1,85			15,0	1,85			15,0	1,85								
14,0	2,42			14,0	2,24			13,0	1,90			13,0	1,90			16,0	1,81			16,0	1,81								
15,0	2,54			15,0	2,20			14,0	1,93			14,0	1,93			17,0	1,76			17,0	1,76								
16,0	2,65			16,0	2,18			15,0	1,98			15,0	1,98			18,0	1,88			18,0	1,88								
17,0	2,81			17,0	2,23			16,0	1,95			16,0	1,95			19,0	1,95			19,0	1,95								
18,0	2,94			18,0	2,30			17,0	1,90			17,0	1,90			20,0	1,92			20,0	1,92								
19,0	3,11			19,0	2,38			18,0	1,86			18,0	1,86			21,0	1,96			21,0	1,96								
20,0	3,29			20,0	2,40			19,0	1,84			19,0	1,84			22,0	1,94			22,0	1,94								
21,0	3,50			21,0	2,42			20,0	1,86			20,0	1,86			23,0	1,94			23,0	1,94								
22,0	3,82			22,0	2,43			21,0	1,92			21,0	1,92			24,0	1,84			24,0	1,84								
23,0	4,08			23,0	2,51			22,0	1,93			22,0	1,93			25,0	1,71			25,0	1,71								
24,0	4,18			24,0	2,53			23,0	1,94			23,0	1,94			26,0	1,63			26,0	1,63								
25,0	4,31			25,0	2,52			24,0	2,07			24,0	2,07			27,0	1,44			27,0	1,44								
26,0	4,31			26,0	1,64			25,0	2,20			25,0	2,20			28,0	1,10			28,0	1,10								
26,5	4,22			27,0	0,22			26,0	2,35			26,0	2,35			29,0	0,00	BP		29,0	0,00	BP							
27,0	4,29			27,5	0,00	BP		27,0	2,40			27,0	2,40			30,0	-0,32	NPB		30,0	-0,32	NPB							
Uwagi: Pomiar dnia 26.07.2007, godz. 10:40, zarastanie do 9 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste BL – brzeg lewy BP – brzeg prawy NPB – najwyższy punkt brzegu						Uwagi: Pomiar dnia 26.07.2007, godz. 16:20, zarastanie do 7,5 m oraz od 26,5 m, do 7,5 m przekrój jest martwy, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 27.07.2007, godz. 11:15, zarastanie do 6,5 m oraz od 27 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Pomiar dnia 27.07.2007, godz. 14:50, zarastanie do 4,5 m oraz 27 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste											

Tabela 8.2 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej w dniach 26-28.07.2007 r.

Przekrój nr 8 BD_11_M						Przekrój nr 10 BD_14_M						Przekrój nr 12 BD_16_M						Przekrój nr 15 BD_19_M					
Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość h [m]	Uwagi			
29,0	1,30		2,7	-0,39	NPB	29,0	0,20		2,0	-0,40	NPB	29,0	2,14		2,0	-0,53	NPB	29,5	0,00	BP			
30,0	0,75		2,7	0,00	BL	30,0	0,22		2,25	-0,23		30,0	2,20		3,0	-0,30		30,0	-0,04				
31,0	0,40		3,0	0,40		30,5	0,00	BP	2,5	0,00	BL	31,0	2,16		4,0	-0,16		31,0	-0,13				
31,8	0,00	BP	4,0	1,16		31,0	-0,10		3,0	0,42		32,0	2,21		4,5	0,00	BL	32,0	-0,29				
32,0	-0,17		4,5	1,52		32,0	-0,22	NPB	4,0	0,98		33,0	2,30		5,0	0,22		33,0	-0,60	NPB			
33,0	-0,72	NPB	5,0	2,11					5,0	1,27		34,0	2,40		6,0	0,43							
			6,0	2,53					6,0	1,34		35,0	2,22		7,0	0,64							
			7,0	3,15					7,0	1,58		36,0	1,82		8,0	1,43							
			8,0	3,35					8,0	1,82		37,0	1,20		9,0	1,91							
			9,0	3,32					9,0	1,96		38,0	0,50		10,0	2,05							
			10,0	3,18					10,0	2,03		38,2	0,00	BP	11,0	2,17							
			11,0	3,03					11,0	2,01		38,5	-0,90		12,0	2,28							
			12,0	2,93					12,0	1,96		39,0	-1,03	NPB	13,0	2,32							
			13,0	2,83					13,0	1,98					14,0	2,32							
			14,0	2,75					14,0	2,01					15,0	2,35							
			15,0	2,63					15,0	2,03					16,0	2,26							
			16,0	2,50					16,0	2,02					17,0	2,18							
			17,0	2,32					17,0	2,03					18,0	2,15							
			18,0	2,17					18,0	2,10					19,0	2,14							
			19,0	2,12					19,0	2,15					20,0	2,18							
			20,0	2,02					20,0	2,15					21,0	2,22							
			21,0	1,93					21,0	2,09					22,0	2,15							
			22,0	2,10					22,0	2,04					23,0	2,17							
			23,0	2,12					23,0	2,07					24,0	2,22							
			24,0	1,85					24,0	2,03					25,0	2,16							
			25,0	1,45					25,0	2,03					26,0	2,01							
			26,0	0,82					26,0	2,03					27,0	1,75							
			27,0	0,24					27,0	2,05					28,0	0,82							
			28,0	0,24					28,0	2,05					29,0	0,26							
Uwagi: Pomiar dnia 27.07.2007, godz. 18:00, zarastanie do 6,5 m oraz od 26,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 28.07.2007, godz. 13:00, zarastanie do 3,5 m oraz od 27 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 28.07.2007, godz. 16:10, zarastanie do 7,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 28.07.2007, godz. 18:15, zarastanie do 8 m oraz od 27 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste					

Tabela 8.3 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych dopływów Biebrzy Dolnej w dniach 26-28.07.2007 r.

Kanał Rudzki			Klimaszewnica			Kosódka			Wissa		
Przekrój nr 1 KR_01			Przekrój nr 1 KLIMASZ_01			Przekrój nr 1 KOSODKA_01			Przekrój nr 1 WISSA_01		
Odcięcie pionu od "0" [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odcięcie pionu od "0" [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odcięcie pionu od "0" [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odcięcie pionu od "0" [m]	Głębokość h [m]	Uwagi
2,0	-0,69	NPB	2,0	-0,90	NPB	1,8	-0,40	NPB	2,0	-0,40	NPB
2,5	-0,59		4,0	-0,40		3,0	-0,20		2,7	0,00	BL
3,0	-0,29		4,4	0,00	BL	4,0	0,00	BL	3,0	1,53	
3,3	0,00	BL	4,5	0,04		4,5	0,32		4,0	1,73	
4,0	0,79		5,0	0,14		5,0	0,59		5,0	2,08	
5,0	1,48		5,5	0,28		5,5	0,77		6,0	2,23	
6,0	1,82		6,0	0,40		6,0	0,90		7,0	2,02	
7,0	1,85		6,5	0,38		6,5	1,02		8,0	1,65	
8,0	1,92		7,0	0,37		7,0	1,14		9,0	1,36	
9,0	1,96		7,5	0,30		7,5	1,17		10,0	0,56	
10,0	1,90		8,0	0,03		8,0	1,30		10,5	0,00	BP
11,0	1,88		8,1	0,00	BP	8,5	1,18		12,0	-0,55	NPB
12,0	1,83		8,5	-0,55		9,0	1,15				
13,0	1,36		9,5	-0,95	NPB	9,5	1,06				
14,0	1,30					10,0	0,95				
15,0	0,70					10,5	0,70				
15,6	0,00	BP				11,0	0,33				
16,0	-0,20					11,3	0,00	BP			
17,0	-0,40	NPB				12,0	-0,1				
						13,0	-0,25	NPB			
Uwagi: Pomiar dnia 26.07.2007, godz. 14:50, zarastanie do 6 m oraz od 13 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste			Uwagi: Pomiar dnia 27.07.2007, godz. 9:05, zarastanie do 5,5 m, dno muliste			Uwagi: Pomiar dnia 27.07.2007, godz. 16:55, zarastanie od 5 m, dno muliste			Uwagi: Pomiar dnia 28.07.2007, godz. 11:15, zarastanie do 3,5 m oraz od 8,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste		

Tabela 8.4 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Biebrzy Dolnej (BD_00_M) w dniu 26.07.2007 r., godz. 10:40

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]
P	1,04	0,044	P	1,91	0,093	P	2,24	0,228	P	2,42	0,262
0,8h	0,83	0,044	0,8h	1,52	0,082	0,8h	1,80	0,197	0,8h	1,94	0,303
0,6h	0,62	0,021	0,4h	0,76	0,017	0,4h	0,90	0,167	0,4h	0,97	0,253
0,4h	0,42	0,009	0,2h	0,38	0,038	0,2h	0,45	0,086	0,2h	0,48	0,194
0,2h	0,21	0,015	d	0,00	0,143	d	0,00	0,314	d	0,00	0,055
d	0,00	0,009									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0275	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0609	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1806	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2373
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,044	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,143	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,314	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,303
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]
P	2,65	0,310	P	2,94	0,291	P	3,29	0,339	P	3,82	0,307
0,8h	2,12	0,321	0,8h	2,36	0,322	0,8h	2,64	0,348	0,8h	3,06	0,340
0,4h	1,06	0,319	0,4h	1,18	0,358	0,4h	1,32	0,347	0,4h	1,53	0,154
0,2h	0,53	0,265	0,2h	0,59	0,348	0,2h	0,66	0,320	0,2h	0,76	0,148
d	0,00	0,146	d	0,00	0,133	d	0,00	0,099	d	0,00	0,192
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2906	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3160	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3163	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2277
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,321	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,358	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,348	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,340
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Pion hydrometryczny nr 11			Pion hydrometryczny nr 12		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]
P	4,18	0,334	P	4,31	0,295	P	3,83	0,301	P	2,94	0,268
0,8h	3,36	0,318	0,8h	3,44	0,344	0,8h	3,06	0,348	0,8h	2,35	0,269
0,4h	1,68	0,330	0,4h	1,72	0,303	0,4h	1,53	0,312	0,4h	1,18	0,324
0,2h	0,84	0,301	0,2h	0,86	0,225	0,2h	0,77	0,310	0,2h	0,59	0,254
d	0,00	0,114	d	0,00	0,003	d	0,00	0,082	d	0,00	0,010
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2994	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2716	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2983	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2565
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,334	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,344	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,348	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,324

Pion hydrometryczny nr 13			Pion hydrometryczny nr 14			Pion hydrometryczny nr 15			Prędkość średnia w przekroju v_{sr} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Prędkość maksymalna w przekroju v_{max} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			0,2434	0,358
32			33			34				
Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]				
P	1,82	0,140	P	1,27	0,071	P	0,49	0,031		
0,8h	1,46	0,266	0,8h	1,02	0,110	0,4h	0,29	0,042		
0,4h	0,72	0,219	0,4h	0,51	0,035	0,2h	0,09	0,014		
0,2h	0,36	0,181	0,2h	0,25	0,085					
d	0,00	0,114	d	0,00	0,022					
Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]				
0,2071			0,1337			0,0322				
Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]				
0,266			0,110			0,042				

Tabela 8.5 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 3 Biebrzy Dolnej (BD_05_M) w dniu 26.07.2007 r., godz. 16:20

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4			Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8					
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
8			9			12			15			18			21			24			26			26		
Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]		
P	1,53	0,185	P	1,73	0,328	P	2,15	0,510	P	2,20	0,655	P	2,30	0,626	P	2,42	0,489	P	1,64	0,071	P	1,64	0,071	P	1,64	0,071
0,8h	1,22	0,224	0,8h	1,36	0,202	0,8h	1,72	0,593	0,8h	1,76	0,699	0,8h	1,84	0,667	0,8h	1,94	0,629	0,8h	1,31	0,116	0,8h	1,31	0,116	0,8h	1,31	0,116
0,6h	0,92	0,204	0,4h	0,68	0,109	0,4h	0,68	0,109	0,4h	0,88	0,682	0,4h	0,92	0,627	0,4h	0,97	0,463	0,4h	0,66	0,147	0,4h	0,66	0,147	0,4h	0,66	0,147
0,4h	0,61	0,176	0,2h	0,34	0,145	0,2h	0,34	0,145	0,2h	0,44	0,537	0,2h	0,46	0,550	0,2h	0,48	0,455	0,2h	0,33	0,162	0,2h	0,33	0,162	0,2h	0,33	0,162
0,2h	0,31	0,146	d	0,00	0,156	d	0,00	0,031	d	0,00	0,091	d	0,00	0,025	d	0,00	0,173	d	0,00	0,027	d	0,00	0,027	d	0,00	0,027
d	0,00	0,035																								
Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość średnia ważona [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]		
0,1994			0,1707			0,5175			0,625			0,5963			0,5633			0,4848			0,3443			0,1353		
Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			Prędkość maksymalna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]		
0,224			0,328			0,625			0,625			0,699			0,699			0,699			0,699			0,699		

Prędkość średnia w przekroju v_{sr} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] 0,4176

Prędkość maksymalna w przekroju v_{max} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] 0,699

Tabela 8.6 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 5 Biebrzy Dolnej (BD_07_M) w dniu 27.07.2007 r., godz. 11:15

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
6			10			13			16		
Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	1,41	0,122	P	1,86	0,516	P	1,90	0,630	P	1,95	0,645
0,8h	1,12	0,142	0,8h	1,48	0,616	0,8h	1,52	0,699	0,8h	1,56	0,635
0,6h	0,84	0,129	0,4h	0,74	0,596	0,4h	0,76	0,634	0,4h	0,78	0,577
0,4h	0,56	0,056	0,2h	0,37	0,538	0,2h	0,38	0,506	0,2h	0,39	0,504
0,2h	0,28	0,036	d	0,00	0,043	d	0,00	0,369	d	0,00	0,058
d	0,00	0,015									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,1005			0,5271			0,6010			0,5347		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,142			0,616			0,699			0,645		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
19			22			25			28		
Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	1,84	0,600	P	1,93	0,627	P	2,20	0,485	P	1,85	0,244
0,8h	1,48	0,717	0,8h	1,54	0,678	0,8h	1,76	0,496	0,8h	1,48	0,281
0,4h	0,74	0,683	0,4h	0,77	0,621	0,4h	0,88	0,491	0,6h	1,11	0,155
0,2h	0,37	0,612	0,2h	0,39	0,575	0,2h	0,44	0,405	0,4h	0,74	0,181
d	0,00	0,131	d	0,00	0,225	d	0,00	0,091	0,2h	0,37	0,159
									d	0,00	0,126
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,6155			0,5899			0,4347			0,2203		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,717			0,678			0,496			0,281		
Prędkość średnia w przekroju v _{śr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
0,717			0,4595			0,496			0,717		

Tabela 8.7 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 7 Biebrzy Dolnej (BD_09_M) w dniu 27.07.2007 r., godz. 14:50

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
6			9			12			15		
Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]			Prędkość w [m·s ⁻¹]		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	2,68	0,170	P	2,73	0,496	P	2,33	0,415	P	1,85	0,468
0,8h	2,15	0,106	0,8h	2,18	0,542	0,8h	1,78	0,490	0,8h	1,48	0,377
0,6h	1,62	0,144	0,4h	1,09	0,513	0,4h	0,89	0,407	0,4h	0,74	0,375
0,4h	1,08	0,240	0,2h	0,55	0,455	0,2h	0,45	0,427	0,2h	0,37	0,413
0,2h	0,54	0,278	d	0,00	0,242	d	0,00	0,249	d	0,00	0,056
d	0,00	0,141									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,1953			0,4813			0,4209			0,3606		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,278			0,542			0,490			0,468		

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	18		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	21		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	24		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	27	
Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	
P	1,88	0,498	P	1,96	0,661	P	1,84	0,590	P	1,44	0,227
0,8h	1,51	0,568	0,8h	1,58	0,683	0,8h	1,48	0,638	0,8h	1,16	0,294
0,4h	0,76	0,529	0,4h	0,79	0,681	0,4h	0,74	0,603	0,4h	0,87	0,168
0,2h	0,38	0,440	0,2h	0,40	0,641	0,2h	0,37	0,611	0,4h	0,58	0,079
d	0,00	0,356	d	0,00	0,236	d	0,00	0,223	0,2h	0,29	0,077
									d	0,00	0,021
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5025		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,6271		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5758		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1778	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,568		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,683		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,638		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,294	
Prędkość średnia w przekroju v _{śr} [m·s ⁻¹]			0,4072			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			0,683		

Tabela 8.8 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 8 Biebrzy Dolnej (BD_11_M) w dniu 27.07.2007 r., godz. 18:00

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4			Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	6		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	8		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	11		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	14		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	17		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	20		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	23		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	26	
Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	
P	1,44	0,002	P	2,55	0,139	P	2,54	0,471	P	2,37	0,621	P	2,24	0,560	P	2,32	0,615	P	2,15	0,551	P	2,15	0,282
0,8h	1,16	0,027	0,8h	2,04	0,222	0,8h	2,03	0,476	0,8h	1,92	0,624	0,8h	1,80	0,639	0,8h	1,85	0,640	0,8h	1,72	0,610	0,8h	1,72	0,298
0,6h	0,87	0,009	0,4h	1,02	0,256	0,4h	1,01	0,469	0,4h	0,96	0,595	0,4h	0,90	0,595	0,4h	0,93	0,602	0,4h	0,86	0,580	0,4h	0,86	0,389
0,4h	0,58	0,019	0,2h	0,51	0,266	0,2h	0,50	0,417	0,2h	0,48	0,473	0,2h	0,45	0,482	0,2h	0,46	0,498	0,2h	0,43	0,540	0,2h	0,43	0,376
0,2h	0,29	0,018	d	0,00	0,022	d	0,00	0,775	d	0,00	0,158	d	0,00	0,131	d	0,00	0,265	d	0,00	0,221	d	0,00	0,026
d	0,00	0,003																					
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,0178		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,2127		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,4915		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5382		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5357		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5602		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5422		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,3121	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,027		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,266		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,775		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,624		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,627		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,640		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,610		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,389	
Prędkość średnia w przekroju v _{śr} [m·s ⁻¹]			0,4038			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			0,775			Prędkość średnia w przekroju v _{śr} [m·s ⁻¹]			0,4038			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			0,775		

Tabela 8.9 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 10 Biebrzy Dolnej (BD_14_M) w dniu 28.07.2007 r., godz. 13:00

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	2,53	Głębokość pionu h [m]	P	3,32	Głębokość pionu h [m]	P	2,93	Głębokość pionu h [m]	P	2,63
	0,8h	2,02		0,8h	2,66		0,8h	2,34		0,8h	2,10
	0,4h	1,01		0,4h	1,33		0,4h	1,18		0,4h	1,05
	0,2h	0,51		0,2h	0,66		0,2h	0,59		0,2h	0,53
	d	0,00		d	0,00		d	0,00		d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2344	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5159	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5342	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4488
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,255	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,613	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,624	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,533
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	2,17	Głębokość pionu h [m]	P	1,93	Głębokość pionu h [m]	P	1,85	Głębokość pionu h [m]	P	1,85
	0,8h	1,73		0,8h	1,55		0,8h	1,48		0,8h	1,48
	0,4h	0,88		0,4h	0,77		0,4h	0,74		0,4h	0,74
	0,2h	0,44		0,2h	0,39		0,2h	0,37		0,2h	0,37
	d	0,00		d	0,00		d	0,00		d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4266	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3920	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2319	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,370
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,489	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,448	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,370	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,370
Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		
0,3820			0,3820			0,3820			0,3820		
Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]		
0,624			0,624			0,624			0,624		

Tabela 8.10 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 12 Biebrzy Dolnej (BD_16_M) w dniu 28.07.2007 r., godz. 16:10

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkość v [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	1,96	Głębokość pionu h [m]	P	1,96	Głębokość pionu h [m]	P	2,03	Głębokość pionu h [m]	P	2,10
	0,8h	1,58		0,8h	1,58		0,8h	1,63		0,8h	1,68
	0,4h	0,80		0,4h	0,80		0,4h	0,82		0,4h	0,84
	0,2h	0,40		0,2h	0,40		0,2h	0,41		0,2h	0,42
	d	0,00		d	0,00		d	0,00		d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1768	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2369	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3471	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4760
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,259	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,336	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,547	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,589
Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		
0,259			0,259			0,259			0,259		
Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]		
0,589			0,589			0,589			0,589		

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 21			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 24			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 27			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 30		
Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]		
P	2,09	0,601	P	2,03	0,612	P	2,05	0,514	P	2,20	0,493
0,8h	1,68	0,580	0,8h	1,63	0,592	0,8h	1,64	0,516	0,8h	1,76	0,488
0,4h	0,84	0,521	0,4h	0,82	0,488	0,4h	0,82	0,531	0,4h	0,88	0,038
0,2h	0,42	0,425	0,2h	0,41	0,495	0,2h	0,41	0,482	0,2h	0,44	0,255
d	0,00	0,103	d	0,00	0,173	d	0,00	0,025	d	0,00	0,031
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4857			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5015			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4644			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,2612		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,601			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,612			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,531			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,493		
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 33			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 36			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 15			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 18		
Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]		
P	2,30	0,353	P	1,82	0,179	P	2,35	0,652	P	2,15	0,752
0,8h	1,84	0,331	0,8h	1,45	0,200	0,8h	1,88	0,702	0,8h	1,72	0,753
0,4h	0,92	0,262	0,4h	0,72	0,243	0,4h	0,94	0,695	0,4h	0,86	0,682
0,2h	0,46	0,066	0,2h	0,36	0,126	0,2h	0,47	0,692	0,2h	0,43	0,562
d	0,00	0,018	d	0,00	0,058	d	0,00	0,031	d	0,00	0,030
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,2282			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1818			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,6258			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,6211		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,353			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,243			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,702			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,753		
Prędkość w przekroju V _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość w przekroju V _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość w przekroju V _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość w przekroju V _{sr} [m·s ⁻¹]		
0,3102			0,3102			0,612			0,612		
Prędkość maksymalna V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna V _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna V _{max} [m·s ⁻¹]		
0,612			0,612			0,612			0,612		
Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 9			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 12			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 15			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 18		
Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]			Głębokość pionu h [m] Prędkość v [m·s ⁻¹]		
P	1,91	0,302	P	2,28	0,518	P	2,35	0,652	P	2,15	0,752
0,8h	1,52	0,382	0,8h	1,83	0,552	0,8h	1,88	0,702	0,8h	1,72	0,753
0,4h	0,76	0,325	0,4h	0,92	0,528	0,4h	0,94	0,695	0,4h	0,86	0,682
0,2h	0,38	0,251	0,2h	0,46	0,510	0,2h	0,47	0,692	0,2h	0,43	0,562
d	0,00	0,207	d	0,00	0,301	d	0,00	0,031	d	0,00	0,030
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,3132			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5079			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,6258			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,6211		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,382			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,552			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,702			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,753		

Tabela 8.11 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 15 Biebrzy Dolnej (BD_19_M) w dniu 28.07.2007 r., godz. 18:15

Pion hydrometryczny nr 5		Pion hydrometryczny nr 6		Pion hydrometryczny nr 7		Prędkość średnia w przekroju V_{sr} [$m \cdot s^{-1}$]	Prędkość maksymalna V_{max} [$m \cdot s^{-1}$]
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]		
Głębokość pionu h [m]		Głębokość pionu h [m]		Głębokość pionu h [m]		0,4708	0,753
P	2,22	P	2,22	P	1,75		
0,8h	1,77	0,8h	1,77	0,8h	1,40		
0,4h	0,88	0,4h	0,88	0,4h	1,05		
0,2h	0,44	0,2h	0,44	0,2h	0,70		
d	0,00	d	0,00	d	0,35		
					0,00		
					0,076		
Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,6033	Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,4400	Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,2515		
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,683	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,506	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,312		

Tabela 8.12 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Kanatu Rudzkiego (KR_01) w dniu 26.07.2007 r., godz. 14:50

Pion hydrometryczny nr 1		Pion hydrometryczny nr 2		Pion hydrometryczny nr 3		Pion hydrometryczny nr 4	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]
Głębokość pionu h [m]		Głębokość pionu h [m]		Głębokość pionu h [m]		Głębokość pionu h [m]	
P	1,48	P	1,82	P	1,92	P	1,90
0,8h	1,18	0,8h	1,45	0,8h	1,53	0,8h	1,52
0,6h	0,89	0,6h	1,09	0,4h	0,76	0,4h	0,76
0,4h	0,60	0,4h	0,73	0,2h	0,38	0,2h	0,38
0,2h	0,30	0,2h	0,36	d	0,00	d	0,00
d	0,00	d	0,00				
Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,0574	Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,1908	Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,3231	Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,3503
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,365	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,247	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,363	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,414
Pion hydrometryczny nr 5		Pion hydrometryczny nr 6		Pion hydrometryczny nr 7		Prędkość średnia w przekroju V_{sr} [$m \cdot s^{-1}$]	Prędkość maksymalna V_{max} [$m \cdot s^{-1}$]
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [$m \cdot s^{-1}$]		
Głębokość pionu h [m]		Głębokość pionu h [m]		Głębokość pionu h [m]		0,2253	0,414
P	1,83	P	1,36	P	1,30		
0,8h	1,47	0,8h	1,08	0,8h	1,04		
0,4h	0,74	0,6h	0,81	0,6h	0,78		
0,2h	0,37	0,4h	0,54	0,4h	0,52		
d	0,00	0,2h	0,27	0,2h	0,26		
		d	0,00	d	0,00		
					0,022		
Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,2866	Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,1045	Prędkość średnia ważona [$m \cdot s^{-1}$]	0,0773		
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,354	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,158	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,114		

Tabela 8.13 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Klimaszewnicy (KLIMASZ_01) w dniu 27.07.2007 r., godz. 9:10

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		5,5	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		6,0	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		6,5	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		7,0
Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	
0,85h	0,23	0,075	0,8h	0,34	0,085	0,8h	0,32	0,109	0,8h	0,31	0,164
0,5h	0,14	0,063	0,4h	0,20	0,083	0,4h	0,19	0,110	0,4h	0,18	0,188
0,15h	0,05	0,037	0,2h	0,06	0,068	0,2h	0,06	0,120	0,2h	0,06	0,172
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,0583		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,0797		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1122		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1780	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,075		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,085		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,120		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,188	
Pion hydrometryczny nr 5			Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna v _{max} [m·s ⁻¹]					
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		7,5	0,0941			0,188					
Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]										
0,8h	0,25	0,153									
0,4h	0,15	0,114									
0,2h	0,05	0,030									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1027										
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,153										

Tabela 8.14 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Wiszy (WISSA_01) w dniu 28.07.2007 r., godz. 11:15

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		4	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		5	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		6	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		7
Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	
P	1,73	0,166	P	2,08	0,133	P	2,23	0,149	P	2,02	0,128
0,8h	1,39	0,188	0,8h	1,67	0,197	0,8h	1,78	0,170	0,8h	1,62	0,152
0,4h	0,70	0,065	0,4h	0,84	0,204	0,4h	0,89	0,170	0,4h	0,81	0,166
0,2h	0,35	0,044	0,2h	0,42	0,184	0,2h	0,45	0,158	0,2h	0,40	0,135
d	0,00	0,065	d	0,00	0,018	d	0,00	0,065	d	0,00	0,193
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1078		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1722		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1550		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1545	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,188		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,204		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,170		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,193	

Pion hydrometryczny nr 5		Pion hydrometryczny nr 6	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]
P	0,115	1,36	0,012
0,8h	0,125	1,08	0,007
0,4h	0,120	0,81	0,022
0,2h	0,109	0,54	0,030
d	0,008	0,27	0,032
		0,00	0,002
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	
0,1076		0,0203	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	
0,125		0,032	
Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna v _{max} [m·s ⁻¹]	
0,1118		0,204	

Tabela 8.15 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Kosódki (KOSODKA_01) w dniu 27.07.2007 r., godz. 16:55

Pion hydrometryczny nr 1		Pion hydrometryczny nr 2		Pion hydrometryczny nr 3		Pion hydrometryczny nr 4	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]
0,85h	0,067	1,02	0,084	1,30	0,155	P	1,06
0,5h	0,053	0,81	0,086	1,04	0,148	0,8h	0,85
0,15h	0,015	0,60	0,082	0,78	0,155	0,6h	0,65
		0,40	0,077	0,52	0,141	0,4h	0,43
		0,20	0,042	0,26	0,154	0,2h	0,22
		0,00	0,012	0,00	0,088	d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	
0,0450		0,0756		0,1587		0,0758	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	
0,067		0,086		0,155		0,117	
Pion hydrometryczny nr 5		Pion hydrometryczny nr 11					
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkość v [m·s ⁻¹]				
0,85h	0,061	0,28	0,061				
0,5h	0,021	0,16	0,021				
0,15h	0,023	0,05	0,023				
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]					
0,0350		0,0350					
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]					
0,061		0,061					
Prędkość średnia w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna v _{max} [m·s ⁻¹]					
0,0889		0,155					

Tabela 8.16 Wyniki pomiarów wysokości zwierciadła wody n.p.m. w Basenie Dolnym Biebrzy w dniach 26-28.07.2007 r.

Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne WGS84		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne WGS84		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]
		Długość	Szerokość				Długość	Szerokość	
26 lipca, pomiary od godz. 10:00 do godz. 18:30									
ZW_OSOWIEC MOST 1	52 595	22,63826641	53,48264996	106,780	109	48 338	22,59742902	53,46168156	106,375
ZW_OSOWIEC MOST 2		22,63826575	53,48264965	106,780	110		22,59742918	53,46168198	106,367
102		22,63826711	53,48265024	106,776	111		22,59742937	53,46168196	106,373
103	52 525	22,63816014	53,48242905	106,775	112	22,57867758	53,45663735	106,158	
BD 00 M 1	51 451	22,62736083	53,47814761	106,694	113	46 505	22,57867763	53,4566375	106,157
BD 00 M 2		22,62737079	53,47815164	106,717	114		22,57867767	53,4566637	106,157
KR 01 1	51 111	22,62399117	53,47822218	106,710	115	44 637	22,56863042	53,44755405	105,830
KR 01 2		22,62399124	53,47822216	106,712	116		22,56863051	53,44755394	105,830
KR 01 3		22,62399127	53,47822209	106,707	117		22,56863055	53,44755419	105,830
107	50 034	22,61492298	53,46919167	106,525	BD 05 M 1	43 239	22,56816145	53,44056018	105,608
108		22,61492314	53,46919152	106,523	BD 05 M 2		22,56816089	53,44056028	105,607
					BD 05 M 3		22,56816069	53,44056027	105,605
27 lipca, pomiary od godz. 9:00 do godz. 19:30									
KLIMASZ_01	40 696	22,55076065	53,43825466	106,257	120	48 743	22,60310769	53,46217319	106,424
ZW_OSOWIEC MOST 1		22,55076057	53,43825464	106,261	121		22,60310957	53,46217289	106,422
ZW_OSOWIEC MOST 2	52 595	22,63827730	53,48260414	106,799	122	46 523	22,57892876	53,45673391	106,154
ZW_OSOWIEC MOST 3		22,63827841	53,48260408	106,804	123		22,57892916	53,45673477	106,156
BD 00 M 27072007-1	51 451	22,63827882	53,48260385	106,818	124	44 858	22,57041711	53,44914183	105,872
BD 00 M 27072007-2		22,62734786	53,47814199	106,704	125		22,57041702	53,44914202	105,873
KR 01 27072007-1	51 111	22,62734776	53,47814211	106,702	BD 05 M 27072007-1	43 239	22,56816452	53,44054762	105,609
KR 01 27072007-2		22,62414542	53,47816631	106,700	BD 05 M 27072007-2		22,56816448	53,44054762	105,608
118	50 084	22,61525077	53,46963183	106,555					
119		22,61525086	53,46963205	106,565					

Tabela 8.17 Wyniki pomiarów wysokości zwierciadła wody n.p.m. w Basenie Dolnym Biebrzy w dniach 26-28.07.2007 r.

Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne WGS84		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne WGS84		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	
		Długość	Szerokość				Długość	Szerokość		
27 lipca, pomiary od godz. 9:00 do godz. 19:30										
126		22,53608033	53,42863811	104,937	BD_09_M_1		22,52341630	53,38704872	103,999	
127	39 091	22,53608032	53,42863809	104,933	BD_09_M_2	30 598	22,52341630	53,38704873	103,998	
BD_07_M_1		22,54434267	53,41786675	104,548	BD_09_M_3		22,52341606	53,38704874	103,999	
BD_07_M_2	36 013	22,54434286	53,41786687	104,551	130		22,50297048	53,36320739	102,943	
128		22,53529400	53,40922253	104,297	131	25 013	22,50296539	53,36320535	102,929	
129	34 456	22,53529425	53,40922258	104,294	132		22,50296477	53,36320526	102,929	
130_UJSCIE_R_OKRA_1		22,53170224	53,39478142	104,166	KOSODKA_UJSCIE_1		22,50473145	53,36084419	102,896	
130_UJSCIE_R_OKRA_2	32 021	22,53170272	53,39478109	104,166	KOSODKA_UJSCIE_2	24 668	22,50473185	53,36084416	102,895	
					BD_11_M_1		22,49643644	53,35747503	102,631	
					BD_11_M_2	23 057	22,49643650	53,35747499	102,633	
28 lipca, pomiary od godz. 11:00 do godz. 20:00										
WISSA_01_1		22,49703213	53,35956029	102,7835	BD_16_M_1		22,46889016	53,28538269	101,266	
WISSA_01_2	23 242	22,49703212	53,35956031	102,7791	BD_16_M_2	10 680	22,46889004	53,28538269	101,270	
BD_14_M_1		22,46976567	53,32608403	101,868	BD_16_M_3		22,46889002	53,28538266	101,269	
BD_14_M_2	16 050	22,46976559	53,32608415	101,863	WODOWS_BURZYN_1		22,45913137	53,27402299	101,078	
104	15 530	22,46825265	53,32314044	101,796	WODOWS_BURZYN_2	8 214	22,45913130	53,27402305	101,079	
105		22,46825265	53,32314021	101,798	102		22,45254145	53,25132395	100,633	
100	11 830	22,46932285	53,29386658	101,359	103	4 784	22,45254130	53,25132371	100,632	
101		22,46932600	53,29386800	101,360	BD_19_M_1		22,44411798	53,24381835	100,492	
					BD_19_M_2	3 233	22,44411806	53,24381827	100,486	

Załącznik nr 2

Wyniki pomiarów terenowych w kampanii
pomiarowej 21-25 września 2007 r.

Tabela 8.18 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej w dniach 21-24.09.2007 r.

Przekrój nr 1 BD_00_M			Przekrój nr 2 BD_03_M				Przekrój nr 3 BD_05_M			Przekrój nr 4 BD_06_M			Przekrój nr 5 BD_07_M			Przekrój nr 6 BD_08_M							
Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Uwagi			
0,0	-0,30		-1,2	-0,80	NPB	31,7	0,60		-0,50	-0,20		2,0	-0,20	NPB	1,5	-0,40	NPB	2,00	-0,15	NPB	32,0	2,13	
4,0	0,00	BL	2,8	0,00	BL	31,8	0,00	BP	3,5	0,00	BL	2,3	0,00	BL	2,5	0,00	BL	2,40	0,00	BL	33,0	2,05	
6,0	0,73		3,0	0,10		32,0	-0,80	NPB	5,0	0,45		3,0	1,12		3,0	0,15		3,0	0,76		34,0	1,61	
7,0	1,02		4,0	1,05					6,0	1,23		4,0	1,70		4,0	1,19		4,0	1,52		34,7	0,00	BP
8,0	1,65		5,0	1,69					7,0	1,73		5,0	2,21		5,0	1,50		5,0	2,28		36,0	-0,40	NPB
9,0	1,90		6,0	1,75					8,0	1,93		6,0	2,72		6,0	1,70		6,0	2,35				
10,0	2,10		7,0	1,74					9,0	1,97		7,0	2,73		7,0	1,78		7,0	2,33				
11,0	2,20		8,0	1,71					10,0	2,02		8,0	2,68		8,0	1,87		8,0	2,33				
12,0	2,30		9,0	1,69					11,0	2,05		9,0	2,72		9,0	1,91		9,0	2,34				
13,0	2,39		10,0	1,68					12,0	2,05		10,0	2,50		10,0	1,96		10,0	2,27				
14,0	2,52		11,0	1,77					13,0	2,06		11,0	2,43		11,0	1,95		11,0	2,23				
15,0	2,68		12,0	1,75					14,0	2,12		12,0	2,34		12,0	1,88		12,0	2,18				
16,0	2,82		13,0	1,77					15,0	2,09		13,0	2,24		13,0	1,90		13,0	2,13				
17,0	2,91		14,0	1,78					16,0	2,12		14,0	2,10		14,0	1,89		14,0	2,05				
18,0	3,09		15,0	1,81					17,0	2,12		15,0	2,00		15,0	1,87		15,0	2,02				
19,0	3,30		16,0	1,81					18,0	2,16		16,0	1,94		16,0	1,93		16,0	2,00				
20,0	3,54		17,0	1,80					19,0	2,21		17,0	1,98		17,0	1,95		17,0	1,99				
21,0	3,78		18,0	1,80					20,0	2,19		18,0	2,09		18,0	1,90		18,0	1,99				
22,0	4,15		19,0	1,79					21,0	2,19		19,0	2,07		19,0	1,94		19,0	1,94				
23,0	4,23		20,0	1,72					22,0	2,25		20,0	2,07		20,0	1,90		20,0	1,89				
24,0	4,36		21,0	1,68					23,0	2,26		21,0	1,91		21,0	1,96		21,0	1,87				
25,0	4,28		22,0	1,65					24,0	1,98		22,0	1,79		22,0	2,06		22,0	1,84				
26,0	4,26		23,0	1,66					25,0	1,88		23,0	1,30		23,0	2,12		23,0	1,83				
27,0	3,86		24,0	1,65					26,0	1,65		24,0	0,88		24,0	2,14		24,0	1,83				
28,0	3,11		25,0	1,66					27,0	0,82		25,0	0,23		25,0	2,28		25,0	1,83				
29,0	2,88		26,0	1,70					28,0	0,00	BP	25,8	0,00	BP	26,0	1,91		26,0	1,84				
30,0	1,97		27,0	1,71					33,0	-0,40	NPB	29,0	-0,40	NPB	26,5	1,45		27,0	1,82				
31,0	1,43		28,0	1,80											27,0	1,25		28,0	1,91				
32,0	0,52		29,0	2,00											28,0	0,00	BP	29,0	1,91				
32,5	0,00	BP	30,0	1,68											29,0	-0,35	NPB	30,0	1,91				
36,0	-0,50		31,0	0,90														31,0	2,00				

Uwagi:
 Pomiar dnia 21.09.2007, godz. 14:25, dno piaszczyste
 BL – brzeg lewy
 BP – brzeg prawy
 NPB – najwyższy punkt brzegu

Uwagi:
 Pomiar dnia 22.09.2007, godz. 13:10, zarastanie do 3,5 m oraz od 33 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste

Uwagi:
 Pomiar dnia 22.09.2007, godz. 11:30, zarastanie do 5 m oraz od 25 m dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste

Uwagi:
 Pomiar dnia 22.09.2007, godz. 10:15, zarastanie do 4 m oraz od 23 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste

Uwagi:
 do 6 m przekrój jest martwy

Tabela 8.19 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej w dniach 21-24.09.2007 r.

Przekrój nr 7 BD_09_M			Przekrój nr 8 BD_11_M			Przekrój nr 9 BD_13_M			Przekrój nr 10 BD_14_M					Przekrój nr 11 BD_15_M									
Odczyt pionu od "0"	Głębokość przekroju [m]	Wagi	Odczyt pionu od "0"	Głębokość przekroju [m]	Wagi	Odczyt pionu od "0"	Głębokość przekroju [m]	Wagi	Odczyt pionu od "0"	Głębokość przekroju [m]	Wagi	Odczyt pionu od "0"	Głębokość przekroju [m]	Wagi	Odczyt pionu od "0"	Głębokość przekroju [m]	Wagi	Odczyt pionu od "0"	Głębokość przekroju [m]	Wagi			
2,0	-0,20	NPB	0,5	-0,60	NPB	3,0	-0,40	NPB	2,0	-0,60	NPB	31,0	0,00	BP	2,0	-0,65	NPB	31,0	1,28				
3,2	0,00	BL	3,5	0,00	BL	3,5	0,00	BL	2,75	-0,45		32,0	-0,25	NPB	3,0	-0,60		32,0	1,13				
3,5	1,60		4,0	0,60		4,0	0,27		2,95	0,00	BL				3,35	0,00	BL	33,0	1,10				
4,0	1,83		5,0	1,10		5,0	1,24		3,0	0,38					3,4	0,45		34,0	1,16				
5,0	2,48		6,0	1,70		6,0	1,65		4,0	0,88					4,0	1,09		35,0	1,26				
6,0	2,65		7,0	2,30		7,0	1,69		5,0	2,11					5,0	1,55		36,0	1,18				
7,0	2,56		8,0	2,56		8,0	2,00		6,0	2,57					6,0	1,69		37,0	1,18				
8,0	2,47		9,0	2,60		9,0	2,25		7,0	3,00					7,0	1,78		38,0	1,10				
9,0	2,33		10,0	2,52		10,0	2,21		8,0	3,10					8,0	1,79		39,0	0,60	BP			
10,0	2,23		11,0	2,45		11,0	2,10		9,0	3,04					9,0	1,72		40,0	0,00	BP			
11,0	2,14		12,0	2,44		12,0	2,06		10,0	2,93					10,0	1,62		42,0	-1,00	NPB			
12,0	1,98		13,0	2,35		13,0	2,05		11,0	2,80					11,0	1,53							
13,0	1,84		14,0	2,27		14,0	2,03		12,0	2,75					12,0	1,56							
14,0	1,78		15,0	2,13		15,0	2,10		13,0	2,90					13,0	1,52							
15,0	1,82		16,0	2,26		16,0	2,17		14,0	2,82					14,0	1,53							
16,0	1,97		17,0	2,24		17,0	2,18		15,0	2,69					15,0	1,49							
17,0	2,10		18,0	2,15		18,0	2,15		16,0	2,48					16,0	1,55							
18,0	2,13		19,0	2,12		19,0	2,13		17,0	2,35					17,0	1,69							
19,0	2,01		20,0	2,03		20,0	2,10		18,0	2,31					18,0	1,75							
20,0	2,00		21,0	1,98		21,0	2,10		19,0	2,39					19,0	1,77							
21,0	1,94		22,0	1,96		22,0	2,13		20,0	2,31					20,0	1,73							
22,0	2,00		23,0	1,95		23,0	2,18		21,0	2,15					21,0	1,64							
23,0	2,01		24,0	2,07		24,0	2,22		22,0	1,98					22,0	1,55							
24,0	1,92		25,0	2,07		25,0	2,28		23,0	1,96					23,0	1,53							
25,0	1,82		26,0	2,20		26,0	2,13		24,0	1,90					24,0	1,55							
26,0	1,57		27,0	1,68		27,0	1,64		25,0	1,58					25,0	1,54							
27,0	1,05		28,0	1,45		28,0	1,10		26,0	1,03					26,0	1,60							
28,0	0,75		29,0	1,27		29,0	0,58		27,0	0,25					27,0	1,59							
28,8	0,00	BP	30,0	0,86		29,5	0,00	BP	28,0	0,34					28,0	1,53							
29,0	-0,20		31,0	0,30		30,0	-0,40	NPB	29,0	0,14					29,0	1,44							
30,0	-0,40		31,8	0,00	BP	31,0	-0,55	NPB	30,0	0,14					30,0	1,29							
									<p>Uwagi: Pomiar dnia 22.09.2007, godz. 15:00, zarastanie do 4 m oraz od 26 m dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste</p>					<p>Uwagi: Pomiar dnia 23.09.2007, godz. 13:25, zarastanie do 8 m oraz od 26,5 m dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste</p>					<p>Uwagi: Pomiar dnia 23.09.2007, godz. 14:50, zarastanie do 4 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste</p>				
									<p>Uwagi: Pomiar dnia 22.09.2007, godz. 16:35, zarastanie do 6 m oraz od 26,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste</p>					<p>Uwagi: Pomiar dnia 24.09.2007, godz. 10:15, zarastanie do 4,5 m oraz od 29,5 m zarastania dno muliste</p>									

Tabela 8.20 Wyniki sondowania głębokości koryta rzeczynego w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej w dniach 21-24.09.2007 r.

Przekrój nr 12 BD_16_M						Przekrój nr 13 BD_17_M						Przekrój nr 14 BD_18_M						Przekrój nr 15 BD_19_M					
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi			
2,5	-0,40	NPB	32,0	2,20		2,0	-0,70	NPB	34,0	0,38		2,0	-0,50	NPB	33,0	0,36		1,5	-0,50	NPB	33,0	-0,65	NPB
2,9	0,00	BL	33,0	2,25		4,3	0,00	BL	35,0	0,05		3,2	0,00	BL	34,0	0,36		2,5	0,00	BL			
3,0	0,34		34,0	2,30		5,0	0,10		35,3	0,00	BP	4,0	0,50		35,0	0,38		3,0	0,05				
4,0	1,01		35,0	2,18		6,0	1,00		38,0	-0,55		5,0	1,23		36,0	0,32		4,0	0,26				
5,0	1,29		36,0	1,75		7,0	1,59		40,0	-0,60	NPB	6,0	1,85		37,0	0,24		5,0	0,50				
6,0	1,37		37,0	1,10		8,0	1,95					7,0	2,25		38,0	0,00	BP	5,5	0,70				
7,0	1,58		37,2	95/0	BP	9,0	1,90					8,0	2,40		40,0	-0,10	NPB	6,0	1,52				
8,0	1,80		37,3	-0,80		10,0	1,91					9,0	2,15					7,0	1,76				
9,0	1,90		38,0	-0,95	NPB	11,0	1,91					10,0	2,10					8,0	1,92				
10,0	2,00					12,0	2,00					11,0	1,71					9,0	1,97				
11,0	1,94					13,0	2,09					12,0	1,76					10,0	2,17				
12,0	1,95					14,0	2,20					13,0	1,60					11,0	2,18				
13,0	2,00					15,0	2,33					14,0	1,40					12,0	2,18				
14,0	1,99					16,0	2,38					15,0	1,64					13,0	2,18				
15,0	1,95					17,0	2,44					16,0	1,62					14,0	2,17				
16,0	1,94					18,0	2,38					17,0	1,69					15,0	2,19				
17,0	1,95					19,0	2,37					18,0	1,86					16,0	2,18				
18,0	2,02					20,0	2,25					19,0	1,88					17,0	2,18				
19,0	2,04					21,0	2,18					20,0	1,85					18,0	2,15				
20,0	2,10					22,0	2,15					21,0	1,80					19,0	2,16				
21,0	2,13					23,0	2,10					22,0	1,73					20,0	2,13				
22,0	2,18					24,0	1,96					23,0	1,67					21,0	2,06				
23,0	2,14					25,0	1,81					24,0	1,28					22,0	2,07				
24,0	2,10					26,0	1,75					25,0	1,23					23,0	2,02				
25,0	2,02					27,0	1,63					26,0	1,18					24,0	1,93				
26,0	2,01					28,0	1,33					27,0	1,04					25,0	1,70				
27,0	2,00					29,0	1,08					28,0	1,07					26,0	1,18				
28,0	2,03					30,0	1,08					29,0	0,92					27,0	0,31				
29,0	2,05					31,0	1,15					30,0	0,71					27,15	0,00	BP			
30,0	2,08					32,0	1,13					31,0	0,63					28,0	-0,20				
31,0	2,10					33,0	1,06					32,0	0,46					30,0	-0,35				
						Uwagi: Pomiar dnia 24.09.2007, godz. 11:40, zarastanie do 7,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 24.09.2007, godz. 13:20, zarastanie do 6 m oraz od 24 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 24.09.2007, godz. 15:10, zarastanie do 6 m oraz od 25,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste					

Tabela 8.21 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych dopływów Biebrzy Dolnej w dniach 21-24.09.2007 r.

Kanał Rudzki			Klimaszewnica			Kosódka			Wissa		
Przekrój nr 1 KR_01			Przekrój nr 1 KLIMASZ_01			Przekrój nr 1 KOSODKA_01			Przekrój nr 1 WISSA_01		
Odległość pionu od "0" [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od "0" [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od "0" [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od "0" [m]	Głębokość h [m]	Uwagi
1,5	-0,70	NPB	2,0	-0,75	NPB	1,5	-0,40	NPB	1,9	-0,40	NPB
2,5	-0,40		3,0	-0,49		2,8	0,00	BL	3,0	0,00	BL
2,9	0,00	BL	4,0	-0,23		3,0	0,20		3,5	0,78	
3,0	0,10		4,4	0,00	BL	3,5	0,35		4,0	1,05	
4,0	0,98		4,5	0,24		4,0	0,42		4,5	1,25	
5,0	1,95		5,0	0,38		4,5	0,78		5,0	1,73	
6,0	1,92		5,5	0,54		5,0	0,91		5,5	2,05	
7,0	1,87		6,0	0,60		5,5	1,01		6,0	2,20	
8,0	1,78		6,5	0,60		6,0	1,15		6,5	2,25	
9,0	1,74		7,0	0,52		6,5	1,15		7,0	2,15	
10,0	1,60		7,5	0,53		7,0	1,20		7,5	2,05	
11,0	1,66		8,0	0,32		7,5	1,09		8,0	1,85	
12,0	1,60		8,5	0,00	BP	8,0	1,01		8,5	1,78	
13,0	1,38		9,0	-0,50		8,5	0,95		9,0	1,71	
14,0	0,65		9,5	-0,80	NPB	9,0	0,77		9,5	1,44	
14,7	0,00	BP				9,5	0,64		10,0	1,11	
15,5	-0,35					10,0	0,14		10,5	0,35	
16,0	-0,40	NPB				10,3	0,00	BP	11,0	0,00	BP
						10,5	-0,05		12,0	-0,40	NPB
						13,0	-0,25	NPB			
Uwagi: Pomiar dnia 21.09.2007, godz. 13:10, zarastanie do 5 m oraz od 12 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste			Uwagi: Pomiar dnia 23.09.2007, godz. 9:05, zarastanie do 5,5 m, dno muliste			Uwagi: Pomiar dnia 23.09.2007, godz. 11:15, zarastanie od 4,5 m, dno muliste			Uwagi: Pomiar dnia 23.09.2007, godz. 12:15, zarastanie do 4,5 m oraz od 9 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste		

Tabela 8.22 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Biebrzy Dolnej (BD_00_M) w dniu 21.09.2007 r., godz. 11:00

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 7			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 9			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 13			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 17		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	1,02	0,038	P	1,90	0,090	P	2,39	0,227	P	2,91	0,201
0,8h	0,81	0,040	0,8h	1,52	0,110	0,8h	1,92	0,225	0,8h	2,32	0,211
0,6h	0,60	0,032	0,4h	0,76	0,100	0,4h	0,96	0,226	0,4h	1,16	0,245
0,4h	0,40	0,026	0,2h	0,38	0,062	0,2h	0,48	0,244	0,2h	0,58	0,219
0,2h	0,20	0,021	d	0,00	0,103	d	0,00	0,137	d	0,00	0,125
d	0,00	0,013									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,0329			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,0947			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,2205			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,2134		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,040			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,110			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,244			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,245		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 21			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 24			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 27			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 29		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	3,78	0,077	P	4,36	0,201	P	3,86	0,404	P	2,88	0,116
0,8h	3,04	0,168	0,8h	3,48	0,235	0,8h	3,10	0,214	0,8h	2,32	0,190
0,4h	1,52	0,236	0,4h	1,74	0,218	0,4h	1,55	0,175	0,4h	1,16	0,218
0,2h	0,76	0,199	0,2h	0,87	0,213	0,2h	0,77	0,171	0,2h	0,58	0,177
d	0,00	0,055	d	0,00	0,125	d	0,00	0,057	d	0,00	0,029
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1742			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,2111			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1970			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1723		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,236			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,235			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,404			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,218		
Pion hydrometryczny nr 9			Prędkość średnia ważona w przekroju V _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]					
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 31			0,1779			0,404					
Głębokość pionu h [m]											
P	1,43	0,078									
0,8h	1,14	0,068									
0,4h	0,58	0,089									
0,2h	0,29	0,084									
d	0,00	0,038									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,0755											
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,089											

Tabela 8.23 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 2 Biebrzy Dolnej (BD_03_M) w dniu 21.09.2007 r., godz. 14:25

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
P	1,69	0,100	P	1,74	0,389	P	1,68	0,528	P	1,77	0,643
0,8h	1,36	0,271	0,8h	1,40	0,413	0,8h	1,36	0,600	0,8h	1,41	0,675
0,4h	0,68	0,198	0,4h	0,70	0,500	0,4h	0,68	0,591	0,4h	0,70	0,603
0,2h	0,34	0,220	0,2h	0,35	0,384	0,2h	0,34	0,511	0,2h	0,35	0,473
d	0,00	0,009	d	0,00	0,251	d	0,00	0,386	d	0,00	0,363
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1956	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4147	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5509	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5786
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,271	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,500	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,600	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,675
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
P	1,81	0,649	P	1,72	0,638	P	1,66	0,613	P	1,70	0,367
0,8h	1,44	0,675	0,8h	1,38	0,723	0,8h	1,34	0,663	0,8h	1,36	0,316
0,4h	0,72	0,656	0,4h	0,69	0,616	0,4h	0,67	0,578	0,4h	0,68	0,486
0,2h	0,36	0,413	0,2h	0,34	0,470	0,2h	0,34	0,583	0,2h	0,34	0,370
d	0,00	0,365	d	0,00	0,290	d	0,00	0,186	d	0,00	0,184
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5833	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5885	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5688	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3697
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,675	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,723	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,663	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,486
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	0,4357		0,723			
P	2,00	0,157	P	1,68	0,017						
0,8h	1,60	0,109	0,8h	1,36	0,060						
0,4h	0,80	0,112	0,4h	0,68	0,041						
0,2h	0,40	0,025	0,2h	0,34	0,060						
d	0,00	0,008	d	0,00	0,013						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0878	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0453						
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,157	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,060						

Tabela 8.24 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 3 Biebrzy Dolnej (BD_05_M) w dniu 21.09.2007 r., godz. 16:05

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	1,93	2,02	0,471	2,06	0,608	P	2,12	0,673	2,12	0,673
	0,8h	1,52	1,60	0,525	1,65	0,645	0,8h	1,70	0,621	1,70	0,621
	0,4h	0,76	0,80	0,630	0,82	0,604	0,4h	0,85	0,571	0,85	0,571
	0,2h	0,39	0,40	0,529	0,41	0,485	0,2h	0,42	0,550	0,42	0,550
	d	0,00	0,00	0,340	0,00	0,351	d	0,00	0,308	0,00	0,308
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3151	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5334	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5676	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5657
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,452	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,630	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,645	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,673
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	2,21	2,25	0,453	1,98	0,241	P	1,88	0,095	1,88	0,095
	0,8h	1,77	1,80	0,461	1,60	0,231	0,8h	1,51	0,182	1,51	0,182
	0,4h	0,88	0,90	0,485	0,80	0,318	0,4h	0,76	0,240	0,76	0,240
	0,2h	0,44	0,45	0,329	0,40	0,193	0,2h	0,38	0,106	0,38	0,106
	d	0,00	0,00	0,308	0,00	0,039	d	0,00	0,016	0,00	0,016
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5845	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4257	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2313	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1589
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,673	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,485	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,318	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,240
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
			0,4187						0,673		

Tabela 8.25 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 4 Biebrzy Dolnej (BD_06_M) w dniu 22.09.2007 r., godz. 10:15

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgiłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	2,21	2,73	0,239	2,72	0,578	P	2,34	0,635	2,34	0,635
	0,8h	1,76	2,19	0,476	2,18	0,568	0,8h	1,88	0,635	1,88	0,635
	0,4h	0,88	1,10	0,518	1,09	0,641	0,4h	0,94	0,608	0,94	0,608
	0,2h	0,44	0,55	0,351	0,54	0,610	0,2h	0,47	0,648	0,47	0,648
	d	0,00	0,00	0,168	0,00	0,203	d	0,00	0,438	0,00	0,438
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0750	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4091	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5628	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,6098
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,133	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,518	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,641	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,648

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 15			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 18			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 21			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 23		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	2,00	0,559	P	2,09	0,490	P	1,91	0,440	P	1,30	0,324
0,8h	1,60	0,626	0,8h	1,68	0,551	0,8h	1,52	0,528	0,8h	1,04	0,490
0,4h	0,80	0,585	0,4h	0,84	0,600	0,4h	0,76	0,548	0,4h	0,78	0,491
0,2h	0,40	0,590	0,2h	0,42	0,552	0,2h	0,38	0,480	0,4h	0,52	0,214
d	0,00	0,317	d	0,00	0,258	d	0,00	0,365	0,2h	0,26	0,212
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5689			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5305			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4993			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,3662		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,626			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,600			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,548			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,491		
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{śr} [m·s ⁻¹] 0,4464			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹] 0,648								

Tabela 8.26 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 5 Biebrzy Dolnej (BD_07_M) w dniu 22.09.2007 r., godz. 11:30

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4			Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8					
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 5			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 7			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 10			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 13			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 16			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 19			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 22			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 24					
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	1,50	0,165	P	1,78	0,333	P	1,96	0,601	P	1,90	0,665	P	1,93	0,571	P	2,06	0,593	P	2,14	0,406	P	2,14	0,406			
0,8h	1,20	0,224	0,8h	1,44	0,484	0,8h	1,58	0,607	0,8h	1,52	0,625	0,8h	1,55	0,615	0,8h	1,64	0,566	0,8h	1,72	0,497	0,8h	1,72	0,497			
0,6h	0,90	0,235	0,4h	0,72	0,500	0,4h	0,80	0,630	0,4h	0,76	0,578	0,4h	0,78	0,594	0,4h	0,82	0,513	0,4h	0,86	0,492	0,4h	0,86	0,492			
0,4h	0,60	0,213	0,2h	0,36	0,367	0,2h	0,40	0,483	0,2h	0,38	0,570	0,2h	0,39	0,388	0,2h	0,41	0,421	0,2h	0,43	0,445	0,2h	0,43	0,445			
0,2h	0,30	0,091	d	0,00	0,239	d	0,00	0,306	d	0,00	0,250	d	0,00	0,263	d	0,00	0,216	d	0,00	0,205	d	0,00	0,205			
d	0,00	0,037																								
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1952			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4258			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5584			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5664			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5237			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4888			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4468			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4468					
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,235			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,500			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,630			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,665			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,615			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,655			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,593			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,497					

Pion hydrometryczny nr 9		Prędkość średnia wazona w przekroju v_{sr} [$m \cdot s^{-1}$]	Prędkość maksymalna w przekroju v_{max} [$m \cdot s^{-1}$]
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		26,5	
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	
P	1,45	0,129	
0,8h	1,16	0,279	
0,6h	0,87	0,258	
0,4h	0,58	0,309	
0,2h	0,29	0,249	
d	0,00	0,107	
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		0,2705	
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		0,309	
		0,4639	
		0,665	

Tabela 8.27 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 6 Biebrzy Dolnej (BD_08_M) w dniu 22.09.2007 r., godz. 13:10

Pion hydrometryczny nr 1		Pion hydrometryczny nr 2		Pion hydrometryczny nr 3		Pion hydrometryczny nr 4	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		6		9		12	
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	
P	1,52	0,091	2,35	0,537	P	2,18	0,560
0,8h	1,21	0,099	1,88	0,521	0,8h	1,76	0,574
0,4h	0,60	0,084	0,94	0,533	0,4h	0,88	0,483
0,2h	0,30	0,090	0,47	0,440	0,2h	0,44	0,462
d	0,00	0,020	0,00	0,194	d	0,00	0,286
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		0,0840		0,4773		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		0,099		0,537		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	
		0,3545		0,414		0,4941	
		0,414		0,537		0,574	
Pion hydrometryczny nr 5		Pion hydrometryczny nr 6		Pion hydrometryczny nr 7		Pion hydrometryczny nr 8	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		18		21		24	
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	
P	2,02	0,553	1,99	0,517	P	1,83	0,268
0,8h	1,61	0,525	1,60	0,588	0,8h	1,48	0,327
0,4h	0,80	0,504	0,80	0,507	0,4h	0,74	0,276
0,2h	0,40	0,382	0,40	0,412	0,2h	0,37	0,284
d	0,00	0,253	0,00	0,274	d	0,00	0,228
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		0,4657		0,4447		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		0,553		0,493		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	
		0,588		0,493		0,327	
		0,588		0,493		0,276	
		0,412		0,446		0,284	
		0,274		0,227		0,228	
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		0,4900		0,4447		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		0,588		0,493		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	
		0,588		0,493		0,327	

Pion hydrometryczny nr 9		Pion hydrometryczny nr 10		Prędkość średnia wazona w przekroju v_{sr} [$m \cdot s^{-1}$]	Prędkość maksymalna wazona v_{max} [$m \cdot s^{-1}$]
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Odległość pionu od „0” przekroju [m]		0,3277	0,588
27		30			
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]			
P	1,82	1,91	0,063		
0,8h	1,46	1,53	0,074		
0,4h	0,73	0,76	0,066		
0,2h	0,36	0,38	0,017		
d	0,00	0,00	0,050		
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]			
0,2758		0,0567			
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]			
0,363		0,074			

Tabela 8.28 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 7 Biebrzy Dolnej (BD_09_M) w dniu 22.09.2007 r., godz. 15:00

Pion hydrometryczny nr 1		Pion hydrometryczny nr 2		Pion hydrometryczny nr 3		Pion hydrometryczny nr 4	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	
5		6		8		11	
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	
P	2,48	2,65	0,210	2,47	0,449	P	2,14
0,8h	1,99	2,12	0,224	1,99	0,527	0,8h	1,72
0,4h	1,00	1,06	0,351	1,00	0,448	0,4h	0,86
0,2h	0,50	0,53	0,342	0,50	0,522	0,2h	0,43
d	0,00	0,00	0,164	0,00	0,226	d	0,00
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	
0,1422		0,2783		0,4644		0,4396	
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	
0,250		0,351		0,527		0,496	
Pion hydrometryczny nr 5		Pion hydrometryczny nr 6		Pion hydrometryczny nr 7		Pion hydrometryczny nr 8	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	
14		18		21		24	
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	
P	1,78	2,13	0,635	1,94	0,603	P	1,92
0,8h	1,43	1,71	0,477	1,56	0,683	0,8h	1,54
0,4h	0,72	0,86	0,603	0,78	0,623	0,4h	0,77
0,2h	0,36	0,43	0,406	0,39	0,494	0,2h	0,38
d	0,00	0,00	0,275	0,00	0,185	d	0,00
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	
0,4208		0,4962		0,5694		0,5008	
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	
0,513		0,635		0,683		0,555	

Pion hydrometryczny nr 9		Prędkość średnia wazona w przekroju v_{sr} [$m \cdot s^{-1}$]	Prędkość maksymalna w przekroju v_{max} [$m \cdot s^{-1}$]
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	26		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]		
P	0,130		
0,8h	0,236		
0,6h	0,216		
0,4h	0,187		
0,2h	0,215		
d	0,188		
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,2262		
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,236		
		0,3992	0,683

Tabela 8.29 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 8 Biebrzy Dolnej (BD_11_M) w dniu 22.09.2007 r., godz. 16:35

Pion hydrometryczny nr 1		Pion hydrometryczny nr 2		Pion hydrometryczny nr 3		Pion hydrometryczny nr 4	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	7	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	9	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	12	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	15
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]
P	0,096	P	0,233	P	0,462	P	0,585
0,8h	0,097	0,8h	0,322	0,8h	0,499	0,8h	0,636
0,4h	0,059	0,4h	0,410	0,4h	0,548	0,4h	0,606
0,2h	0,153	0,2h	0,369	0,2h	0,471	0,2h	0,498
d	0,142	d	0,129	d	0,199	d	0,256
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,1012	Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,3296	Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,4744	Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,5563
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,153	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,410	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,548	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,636
Pion hydrometryczny nr 5		Pion hydrometryczny nr 6		Pion hydrometryczny nr 7		Pion hydrometryczny nr 8	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	18	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	21	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	24	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	26
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [$m \cdot s^{-1}$]
P	0,628	P	0,601	P	0,417	P	0,199
0,8h	0,666	0,8h	0,675	0,8h	0,495	0,8h	0,306
0,4h	0,664	0,4h	0,635	0,4h	0,593	0,4h	0,330
0,2h	0,606	0,2h	0,566	0,2h	0,497	0,2h	0,341
d	0,326	d	0,434	d	0,340	d	0,066
Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,6156	Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,6097	Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,5015	Prędkość średnia wazona [$m \cdot s^{-1}$]	0,2855
Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,666	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,675	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,593	Prędkość maksymalna [$m \cdot s^{-1}$]	0,341
Prędkość średnia wazona w przekroju v_{sr} [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna w przekroju v_{sr} [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna w przekroju v_{sr} [$m \cdot s^{-1}$]		Prędkość maksymalna w przekroju v_{max} [$m \cdot s^{-1}$]	
		0,4018				0,675	

Tabela 8.30 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 9 Biebrzy Dolnej (BD_13_M) w dniu 23.09.2007 r., godz. 13:25

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	7	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	9	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	12	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	15
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,126		P	0,302		P	0,644		P	0,692	
0,8h	0,159		0,8h	0,455		0,8h	0,673		0,8h	0,747	
0,6h	0,162		0,4h	0,443		0,4h	0,548		0,4h	0,641	
0,4h	0,132		0,2h	0,378		0,2h	0,491		0,2h	0,630	
0,2h	0,092		d	0,228		d	0,375		d	0,337	
d	0,056										
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1431		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,3980		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5664		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,6453	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,162		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,455		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,673		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,747	
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	18	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	21	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	24	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	26
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,760		P	0,590		P	0,339		P	0,234	
0,8h	0,783		0,8h	0,646		0,8h	0,459		0,8h	0,182	
0,4h	0,759		0,4h	0,682		0,4h	0,545		0,4h	0,228	
0,2h	0,561		0,2h	0,630		0,2h	0,400		0,2h	0,248	
d	0,434		d	0,433		d	0,275		d	0,125	
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,6942		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,6267		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,4426		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,2085	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,783		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,682		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,545		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,248	
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			0,4539			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			0,783		

Tabela 8.31 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 10 Biebrzy Dolnej (BD_14_M) w dniu 23.09.2007 r., godz. 14:50

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	6	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	8	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	10	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	13
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,293		P	0,409		P	0,567		P	0,548	
0,8h	0,111		0,8h	0,625		0,8h	0,612		0,8h	0,574	
0,4h	0,006		0,4h	0,573		0,4h	0,594		0,4h	0,593	
0,2h	0,068		0,2h	0,417		0,2h	0,518		0,2h	0,498	
d	0,129		d	0,254		d	0,036		d	0,084	
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,0909		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5091		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5257		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5129	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,293		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,625		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,612		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,593	

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
16			18			20			23		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	2,48	0,498	P	2,31	0,436	P	2,31	0,351	P	1,96	0,327
0,8h	2,00	0,510	0,8h	1,85	0,424	0,8h	1,84	0,411	0,8h	1,58	0,371
0,4h	1,00	0,525	0,4h	0,92	0,409	0,4h	0,92	0,456	0,4h	0,80	0,418
0,2h	0,50	0,376	0,2h	0,46	0,419	0,2h	0,46	0,468	0,2h	0,40	0,360
d	0,00	0,250	d	0,00	0,026	d	0,00	0,196	d	0,00	0,207
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4605	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3799	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4084	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3621
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,525	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,436	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,468	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,418
Pion hydrometryczny nr 9			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹] 0,3819			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹] 0,625					
Odległość pionu od „0” przekroju [m]									25		
Głębokość pionu h [m]									Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	1,58	0,143									
0,8h	1,27	0,212									
0,4h	0,64	0,217									
0,2h	0,32	0,164									
d	0,00	0,115									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1873									
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,217									

Tabela 8.32 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 11 Biebrzy Dolnej (BD_15_M) w dniu 24.09.2007 r., godz. 10:15

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
5			7			10			13		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	1,55	0,288	P	1,78	0,428	P	1,62	0,675	P	1,52	0,682
0,8h	1,24	0,283	0,8h	1,43	0,503	0,8h	1,28	0,692	0,8h	1,22	0,669
0,4h	0,62	0,288	0,4h	0,72	0,483	0,4h	0,64	0,616	0,4h	0,60	0,635
0,2h	0,31	0,258	0,2h	0,36	0,426	0,2h	0,32	0,528	0,2h	0,30	0,583
d	0,00	0,167	d	0,00	0,217	d	0,00	0,269	d	0,00	0,359
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2684	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4455	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5924	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,6119
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,288	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,503	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,692	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,682

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
16			19			22			25		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	1,55	0,702	P	1,77	0,651	P	1,55	0,665	P	1,54	0,646
0,8h	1,24	0,679	0,8h	1,43	0,600	0,8h	1,24	0,673	0,8h	1,24	0,695
0,4h	0,62	0,608	0,4h	0,72	0,589	0,4h	0,62	0,626	0,4h	0,62	0,538
0,2h	0,31	0,532	0,2h	0,36	0,461	0,2h	0,31	0,505	0,2h	0,31	0,455
d	0,00	0,211	d	0,00	0,251	d	0,00	0,364	d	0,00	0,273
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,5838			0,5391			0,5936			0,5528		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,702			0,651			0,673			0,695		
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Pion hydrometryczny nr 11			Pion hydrometryczny nr 12		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
27			29			32			32		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	1,59	0,589	P	1,44	0,346	P	1,13	0,098	P	1,13	0,098
0,8h	1,28	0,561	0,8h	1,16	0,400	0,8h	0,91	0,166	0,8h	0,91	0,166
0,4h	0,64	0,524	0,4h	0,58	0,352	0,4h	0,69	0,082	0,4h	0,69	0,082
0,2h	0,32	0,555	0,2h	0,29	0,433	0,2h	0,46	0,068	0,2h	0,46	0,068
d	0,00	0,241	d	0,00	0,240	d	0,23	0,101	d	0,23	0,101
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,5195			0,3708			0,1185			0,4262		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,589			0,433			0,166			0,702		

Tabela 8.33 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 12 Biebrzy Dolnej (BD_16_M) w dniu 24.09.2007 r., godz. 11:40

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
4			6			8			11		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	1,01	0,071	P	1,37	0,167	P	1,80	0,216	P	1,94	0,367
0,8h	0,80	0,069	0,8h	1,13	0,124	0,8h	1,44	0,265	0,8h	1,56	0,365
0,6h	0,60	0,064	0,6h	0,84	0,123	0,4h	0,72	0,179	0,4h	0,78	0,315
0,4h	0,40	0,058	0,4h	0,56	0,100	0,2h	0,36	0,104	0,2h	0,39	0,198
0,2h	0,20	0,036	0,2h	0,28	0,057	d	0,00	0,055	d	0,00	0,163
d	0,00	0,020	d	0,00	0,178						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,0614			0,1277			0,1811			0,2966		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,071			0,178			0,265			0,367		

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	14		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	17		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	20		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	23	
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,483		P	0,530		P	0,560		P	0,548	
0,8h	0,427		0,8h	0,559		0,8h	0,530		0,8h	0,525	
0,4h	0,394		0,4h	0,431		0,4h	0,519		0,4h	0,397	
0,2h	0,355		0,2h	0,413		0,2h	0,420		0,2h	0,328	
d	0,178		d	0,274		d	0,021		d	0,229	
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,3834		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,4600		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,4568		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,4199	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,483		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,559		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,560		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,548	
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Pion hydrometryczny nr 11			Pion hydrometryczny nr 12		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	26		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	30		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	33		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	36	
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,497		P	0,448		P	0,328		P	0,130	
0,8h	0,525		0,8h	0,468		0,8h	0,299		0,8h	0,147	
0,4h	0,480		0,4h	0,346		0,4h	0,227		0,4h	0,242	
0,2h	0,410		0,2h	0,267		0,2h	0,200		0,2h	0,131	
d	0,263		d	0,111		d	0,065		d	0,022	
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,4595		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,3535		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,2371		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,1581	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,525		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,468		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,328		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,242	
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			0,3298			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			0,560		

Tabela 8.34 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 13 Biebrzy Dolnej (BD_17_M) w dniu 24.09.2007 r., godz. 16:20

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	7		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	9		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	12		Odległość pionu od „0” przekroju [m]	15	
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,171		P	0,329		P	0,556		P	0,678	
0,8h	0,108		0,8h	0,410		0,8h	0,639		0,8h	0,681	
0,4h	0,119		0,4h	0,438		0,4h	0,594		0,4h	0,658	
0,2h	0,019		0,2h	0,366		0,2h	0,575		0,2h	0,486	
d	0,005		d	0,223		d	0,243		d	0,280	
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,0895		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,3828		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5648		Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]	0,5947	
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,171		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,438		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,639		Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,681	

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
18			21			24			26		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	2,38	0,725	P	2,18	0,743	P	1,96	0,680	P	1,75	0,400
0,8h	1,92	0,750	0,8h	1,75	0,786	0,8h	1,58	0,586	0,8h	1,40	0,379
0,4h	0,96	0,601	0,4h	0,88	0,593	0,4h	0,80	0,614	0,4h	0,70	0,338
0,2h	0,48	0,524	0,2h	0,44	0,559	0,2h	0,40	0,274	0,2h	0,35	0,174
d	0,00	0,335	d	0,00	0,180	d	0,00	0,219	d	0,00	0,022
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,6161			0,6178			0,5047			0,2921		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,750			0,786			0,680			0,400		
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]								
28			30			0,4257			0,786		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]								
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
P	1,33	0,238	P	1,15	0,100						
0,8h	1,07	0,184	0,8h	0,92	0,037						
0,6h	0,80	0,087	0,6h	0,69	0,042						
0,4h	0,54	0,034	0,4h	0,46	0,045						
0,2h	0,27	0,028	0,2h	0,23	0,056						
d	0,00	0,026	d	0,00	0,001						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			0,4257			0,786		
0,1114			0,0498								
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
0,238			0,100								

Tabela 8.35 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 14 Biebrzy Dolnej (BD_18_M) w dniu 24.09.2007 r., godz. 13:20

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
6			8			11			14		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	1,85	0,097	P	2,40	0,465	P	1,71	0,960	P	1,40	1,008
0,8h	1,48	0,129	0,8h	1,92	0,568	0,8h	1,36	0,925	0,8h	1,12	0,991
0,6h	1,11	0,197	0,4h	0,96	0,711	0,4h	0,68	0,894	0,4h	0,56	0,968
0,4h	0,74	0,343	0,2h	0,48	0,643	0,2h	0,34	0,626	0,2h	0,28	0,793
0,2h	0,37	0,388	d	0,00	0,164	d	0,00	0,409	d	0,00	0,794
d	0,00	0,014									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,2354			0,5752			0,8078			0,9265		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,388			0,711			0,960			1,008		

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8								
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 17			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 20			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 23			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 25								
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]								
P	1,69	0,820	P	1,85	0,664	P	1,67	0,820	P	1,23	0,250						
0,8h	1,36	0,823	0,8h	1,48	0,716	0,8h	1,35	0,823	0,8h	0,99	0,114						
0,4h	0,68	0,640	0,4h	0,74	0,661	0,4h	0,68	0,640	0,4h	0,75	0,122						
0,2h	0,34	0,629	0,2h	0,37	0,543	0,2h	0,34	0,629	0,4h	0,50	0,114						
d	0,00	0,377	d	0,00	0,477	d	0,00	0,377	0,2h	0,25	0,149						
									d	0,00	0,026						
Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,6844			Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,6358			Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,6844			Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,1388								
Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,823			Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,716			Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,823			Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,250								
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju $v_{sr} [m \cdot s^{-1}]$			Prędkość maksymalna w przekroju $v_{max} [m \cdot s^{-1}]$								
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 29			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 31														
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]								
P	0,92	0,186	P	0,63	0,143	0,5068						1,008					
0,8h	0,74	0,204	0,8h	0,50	0,179												
0,6h	0,55	0,210	0,6h	0,37	0,184												
0,4h	0,36	0,221	0,4h	0,25	0,152												
0,2h	0,18	0,159	0,2h	0,12	0,086												
d	0,00	0,106	d	0,00	0,029												
Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,2084			Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,1374														
Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,221			Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,184														

Tabela 8.36 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 15 Biebrzy Dolnej (BD_19_M) w dniu 24.09.2007 r., godz. 15:10

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 6			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 8			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 10			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 13		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	1,52	0,183	P	1,92	0,359	P	2,17	0,503	P	2,18	0,655
0,8h	1,21	0,222	0,8h	1,53	0,381	0,8h	1,74	0,603	0,8h	1,75	0,711
0,6h	0,90	0,284	0,4h	0,76	0,442	0,4h	0,88	0,570	0,4h	0,88	0,651
0,4h	0,60	0,259	0,2h	0,38	0,329	0,2h	0,44	0,594	0,2h	0,44	0,658
0,2h	0,30	0,277	d	0,00	0,249	d	0,00	0,311	d	0,00	0,383
d	0,00	0,181									
Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,2670			Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,3735			Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,5521			Prędkość średnia ważona $[m \cdot s^{-1}]$ 0,6440		
Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,284			Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,442			Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,603			Prędkość maksymalna $[m \cdot s^{-1}]$ 0,711		

Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
16			19			22			25		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	2,18	0,682	P	2,16	0,681	P	2,07	0,536	P	1,70	0,217
0,8h	1,75	0,793	0,8h	1,74	0,706	0,8h	1,66	0,603	0,8h	1,36	0,349
0,4h	0,88	0,707	0,4h	0,87	0,720	0,4h	0,84	0,516	0,4h	0,68	0,386
0,2h	0,44	0,695	0,2h	0,44	0,608	0,2h	0,42	0,478	0,2h	0,34	0,282
d	0,00	0,271	d	0,00	0,345	d	0,00	0,177	d	0,00	0,141
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,6843			0,6520			0,5026			0,3127		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,793			0,720			0,603			0,386		
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{śr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
0,793			0,5052			0,716			0,793		

Tabela 8.37 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Kanatu Rudzkiego (KR_01) w dniu 21.09.2007 r., godz. 13:10

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
5			6			7			8		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	1,95	0,058	P	1,92	0,383	P	1,87	0,640	P	1,78	0,767
0,8h	1,56	0,369	0,8h	1,54	0,532	0,8h	1,50	0,716	0,8h	1,43	0,819
0,6h	1,17	0,459	0,4h	0,76	0,483	0,4h	0,75	0,687	0,4h	0,72	0,755
0,4h	0,78	0,441	0,2h	0,38	0,308	0,2h	0,37	0,595	0,2h	0,36	0,576
0,2h	0,39	0,244	d	0,00	0,229	d	0,00	0,551	d	0,00	0,041
d	0,00	0,079									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,3532			0,4273			0,6590			0,6682		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,459			0,532			0,716			0,819		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
10			12			13			13		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	1,60	0,646	P	1,60	0,380	P	1,38	0,376	P	1,38	0,376
0,8h	1,28	0,705	0,8h	1,28	0,520	0,8h	1,11	0,251	0,8h	1,11	0,251
0,4h	0,64	0,729	0,4h	0,64	0,445	0,6h	0,84	0,251	0,6h	0,84	0,251
0,2h	0,32	0,652	0,2h	0,32	0,233	0,4h	0,56	0,145	0,4h	0,56	0,145
d	0,00	0,400	d	0,00	0,322	0,2h	0,28	0,107	0,2h	0,28	0,107
						d	0,00	0,071	d	0,00	0,071
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,6652			0,4063			0,2206			0,819		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,729			0,520			0,376			0,4610		
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{śr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{śr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
0,4610			0,819			0,4610			0,819		

Tabela 8.38 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Klimaszewicy (KLIMASZ_01) w dniu 23.09.2007 r., godz. 9:05

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		5,5	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		6	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		7	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		8
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
0,85h	0,46	0,060	P	0,60	0,105	0,8h	0,40	0,093	0,8h	0,25	0,143
0,5h	0,27	0,085	0,8h	0,48	0,115	0,4h	0,20	0,095	0,4h	0,12	0,176
0,15h	0,08	0,038	0,4h	0,24	0,113	0,2h	0,10	0,119	0,2h	0,06	0,119
			0,2h	0,12	0,076						
			d	0,00	0,020						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0610	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0961	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1005	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1535
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,085	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,115	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,119	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,176
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		0,1238	Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		0,1238	Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		0,176	Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		0,176

Tabela 8.39 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Kosódki (KOSODKA_01) w dniu 23.09.2007 r., godz. 11:15

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		4	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		5	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		6	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		7
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
0,8h	0,32	0,069	P	0,91	0,124	0,8h	0,92	0,097	P	1,20	0,083
0,4h	0,16	0,048	0,8h	0,72	0,124	0,6h	0,69	0,091	0,8h	0,96	0,097
0,2h	0,08	0,022	0,6h	0,54	0,123	0,4h	0,46	0,110	0,6h	0,72	0,080
			0,4h	0,36	0,122	0,2h	0,23	0,097	0,4h	0,48	0,086
			0,2h	0,18	0,104	d	0,00	0,057	0,2h	0,24	0,083
			d	0,00	0,020				d	0,00	0,046
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0467	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1214	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1023	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0918
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,069	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,124	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,110	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,097
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Prędkość w przekroju wazona v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		8	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		9	0,0793		0,124			
Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]						
P	1,01	0,080	P	0,77	0,060						
0,8h	0,80	0,083	0,8h	0,63	0,075						
0,6h	0,60	0,083	0,6h	0,48	0,120						
0,4h	0,40	0,083	0,4h	0,32	0,117						
0,2h	0,20	0,093	0,2h	0,16	0,107						
d	0,00	0,022	d	0,00	0,029						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0869	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1002						
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,093	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,120						

Tabela 8.40 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Wiszy (WISSA_01) w dniu 23.09.2007 r., godz. 12:15

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
4			4,5			5,5			6,5		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
P	1,05	0,084	P	1,25	0,113	P	2,05	0,143	P	2,25	0,187
0,8h	0,84	0,116	0,8h	1,00	0,198	0,8h	1,63	0,196	0,8h	1,80	0,223
0,6h	0,63	0,105	0,4h	0,50	0,112	0,4h	0,82	0,247	0,4h	0,90	0,219
0,4h	0,42	0,084	0,2h	0,25	0,046	0,2h	0,41	0,256	0,2h	0,45	0,212
0,2h	0,21	0,054	d	0,00	0,074	d	0,00	0,191	d	0,00	0,037
d	0,00	0,018									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,0936			0,1209			0,2175			0,1974		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,116			0,198			0,256			0,223		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			0,1434			0,256		
7,5			8,5								
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]								
P	2,05	0,229	P	1,78	0,056						
0,8h	1,64	0,204	0,8h	1,43	0,173						
0,4h	0,82	0,191	0,4h	0,72	0,125						
0,2h	0,41	0,189	0,2h	0,36	0,094						
d	0,00	0,157	d	0,00	0,054						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]								
0,1949			0,1192								
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]								
0,229			0,173								

Tabela 8.41 Wyniki pomiarów wysokości zwierciadła wody n.p.m. w basenie Biebrzy Dolnej w dniach 21-24.09.2007 r.

Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne WGS84		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne WGS84		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]
		Długość	Szerokość				Długość	Szerokość	
21 września, pomiary od godz. 10:30 do godz. 18:30									
ZW_WODY	51895,4	22,6380443	53,4832906	106,61	ZW_WODY	39672,2	22,5417137	53,4340491	105,07
ZW_WODY	51573,7	22,6363973	53,4804857	106,606	BD_06_M	38573,9	22,5376058	53,4272907	104,909
BD_00_M	50702,1	22,6274111	53,4781285	106,578	ZW_WODY	37078,7	22,5441868	53,4232488	104,68
ZW_WODY	50476,4	22,6247218	53,4771289	106,559	BD_07_M	35770,3	22,5443447	53,4178605	104,521
ZW_W_RUDZKI		22,6245156	53,4773491	106,592	ZW_WODY	35071,8	22,5426179	53,4132143	104,414
KR_01	50353,2	22,6241503	53,478197	106,645	ZW_WODY	34007,5	22,5366382	53,4083345	104,306
ZW_W_RUDZKI		22,6248226	53,4799744	106,741	ZW_WODY	33152,2	22,5429789	53,4034625	104,261
ZW_WODY	50341,9	22,6228865	53,4765023	106,563	BD_08_M	32598,6	22,5393224	53,3997811	104,235
ZW_WODY	49660,7	22,617558	53,4719528	106,472	ZW_WODY	31869,7	22,5347287	53,3951698	104,202
ZW_WODY	49017,7	22,6129996	53,4673609	106,41	ZW_WODY	30953,2	22,5260268	53,3911631	104,104
ZW_WODY	48417,3	22,6081019	53,4633894	106,342	BD_09_M	30242,7	22,5231432	53,3868743	104,017
BD_03_M	47761,1	22,5993502	53,4624969	106,272	ZW_WODY	29164,5	22,5221823	53,380826	103,845
ZW_WODY	46968,2	22,589538	53,4593217	106,184	ZW_WODY	28329,4	22,5218388	53,3747626	103,674
ZW_WODY	45841,6	22,5798416	53,4570522	106,057	ZW_WODY	27120,2	22,5116323	53,3728009	103,462
ZW_WODY	45219,6	22,5736623	53,4543028	105,992	ZW_WODY	26492,8	22,5079601	53,3693201	103,373
ZW_WODY	44339,9	22,5703798	53,4498209	105,84	ZW_WODY	24705,6	22,5048625	53,3642372	103,018
ZW_WODY	43279,2	22,5700745	53,4446426	105,661	ZW_WODY	24003,5	22,5016113	53,3606152	102,872
BD_05_M	42639,1	22,5682188	53,4405601	105,567	BD_11_M	22594,4	22,4960735	53,3575768	102,68
ZW_WODY	41774,6	22,5615864	53,4375483	105,411	ZW_WODY	21574,1	22,496451	53,3525936	102,567
ZW_WODY	40513,8	22,5513748	53,4384681	105,185	ZW_WODY	20855,9	22,4972659	53,3480081	102,467
ZW_WODY	40502,4	22,5513237	53,4383773	105,163					
23 września, pomiary od godz. 9:00 do godz. 18:00									
KLIMASZ_01	40500,0	22,5069075	53,463418	106,469	ZW_WODY	19201,7	22,4888917	53,3376954	102,261
KOSODKA_01	24180,0	22,5047478	53,3608402	102,941	ZW_WODY	18276,7	22,4851106	53,3342069	102,141
WISSA_01	22775,3	22,4971603	53,3595437	102,722	ZW_WODY	16685,4	22,4714215	53,3321558	101,934
ZW_WODY	20853,3	22,4972383	53,3479767	102,483	BD_14_M	15952,9	22,4697943	53,3260458	101,851
ZW_WODY	20110,4	22,4928063	53,3431779	102,401	ZW_WODY	15230,4	22,4683047	53,3213604	101,777
BD_13_M	19907,7	22,4905777	53,3418811	102,367	ZW_WODY	14611,3	22,4666929	53,3169671	101,691

Tabela 8.42 Wyniki pomiarów wysokości zwierciadła wody n.p.m. w basenie Biebrzy Dolnej w dniach 21-24.09.2007 r.

Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne WGS84		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne WGS84		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]
		Długość	Szerokość				Długość	Szerokość	
24 września, pomiary od godz. 9:30 do godz. 17:30									
WODOWSKAZ BURZYN		22,4588623	53,2740827	103,843	ZW_WODY	7722,8	22,4603765	53,2696777	101,021
ZW_WODY	14213,1	22,4651243	53,3135595	101,664	ZW_WODY	7007,0	22,4587616	53,2639297	100,936
BD 15 M	13438,4	22,4658583	53,3066314	101,575	ZW_WODY	6207,2	22,4538735	53,2594293	100,811
BRZOSTOWO-WODOWSKAZ_PTOP		22,4651271	53,3135575	102,189	BD_18_M	5487,6	22,4524378	53,2561614	100,669
ZW_WODY	12575,3	22,4679227	53,3014779	101,477	ZW_WODY	4850,7	22,4525762	53,2514698	100,591
ZW_WODY	11843,2	22,4697429	53,2952809	101,386	ZW_WODY	3723,1	22,448513	53,246683	100,459
ZW_WODY	11152,2	22,4676762	53,2897226	101,296	BD 19 M	3251,8	22,4441118	53,243792	100,4
BD 16 M	10556,1	22,4683991	53,2852749	101,287	ZW_WODY	2695,7	22,4412156	53,2392605	100,294
ZW_WODY	9065,7	22,4660231	53,2788247	101,154	ZW_WODY	2161,6	22,4405604	53,2345669	100,221
BD 17 M	8295,3	22,4594554	53,2746595	101,066					

Załącznik nr 3

Wyniki pomiarów terenowych w kampanii
pomiarowej 19-23 lipca 2008 r.

Tabela 8.43 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej w dniach 19-23.07.2008 r.

Przekrój nr 1 BD_00_M						Przekrój nr 2 BD_03_M						Przekrój nr 3 BD_05_M						Przekrój nr 4 BD_06_M						Przekrój nr 5 BD_07_M					
Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	h [m]	Uwagi						
0,2	-1,10	30,0	NPB	30,0	3,23			0,0	-1,30	NPB		2,0	-1,00	NPB		32,0	0,20			0,3	-0,85	NPB		0,3	-1,20	NPB			
1,0	-0,68	31,0		31,0	2,64	0,95		1,0	-1,15			3,0	-0,92			32,1	0,00	BP		1,0	-0,53			0,7	-1,18				
2,0	-0,70	32,0		31,5	1,85	0,00	BP	2,0	-0,70			4,0	-0,65			32,7	-1,00			1,3	0,00	BL		1,0	-0,95				
3,0	-0,30	33,0		32,0	1,10	-0,60		2,7	0/0,30	BL		5,0	-0,45			33,0	-1,00	NPB		2,0	1,41			2,0	-0,08				
3,4	0,00	34,0	BL	32,5	0,68	-0,90	NPB	3,0	0,50			6,0	-0,52							3,0	1,41			2,2	0,00	BL			
4,0	0,26	34,8	0/0,32		0,32		BP	4,0	1,09			7,0	-0,56							4,0	1,78			3,0	0,60				
5,0	0,70	35,0	-0,35		-0,35			5,0	1,17			8,0	-0,60							5,0	1,60			4,0	0,86				
6,0	1,38	36,0	-0,75		-0,75			6,0	1,14			9,0	-0,52							6,0	1,51			5,0	1,00				
7,0	2,15	36,8	-0,90	NPB	-0,90		NPB	7,0	1,16			10,0	-0,37							7,0	1,45			6,0	1,14				
8,0	2,70							8,0	1,18			11,0	-0,05							8,0	1,43			7,0	1,19				
9,0	3,40							9,0	1,28			11,1	0,00	BL						9,0	1,40			8,0	1,15				
10,0	3,72							10,0	1,30			12,0	0,25							10,0	1,44			9,0	1,23				
11,0	3,94							11,0	1,29			13,0	0,50							11,0	1,37			10,0	1,25				
12,0	4,04							12,0	1,30			14,0	0,81							12,0	1,39			11,0	1,25				
13,0	4,02							13,0	1,41			15,0	1,15							13,0	1,30			12,0	1,20				
14,0	3,96							14,0	1,39			16,0	1,18							14,0	1,27			13,0	1,18				
15,0	3,87							15,0	1,45			17,0	1,21							15,0	1,08			14,0	1,16				
16,0	3,87							16,0	1,43			18,0	1,27							16,0	1,07			15,0	1,13				
17,0	3,86							17,0	1,42			19,0	1,36							17,0	1,10			16,0	1,06				
18,0	3,90							18,0	1,38			20,0	1,47							18,0	1,05			17,0	1,05				
19,0	3,98							19,0	1,35			21,0	1,51							19,0	1,11			18,0	1,05				
20,0	4,10							20,0	1,30			22,0	1,56							20,0	1,05			19,0	1,18				
21,0	4,20							21,0	1,27			23,0	1,63							21,0	0,92			20,0	1,25				
22,0	4,35							22,0	1,25			24,0	1,65							22,0	0,80			21,0	1,25				
23,0	4,44							23,0	1,18			25,0	1,65							23,0	0,45			22,0	1,24				
24,0	4,45							24,0	1,12			26,0	1,70							23,5	0/0,15	BP		23,0	1,34				
25,0	4,44							25,0	1,10			27,0	1,82							23,6	-0,68			24,0	1,43				
26,0	4,33							26,0	1,08			28,0	1,84							24,0	-0,76			25,0	1,13				
27,0	4,26							27,0	1,07			29,0	1,90							25,0	-0,91			26,0	1,15				
28,0	4,06							28,0	1,12			30,0	0,81							26,0	-1,00	NPB		26,2	0,00	BP			
29,0	3,80							29,0	1,10			31,0	0,77							30,0	-1,00	NPB		27,0	-0,85	NPB			
Uwagi: Pomiar dnia 19.07.2008, godz. 10:45, zarastanie do 6 m oraz od 32,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 19.07.2008, godz. 13:50, zarastanie od 29 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 19.07.2008, godz. 15:20, zarastanie do 14 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 20.07.2008, godz. 11:20, zarastanie do 4 m dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste											
						BL – brzeg lewy BP – brzeg prawy NPB – najwyższy punkt brzegu																							

Tabela 8.44 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej w dniach 19-23.07.2008 r.

Przekrój nr 6 BD_08_M						Przekrój nr 7 BD_09_M						Przekrój nr 8 BD_11_M						Przekrój nr 9 BD_13_M						Przekrój nr 10 BD_14_M					
Odcięcie pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Wagi	Odcięcie pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Wagi	Odcięcie pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Wagi	Odcięcie pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Wagi	Odcięcie pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Wagi	Odcięcie pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Wagi	Odcięcie pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Wagi	Odcięcie pionu od „0” [m]	Głębokość [m]	Wagi						
0,5	-0,85	NPB	30,0	1,64		0,7	-0,58	NPB	28,0	-0,51		0,3	-1,30	NPB	29,4	0,00	BP	1,0	-1,00	NPB	1,0	-1,08	NPB						
1,0	-0,70		31,0	1,00		1,1	-0,58		29,0	-0,80	NPB	1,0	-1,18		30,0	-0,16		2,0	-0,89		2,0	-1,00							
1,5	0/0,20	BL	31,5	0,00	BP	1,3	-0,48					2,0	-0,80		31,0	-0,68		3,0	0,00	BL	3,0	0,00	BL						
2,0	0,50		32,0	-0,54		1,9	0/0,52	BL				3,0	-0,20		32,0	-0,95		4,0	0,72		4,0	0,16							
3,0	1,72		32,3	-0,68	NPB	2,0	0,56					3,3	0,00	BL	32,5	-1,10	NPB	5,0	1,05		5,0	0,88							
4,0	2,02					3,0	1,28					4,0	0,46					6,0	1,33		6,0	1,90							
5,0	1,85					4,0	1,94					5,0	0,72					7,0	1,35		7,0	2,49							
6,0	1,75					5,0	2,28					6,0	1,25					8,0	1,36		8,0	2,75							
7,0	1,72					6,0	2,27					7,0	1,64					9,0	1,35		9,0	2,77							
8,0	1,68					7,0	2,22					8,0	1,74					10,0	1,36		10,0	2,69							
9,0	1,55					8,0	2,06					9,0	1,73					11,0	1,42		11,0	2,63							
10,0	1,50					9,0	1,80					10,0	1,68					12,0	1,46		12,0	2,56							
11,0	1,47					10,0	1,65					11,0	1,66					13,0	1,52		13,0	2,45							
12,0	1,43					11,0	1,45					12,0	1,68					14,0	1,57		14,0	2,32							
13,0	1,43					12,0	1,34					13,0	1,60					15,0	1,55		15,0	2,12							
14,0	1,32					13,0	1,24					14,0	1,53					16,0	1,56		16,0	2,04							
15,0	1,23					14,0	1,20					15,0	1,45					17,0	1,58		17,0	1,88							
16,0	1,28					15,0	1,16					16,0	1,45					18,0	1,65		18,0	1,86							
17,0	1,27					16,0	1,15					17,0	1,45					19,0	1,70		19,0	2,00							
18,0	1,20					17,0	1,20					18,0	1,46					20,0	1,78		20,0	2,06							
19,0	1,19					18,0	1,18					19,0	1,48					21,0	1,73		21,0	1,97							
20,0	1,19					19,0	1,17					20,0	1,43					22,0	1,68		22,0	1,80							
21,0	1,32					20,0	1,24					21,0	1,41					23,0	1,67		23,0	1,59							
22,0	1,45					21,0	1,24					22,0	1,43					24,0	1,74		24,0	1,36							
23,0	1,48					22,0	1,20					23,0	1,43					25,0	1,70		25,0	1,15							
24,0	1,47					23,0	1,17					24,0	1,38					26,0	1,05		26,0	0,59							
25,0	1,39					24,0	1,12					25,0	1,33					27,0	0,23		27,0	0,00	BP						
26,0	1,39					25,0	1,04					26,0	0,96					27,9	0,00	BP	25,5	-0,45							
27,0	1,41					26,0	0,75					27,0	0,63					28,0	-0,07		27,0	-0,39							
28,0	1,60					27,0	0,18					28,0	0,67					29,0	-1,03		29,0	-0,48							
29,0	1,71					27,2	0,00	BP				29,0	0,12					29,3	-1,10	NPB	30,0	-0,78	NPB						
Uwagi: Pomiar dnia 20.07.2008, godz. 12:30, zarastanie od 27 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 20.07.2008, godz. 13:55, dno piaszczyste						Uwagi: Pomiar dnia 20.07.2008, godz. 17:00, zarastanie od 26 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 21.07.2008, godz. 11:55, zarastanie od 25,5 m dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 21.07.2008, godz. 13:15, dno piaszczyste					

Tabela 8.45 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznych w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej w dniach 19-23.07.2008 r.

Przekrój nr 11 BD_15_M						Przekrój nr 12 BD_16_M						Przekrój nr 13 BD_17_M						Przekrój nr 14 BD_18_M					
Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Uwagi	Odległość pionu od „0” [m]	Głębokość przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi		
1,0	-1,15	NPB		30,0	0,91		0,3	-0,97	NPB	30,0	1,51		0,0	-1,10	NPB	30,0	0,56		0,5	-0,98	NPB	32,0	0,60
2,0	-1,05			31,0	0,70		1,0	-0,90		31,0	1,60		1,0	-1,00		31,0	0,38		1,0	-0,93		33,0	0,48
3,0	-0,72			32,0	0,61		1,2	-0,85		32,0	1,61		2,0	-0,85		31,8	0,00	BP	3,0	-0,37		34,0	0,37
3,5	-0,55			33,0	0,63		2,0	0,00	BL	33,0	1,65		3,0	-0,37		32,0	-0,11		5,0	-0,38		35,0	0,28
4,0	-0,07			34,0	0,62		3,0	0,62		34,0	1,47		4,0	-0,20		33,0	-0,40		6,0	-0,25		36,0	0,09
4,2	0/0,58			35,0	0,66		4,0	0,60		35,0	0,90		4,5	0,00	BL	34,0	-0,60		7,0	-0,18		36,1	0,00
5,0	0,99			36,0	0,53		5,0	0,78		36,0	0,40		5,0	0,44		35,0	-0,78		7,4	0,00	BL	37,0	-0,34
6,0	0,95			37,0	0,47		6,0	1,00		36,4	0,00	BP	6,0	1,02		36,5	-0,88	NPB	8,0	0,90		38,0	-0,50
7,0	1,13			38,0	0,40		7,0	1,12		37,0	-1,36		7,0	1,26					9,0	0,92		39,0	-0,81
8,0	1,15			39,0	0,35		8,0	1,20		38,0	-1,49	NPB	8,0	1,28					10,0	1,20			
9,0	1,19			39,5	0,00	BP	9,0	1,22					9,0	1,33					11,0	1,58			
10,0	1,18			40,0	-0,38		10,0	1,26					10,0	1,36					12,0	1,86			
11,0	1,15			41,0	-1,11		11,0	1,44					11,0	1,42					13,0	1,86			
12,0	1,14			43,0	-1,58	NPB	12,0	1,36					12,0	1,51					14,0	1,92			
13,0	1,16						13,0	1,16					13,0	1,59					15,0	1,99			
14,0	1,18						14,0	1,16					14,0	1,63					16,0	2,05			
15,0	1,18						15,0	1,16					15,0	1,73					17,0	2,07			
16,0	1,07						16,0	1,16					16,0	1,73					18,0	2,06			
17,0	0,96						17,0	1,12					17,0	1,74					19,0	2,02			
18,0	0,93						18,0	1,13					18,0	1,79					20,0	2,03			
19,0	0,90						19,0	1,13					19,0	1,70					21,0	1,98			
20,0	0,91						20,0	1,15					20,0	1,66					22,0	1,98			
21,0	0,88						21,0	1,17					21,0	1,57					23,0	1,95			
22,0	0,90						22,0	1,28					22,0	1,48					24,0	1,90			
23,0	0,86						23,0	1,30					23,0	1,35					25,0	1,83			
24,0	0,87						24,0	1,31					24,0	1,25					26,0	1,79			
25,0	0,86						25,0	1,28					25,0	1,14					27,0	1,53			
26,0	0,87						26,0	1,29					26,0	0,82					28,0	1,00			
27,0	0,84						27,0	1,30					27,0	0,60					29,0	0,99			
28,0	0,87						28,0	1,34					28,0	0,56					30,0	0,92			
29,0	0,91						29,0	1,38					29,0	0,60					31,0	0,75			
Uwagi: Pomiar dnia 21.07.2008, godz. 14:50, zarastanie do 4,5 m oraz od 31 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 21.07.2008, godz. 16:25, zarastanie do 9,5 m oraz od 34,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 22.07.2008, godz. 11:00, zarastanie do 6,5 m oraz od 25 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 22.07.2008, godz. 14:35, zarastanie od 27,5 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste					

Tabela 8.46 Wyniki sondowania głębokości koryta rzecznego w przekrojach poprzecznych Biebrzy Dolnej i jej dopływów w dniach 19-23.07.2008 r.

Przekrój nr 15 BD_19_M						Kanał Rudzki Przekrój nr 1 KR_01			Klimaszewnica Przekrój nr 1 KLIMASZ_01			Kosódka Przekrój nr 1 KOSODKA_01			Wissa Przekrój nr 1 WISSA_01		
Odstęłość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odstęłość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odstęłość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odstęłość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odstęłość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi	Odstęłość pionu od „0” przekroju [m]	Głębokość h [m]	Uwagi
-1,0	-0,95	NPB	25,8	-0,43		-1,5	-1,50	NPB	0,0	-1,05	NPB	-0,9	-0,95	NPB	1,0	-1,10	NPB
0,0	-0,90		27,0	-0,67		0,0	-1,00		1,0	-0,84		0,3	-0,44		1,4	-0,90	
1,0	-0,72		30,0	-1,05	NPB	1,5	0/0,30	BL	2,0	-0,52		0,7	-0,34		1,5	0/0,89	BL
2,0	-0,44					2,0	1,05		2,6	0/0,07	BL	1,0	-0,10		2,0	0,95	
3,0	-0,17					3,0	1,25		3,0	0,07		1,3	0,00	BL	2,5	1,00	
4,0	0,00	BL				4,0	1,36		3,5	0,15		1,5	0,13		3,0	1,45	
5,0	0,91					5,0	1,37		4,0	0,15		2,0	0,35		3,5	1,52	
6,0	1,35					6,0	1,57		4,5	0,15		2,5	0,44		4,0	1,59	
7,0	1,45					7,0	1,33		5,0	0,21		3,0	0,50		4,5	1,59	
8,0	1,70					8,0	1,27		5,5	0,18		3,5	0,54		5,0	1,52	
9,0	1,65					9,0	1,15		5,6	0,00	BP	4,0	0,52		5,5	1,33	
10,0	1,63					10,0	0,92		6,0	-0,25		4,5	0,48		6,0	1,24	
11,0	1,66					11,0	0,00	BP	6,5	-0,85		5,0	0,44		6,5	1,07	
12,0	1,69					12,0	-0,75		7,0	-0,98		5,5	0,33		7,0	0,91	
13,0	1,66					13,5	-1,05	NPB	8,0	-1,10	NPB	6,0	0,28		7,5	0,60	
14,0	1,63											6,4	0,00	BP	8,0	0,00	BP
15,0	1,60											7,0	-0,42		8,5	-0,48	
16,0	1,58											7,5	-0,58	NPB	9,0	-0,81	
17,0	1,56														9,5	-1,01	
18,0	1,58														11,0	-1,15	NPB
19,0	1,60																
20,0	1,66																
21,0	1,58																
22,0	1,60																
23,0	1,51																
24,0	1,21																
25,0	0,95																
25,4	0,00	BP															
Uwagi: Pomiar dnia 22.07.2008, godz. 16:20, zarastanie od 24 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste						Uwagi: Pomiar dnia 19.07.2008, godz. 12:35, dno piaszczyste			Uwagi: Pomiar dnia 20.07.2008, godz. 19:25, zarastanie do 4 m, dno muliste			Uwagi: Pomiar dnia 20.07.2008, godz. 15:40, zarastanie w całym przekroju, dno muliste			Uwagi: Pomiar dnia 20.07.2008, godz. 16:20, zarastanie od 7 m, dno piaszczyste, w strefie zarastania dno muliste		

Tabela 8.47 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Biebrzy Dolnej (BD_00_M) w dniu 19.07.2008 r., godz. 10:45

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
P	2,15	0,001	P	3,72	0,013	P	4,02	0,011	P	3,87	0,110
0,8h	1,72	0,008	0,8h	2,98	0,031	0,8h	3,21	0,050	0,8h	3,09	0,124
0,4h	0,86	-0,002	0,4h	1,49	0,102	0,4h	1,60	0,141	0,4h	1,55	0,122
0,2h	0,43	0,019	0,2h	0,74	0,099	0,2h	0,80	0,170	0,2h	0,78	0,154
d	0,00	-0,003	d	0,00	0,005	d	0,00	0,073	d	0,00	0,112
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0054	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0615	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1000	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1268
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,019	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,102	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,170	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,154
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
P	3,98	0,220	P	4,35	0,159	P	4,44	0,044	P	3,23	0,082
0,8h	3,19	0,198	0,8h	3,48	0,105	0,8h	3,56	0,059	0,8h	2,58	-0,031
0,4h	1,60	0,155	0,4h	1,74	0,202	0,4h	1,78	0,050	0,4h	1,29	-0,005
0,2h	0,80	0,188	0,2h	0,87	0,132	0,2h	0,89	0,067	0,2h	0,65	-0,007
d	0,00	0,056	d	0,00	0,057	d	0,00	0,098	d	0,00	0,036
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1711	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1401	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0603	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		-0,0004
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,220	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,202	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,098	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,082
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]						
P	1,85	-0,005	P	0,68	0,016	0,0823		0,276			
0,8h	1,48	-0,007	0,8h	0,55	0,002						
0,4h	0,74	-0,006	0,6h	0,42	0,008						
0,2h	0,37	-0,006	0,4h	0,28	0,018						
d	0,00	0,276	0,2h	0,14	0,016						
			d	0,00	0,014						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,022	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0120						
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,276	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,018						

UWAGA: Ujemne prędkości oznaczają przepływ wody w kierunku przeciwnym do biegu rzeki („pod prąd”).

Tabela 8.48 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 2 Biebrzy Dolnej (BD_03_M) w dniu 19.07.2008 r., godz. 13:50

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
4			5			6			8		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	1,09	0,073	P	1,17	0,328	P	1,14	0,429	P	1,18	0,630
0,8h	0,88	0,116	0,8h	0,94	0,263	0,8h	0,92	0,388	0,8h	0,96	0,588
0,4h	0,44	0,143	0,4h	0,47	0,247	0,4h	0,46	0,478	0,4h	0,48	0,538
0,2h	0,22	0,091	0,2h	0,24	0,296	0,2h	0,23	0,446	0,2h	0,24	0,367
d	0,00	0,037	d	0,00	0,218	d	0,00	0,290	d	0,00	0,465
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,1069			0,2668			0,4209			0,5207		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,143			0,328			0,478			0,630		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
11			14			17			20		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	1,29	0,641	P	1,39	0,616	P	1,41	0,602	P	1,30	0,645
0,8h	1,04	0,628	0,8h	1,12	0,574	0,8h	1,13	0,551	0,8h	1,04	0,604
0,4h	0,52	0,552	0,4h	0,56	0,486	0,4h	0,57	0,359	0,4h	0,52	0,510
0,2h	0,26	0,444	0,2h	0,28	0,369	0,2h	0,28	0,284	0,2h	0,26	0,488
d	0,00	0,106	d	0,00	0,319	d	0,00	0,293	d	0,00	0,399
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,5175			0,4853			0,4193			0,5362		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,641			0,616			0,602			0,645		
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Pion hydrometryczny nr 11			Pion hydrometryczny nr 12		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
23			25			27			29		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	1,18	0,605	P	1,10	0,357	P	1,07	0,112	P	1,10	0,000
0,8h	0,95	0,593	0,8h	0,88	0,327	0,8h	0,86	0,090	0,8h	0,88	0,018
0,4h	0,48	0,561	0,4h	0,44	0,412	0,4h	0,43	0,066	0,4h	0,66	0,000
0,2h	0,24	0,498	0,2h	0,22	0,328	0,2h	0,22	0,042	0,4h	0,44	0,000
d	0,00	0,349	d	0,00	0,226	d	0,00	0,063	0,2h	0,22	0,000
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,5412			0,3456			0,0727			0,0068		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,605			0,412			0,112			0,018		
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
0,645			0,3951			0,645			0,645		

Tabela 8.49 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 3 Biebrzy Dolnej (BD_05_M) w dniu 19.07.2008 r., godz. 15:20

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 14			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 15			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 17			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 19		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,81	0,046	P	1,15	0,191	P	1,21	0,568	P	1,36	0,689
0,8h	0,64	0,103	0,8h	0,92	0,310	0,8h	0,96	0,533	0,8h	1,10	0,660
0,4h	0,32	0,173	0,4h	0,46	0,357	0,4h	0,48	0,600	0,4h	0,55	0,565
0,2h	0,16	0,059	0,2h	0,23	0,395	0,2h	0,24	0,520	0,2h	0,28	0,505
d	0,00	0,020	d	0,00	0,154	d	0,00	0,391	d	0,00	0,404
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1012			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,3136			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5398			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5778		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,173			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,395			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,600			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,689		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 22			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 25			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 27			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 28		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	1,56	0,653	P	1,65	0,656	P	1,82	0,616	P	1,84	0,383
0,8h	1,25	0,678	0,8h	1,32	0,628	0,8h	1,45	0,630	0,8h	1,48	0,417
0,4h	0,63	0,588	0,4h	0,66	0,552	0,4h	0,72	0,556	0,4h	0,74	0,455
0,2h	0,32	0,539	0,2h	0,33	0,494	0,2h	0,36	0,486	0,2h	0,37	0,425
d	0,00	0,385	d	0,00	0,453	d	0,00	0,255	d	0,00	0,415
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5914			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5637			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5401			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4264		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,678			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,656			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,630			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,455		
Pion hydrometryczny nr 9			Prędkość średnia ważona w przekroju V _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]					
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 30			0,4645			0,689					
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]										
P	0,81	0,173									
0,8h	0,64	0,226									
0,4h	0,32	0,260									
0,2h	0,16	0,266									
d	0,00	0,321									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,2484											
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,266											

Tabela 8.50 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 4 Biebrzy Dolnej (BD_06_M) w dniu 19.07.2008 r., godz. 17:00

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
3			4			6			9		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,118		P	0,238		P	0,417		P	0,643	
0,8h	0,024		0,8h	0,267		0,8h	0,467		0,8h	0,635	
0,4h	0,056		0,4h	0,127		0,4h	0,549		0,4h	0,705	
0,2h	0,000		0,2h	0,085		0,2h	0,464		0,2h	0,706	
d	0,002		d	0,042		d	0,127		d	0,029	
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,0360			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1632			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4520			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,6104		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,118			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,267			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,549			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,706		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
12			15			18			20		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,651		P	0,621		P	0,515		P	0,516	
0,8h	0,641		0,8h	0,651		0,8h	0,630		0,8h	0,530	
0,4h	0,601		0,4h	0,650		0,4h	0,628		0,4h	0,457	
0,2h	0,604		0,2h	0,574		0,2h	0,528		0,2h	0,414	
d	0,253		d	0,104		d	0,377		d	0,291	
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5838			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5776			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5722			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4596		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,651			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,651			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,630			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,530		
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	0,4564		0,706			
22			23								
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]							
P	0,339		0,8h	0,357							
0,8h	0,432		0,4h	0,336							
0,4h	0,382		0,2h	0,187							
0,2h	0,386										
d	0,322										
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,3885			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,3040								
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,432			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,357								

Tabela 8.51 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 5 Biebrzy Dolnej (BD_07_M) w dniu 20.07.2008 r., godz. 11:20

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]			Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]			Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]			Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]		
4			6			8			11		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,86	0,206	P	1,14	0,447	P	1,15	0,580	P	1,25	0,636
0,8h	0,70	0,272	0,8h	0,92	0,494	0,8h	0,92	0,627	0,8h	1,00	0,660
0,4h	0,35	0,303	0,4h	0,46	0,451	0,4h	0,46	0,592	0,4h	0,50	0,533
0,2h	0,18	0,286	0,2h	0,23	0,453	0,2h	0,23	0,550	0,2h	0,25	0,456
d	0,00	0,193	d	0,00	0,246	d	0,00	0,369	d	0,00	0,298
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2696	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4434	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5706	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5425
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,303	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,494	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,627	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,660
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]			Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]			Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]			Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]		
14			17			20			23		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	1,16	0,633	P	1,05	0,619	P	1,25	0,614	P	1,34	0,422
0,8h	0,93	0,695	0,8h	0,84	0,648	0,8h	1,00	0,620	0,8h	1,08	0,512
0,4h	0,47	0,623	0,4h	0,42	0,528	0,4h	0,50	0,520	0,4h	0,54	0,477
0,2h	0,24	0,534	0,2h	0,21	0,462	0,2h	0,25	0,438	0,2h	0,27	0,360
d	0,00	0,375	d	0,00	0,095	d	0,00	0,300	d	0,00	0,182
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,6345	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5166	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4910	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4291
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,695	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,648	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,620	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,512
Pion hydrometryczny nr 9			Prędkość średnia ważona w przekroju V _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]						
Odczytanie punktu od „0” przekroju [m]			25		0,695						
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]										
P	1,13	0,286									
0,8h	0,91	0,264									
0,4h	0,46	0,335									
0,2h	0,23	0,226									
d	0,00	0,109									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2644									
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,335	0,4685		0,695						

Tabela 8.52 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 6 Biebrzy Dolnej (BD_08_M) w dniu 20.07.2008 r., godz. 12:30

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4					
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]					
3			5			7			10					
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]				
P	1,72	0,229	P	1,85	0,449	P	1,72	0,506	P	1,50	0,510			
0,8h	1,37	0,225	0,8h	1,48	0,362	0,8h	1,37	0,468	0,8h	1,20	0,513			
0,4h	0,68	0,266	0,4h	0,74	0,456	0,4h	0,68	0,448	0,4h	0,60	0,412			
0,2h	0,34	0,287	0,2h	0,37	0,348	0,2h	0,34	0,401	0,2h	0,30	0,407			
d	0,00	0,130	d	0,00	0,166	d	0,00	0,236	d	0,00	0,259			
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2406	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3765	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4292	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4358			
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,287	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,456	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,506	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,513			
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8					
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]					
13			16			19			22					
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]				
P	1,43	0,486	P	1,28	0,487	P	1,19	0,398	P	1,45	0,201			
0,8h	1,15	0,501	0,8h	1,03	0,474	0,8h	0,96	0,431	0,8h	1,16	0,282			
0,4h	0,58	0,455	0,4h	0,52	0,434	0,4h	0,48	0,402	0,4h	0,58	0,203			
0,2h	0,29	0,392	0,2h	0,26	0,357	0,2h	0,24	0,401	0,2h	0,29	0,194			
d	0,00	0,288	d	0,00	0,407	d	0,00	0,182	d	0,00	0,094			
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4426	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4332	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3881	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2138			
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,501	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,487	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,431	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,282			
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Pion hydrometryczny nr 11			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹] 0,2943			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹] 0,513		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]								
25			27			30								
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]							
P	1,39	0,238	P	1,41	0,036	P	1,64	0,031						
0,8h	1,12	0,170	0,8h	1,12	0,089	0,8h	1,30	0,020						
0,4h	0,56	0,277	0,4h	0,84	0,070	0,4h	0,98	0,010						
0,2h	0,28	0,179	0,2h	0,56	0,051	0,2h	0,65	0,012						
d	0,00	0,129	d	0,28	0,026	d	0,33	0,004						
				0,00	0,028		0,00	0,025						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2066	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0625	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0168						
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,277	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,089	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,031						

Tabela 8.53 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 7 Biebrzy Dolnej (BD_09_M) w dniu 20.07.2008 r., godz. 13:55

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
P	1,94	0,000	P	2,28	0,129	P	2,22	0,425	P	1,65	0,578
0,8h	1,56	0,018	0,8h	1,84	0,245	0,8h	1,77	0,458	0,8h	1,32	0,508
0,4h	0,78	0,060	0,4h	0,92	0,256	0,4h	0,88	0,420	0,4h	0,66	0,443
0,2h	0,39	0,054	0,2h	0,46	0,228	0,2h	0,44	0,355	0,2h	0,33	0,436
d	0,00	0,015	d	0,00	0,120	d	0,00	0,261	d	0,00	0,282
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0357	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2208	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4030	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4585
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,060	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,256	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,458	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,578
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
P	1,24	0,492	P	1,15	0,615	P	1,24	0,540	P	1,17	0,546
0,8h	1,00	0,500	0,8h	0,92	0,540	0,8h	1,00	0,606	0,8h	0,95	0,513
0,4h	0,50	0,487	0,4h	0,46	0,498	0,4h	0,50	0,536	0,4h	0,48	0,508
0,2h	0,25	0,392	0,2h	0,23	0,487	0,2h	0,25	0,490	0,2h	0,24	0,477
d	0,00	0,302	d	0,00	0,249	d	0,00	0,378	d	0,00	0,298
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4539	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4952	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5324	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4861
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,500	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,615	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,606	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,546
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	0,3817		0,615			
P	1,04	0,360	P	0,75	0,231						
0,8h	0,84	0,346	0,8h	0,60	0,285						
0,4h	0,42	0,240	0,4h	0,30	0,204						
0,2h	0,21	0,320	0,2h	0,15	0,138						
d	0,00	0,170	d	0,00	0,082						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2928	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2054						
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,360	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,285						

Tabela 8.54 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 8 Biebrzy Dolnej (BD_11_M) w dniu 20.07.2008 r., godz. 17:00

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
6			8			10			12		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	1,25	0,065	P	1,74	0,330	P	1,68	0,478	P	1,68	0,556
0,8h	1,00	0,061	0,8h	1,40	0,282	0,8h	1,35	0,446	0,8h	1,35	0,516
0,4h	0,50	0,031	0,4h	0,70	0,320	0,4h	0,68	0,422	0,4h	0,68	0,410
0,2h	0,25	0,076	0,2h	0,35	0,319	0,2h	0,34	0,375	0,2h	0,34	0,373
d	0,00	0,047	d	0,00	0,214	d	0,00	0,166	d	0,00	0,177
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,0540			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,2988			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,3998			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4257		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,076			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,330			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,478			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,556		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
15			18			21			24		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	1,46	0,588	P	1,46	0,603	P	1,41	0,553	P	1,38	0,409
0,8h	1,17	0,560	0,8h	1,17	0,603	0,8h	1,12	0,591	0,8h	1,12	0,459
0,4h	0,59	0,526	0,4h	0,59	0,538	0,4h	0,56	0,483	0,4h	0,56	0,463
0,2h	0,29	0,470	0,2h	0,29	0,538	0,2h	0,28	0,530	0,2h	0,28	0,397
d	0,00	0,372	d	0,00	0,341	d	0,00	0,372	d	0,00	0,220
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5158			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5443			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,5207			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4189		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,588			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,603			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,591			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,463		
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			0,3816			0,603		
26			27								
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]							
P	0,96	0,159	P	0,63	0,105						
0,8h	0,77	0,222	0,8h	0,50	0,061						
0,6h	0,59	0,220	0,6h	0,38	0,068						
0,4h	0,39	0,146	0,4h	0,25	0,105						
0,2h	0,20	0,081	0,2h	0,13	0,069						
d	0,00	0,019	d	0,00	0,014						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1738			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,0786								
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,222			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,105								

Tabela 8.55 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 9 Biebrzy Dolnej (BD_13_M) w dniu 21.07.2008 r., godz. 11:55

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
5			7			9			12		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
Głębokość pionu h [m]	P	1,05	Głębokość pionu h [m]	P	1,35	Głębokość pionu h [m]	P	1,35	Głębokość pionu h [m]	P	1,46
	0,8h	0,84		0,8h	1,08		0,8h	1,08		0,8h	1,18
	0,4h	0,42		0,4h	0,54		0,4h	0,54		0,4h	0,59
	0,2h	0,21		0,2h	0,27		0,2h	0,27		0,2h	0,29
	d	0,00		d	0,00		d	0,00		d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,0611			0,3176			0,4525			0,4967		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,085			0,371			0,490			0,534		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
15			18			21			23		
Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]			Prędkości [m·s ⁻¹]		
Głębokość pionu h [m]	P	1,55	Głębokość pionu h [m]	P	1,65	Głębokość pionu h [m]	P	1,73	Głębokość pionu h [m]	P	1,67
	0,8h	1,24		0,8h	1,32		0,8h	1,38		0,8h	1,34
	0,4h	0,62		0,4h	0,66		0,4h	0,69		0,4h	0,67
	0,2h	0,31		0,2h	0,33		0,2h	0,35		0,2h	0,34
	d	0,00		d	0,00		d	0,00		d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		
0,5575			0,5232			0,4651			0,3393		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		
0,610			0,604			0,514			0,389		
Pion hydrometryczny nr 9			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]						
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			25		0,610						
Prędkości [m·s ⁻¹]											
Głębokość pionu h [m]	P	1,70									
	0,8h	1,36									
	0,4h	0,68									
	0,2h	0,34									
	d	0,00									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			0,3887		0,610						
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			0,127		0,610						
			0,115								
			0,099								
			0,038								
			0,033								
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			0,0878								
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			0,127								

Tabela 8.56 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 10 Biebrzy Dolnej (BD_14_M) w dniu 21.07.2008 r., godz. 13:15

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	1,90	Głębokość pionu h [m]	P	2,75	Głębokość pionu h [m]	P	2,69	Głębokość pionu h [m]	P	2,56
	0,8h	-0,085		0,8h	2,20		0,8h	2,16		0,8h	2,04
	0,4h	-0,059		0,4h	1,10		0,4h	1,08		0,4h	1,02
	0,2h	-0,019		0,2h	0,55		0,2h	0,54		0,2h	0,51
	d	0,000		d	0,00		d	0,00		d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		-0,0471	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2883	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4377	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3994
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		-0,085	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,404	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,470	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,459
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	2,12	Głębokość pionu h [m]	P	1,86	Głębokość pionu h [m]	P	1,97	Głębokość pionu h [m]	P	1,36
	0,8h	0,442		0,8h	1,48		0,8h	1,57		0,8h	1,08
	0,4h	0,465		0,4h	0,74		0,4h	0,79		0,4h	0,54
	0,2h	0,430		0,2h	0,37		0,2h	0,40		0,2h	0,27
	d	0,396		d	0,00		d	0,00		d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,129	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,188	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,206	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,192
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,4048	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,3451	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,2996	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,2457
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,465	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,419	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,319	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,277
Pion hydrometryczny nr 9			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		0,3090	Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		0,470			
Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]			Prędkości [m·s ⁻¹]					
Głębokość pionu h [m]	P	24	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		16	Odlęgłość pionu od „0” przekroju [m]		8			
	0,8h	0,048			0,384			0,438			
	0,4h	0,048			0,419			0,464			
	0,2h	0,050			0,356			0,470			
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0485			0,277			0,417			
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,050			0,188			0,303			

Tabela 8.57 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 11 Biebrzy Dolnej (BD_15_M) w dniu 21.07.2008 r., godz. 14:50

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
5			7			10			13		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	0,99	0,152	P	1,13	0,385	P	1,18	0,621	P	1,16	0,642
0,8h	0,80	0,169	0,8h	0,91	0,380	0,8h	0,95	0,630	0,8h	0,92	0,643
0,4h	0,40	0,109	0,4h	0,46	0,426	0,4h	0,48	0,578	0,4h	0,46	0,601
0,2h	0,20	0,066	0,2h	0,23	0,313	0,2h	0,24	0,470	0,2h	0,23	0,517
d	0,00	0,037	d	0,00	0,295	d	0,00	0,058	d	0,00	0,186
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1155	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3724	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5243	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5594
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,169	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,426	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,630	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,643
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]		
16			19			23			27		
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	
P	1,07	0,670	P	0,90	0,643	P	0,86	0,654	P	0,84	0,643
0,8h	0,85	0,713	0,8h	0,72	0,696	0,8h	0,70	0,686	0,8h	0,68	0,616
0,4h	0,42	0,636	0,4h	0,36	0,630	0,4h	0,35	0,613	0,4h	0,34	0,610
0,2h	0,21	0,495	0,2h	0,18	0,536	0,2h	0,18	0,542	0,2h	0,17	0,531
d	0,00	0,170	d	0,00	0,449	d	0,00	0,370	d	0,00	0,300
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5877	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,6143	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,6005	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5683
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,713	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,696	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,686	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,643
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Pion hydrometryczny nr 11					
Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]			Odległość pionu od „0” przekroju [m]					
30			32			35					
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]		Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]				
P	0,91	0,359	P	0,61	0,128	P	0,66	0,044			
0,8h	0,72	0,396	0,8h	0,48	0,119	0,8h	0,52	0,048			
0,4h	0,36	0,438	0,6h	0,36	0,112	0,6h	0,39	0,078			
0,2h	0,18	0,387	0,4h	0,24	0,078	0,4h	0,26	0,074			
d	0,00	0,226	0,2h	0,12	0,070	0,2h	0,13	0,056			
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3861	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1073	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0717			
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,438	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,128	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,113			
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]					
0,4429			0,713			0,713					
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]					
0,643			0,643			0,643					

Tabela 8.58 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 12 Biebrzy Dolnej (BD_16_M) w dniu 21.07.2008 r., godz. 16:25

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	5	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	8	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	10	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	12
P	0,78	0,086	P	1,20	0,126	P	1,26	0,306	P	1,36	0,487
0,8h	0,62	0,043	0,8h	0,96	0,164	0,8h	1,00	0,195	0,8h	1,08	0,475
0,6h	0,46	0,031	0,6h	0,72	0,143	0,4h	0,50	0,239	0,4h	0,54	0,381
0,4h	0,32	0,041	0,4h	0,48	0,123	0,2h	0,25	0,189	0,2h	0,27	0,377
0,2h	0,16	0,046	0,2h	0,24	0,086	d	0,00	0,176	d	0,00	0,031
d	0,00	0,016	d	0,00	0,025						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0467	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1347	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2162	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3840
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,086	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,164	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,306	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,487
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	15	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	19	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	22	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	26
P	1,16	0,531	P	1,13	0,625	P	1,28	0,593	P	1,29	0,577
0,8h	0,92	0,553	0,8h	0,92	0,645	0,8h	1,03	0,611	0,8h	1,04	0,566
0,4h	0,46	0,548	0,4h	0,46	0,540	0,4h	0,52	0,491	0,4h	0,52	0,516
0,2h	0,23	0,456	0,2h	0,23	0,546	0,2h	0,26	0,472	0,2h	0,26	0,499
d	0,00	0,355	d	0,00	0,331	d	0,00	0,310	d	0,00	0,273
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5101	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5603	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5153	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5094
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,553	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,645	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,611	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,577
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Pion hydrometryczny nr 11			Pion hydrometryczny nr 12		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	29	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	32	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	34	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	35
P	1,38	0,368	P	1,61	0,206	P	1,47	0,268	P	0,90	0,051
0,8h	1,11	0,439	0,8h	1,28	0,213	0,8h	1,18	0,186	0,8h	0,72	0,093
0,4h	0,56	0,433	0,4h	0,64	0,046	0,4h	0,60	0,218	0,6h	0,54	0,100
0,2h	0,28	0,368	0,2h	0,32	0,112	0,2h	0,30	0,138	0,4h	0,36	0,058
d	0,00	0,245	d	0,00	0,058	d	0,00	0,041	0,2h	0,18	0,095
									d	0,00	0,009
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3965	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1265	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1797	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0845
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,439	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,213	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,268	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,100
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			0,3407			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			0,645		

Tabela 8.59 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 13 Biebrzy Dolnej (BD_17_M) w dniu 22.07.2008 r., godz. 11:00

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
P	1,02	0,107	P	1,28	0,406	P	1,36	0,528	P	1,59	0,678
0,8h	0,81	0,102	0,8h	1,03	0,443	0,8h	1,08	0,596	0,8h	1,28	0,658
0,6h	0,61	0,075	0,4h	0,52	0,503	0,4h	0,54	0,630	0,4h	0,64	0,627
0,4h	0,40	0,031	0,2h	0,26	0,410	0,2h	0,27	0,588	0,2h	0,32	0,553
0,2h	0,20	0,020	d	0,00	0,316	d	0,00	0,423	d	0,00	0,327
d	0,00	0,006									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0671	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4380	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5805	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5966
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,107	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,503	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,630	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,678
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
P	1,73	0,683	P	1,70	0,610	P	1,48	0,489	P	1,25	0,356
0,8h	1,36	0,661	0,8h	1,36	0,658	0,8h	1,19	0,425	0,8h	1,00	0,310
0,4h	0,68	0,622	0,4h	0,68	0,480	0,4h	0,60	0,345	0,4h	0,50	0,191
0,2h	0,35	0,513	0,2h	0,34	0,396	0,2h	0,30	0,145	0,2h	0,25	0,088
d	0,00	0,368	d	0,00	0,032	d	0,00	0,042	d	0,00	0,023
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5926	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4848	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3131	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2058
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,683	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,658	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,489	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,356
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	0,4002		0,683			
P	0,82	0,155	P	0,60	0,046						
0,8h	0,65	0,127	0,8h	0,48	0,047						
0,6h	0,48	0,024	0,6h	0,36	0,010						
0,4h	0,32	0,024	0,4h	0,24	0,005						
0,2h	0,16	0,025	0,2h	0,12	0,020						
d	0,00	0,073	d	0,00	0,000						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0755	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0257						
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,155	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,047						

Tabela 8.60 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 14 Biebrzy Dolnej (BD_18_M) w dniu 22.07.2008 r., godz. 14:35

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 9			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 11			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 13			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 15		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	0,90	0,165	P	1,20	0,363	P	1,86	0,411	P	1,99	0,490
0,8h	0,72	0,159	0,8h	0,96	0,370	0,8h	1,48	0,475	0,8h	1,60	0,536
0,4h	0,36	0,117	0,4h	0,48	0,325	0,4h	0,74	0,543	0,4h	0,80	0,555
0,2h	0,18	0,179	0,2h	0,24	0,200	0,2h	0,37	0,453	0,2h	0,40	0,469
d	0,00	0,093	d	0,00	0,196	d	0,00	0,317	d	0,00	0,267
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1444			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,3044			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4688			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4968		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,179			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,370			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,543			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,555		
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 19			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 22			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 25			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 27		
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	2,02	0,566	P	1,98	0,468	P	1,83	0,355	P	1,53	0,203
0,8h	1,61	0,574	0,8h	1,59	0,510	0,8h	1,45	0,325	0,8h	1,22	0,165
0,4h	0,80	0,456	0,4h	0,80	0,454	0,4h	0,72	0,243	0,4h	0,61	0,118
0,2h	0,40	0,412	0,2h	0,40	0,394	0,2h	0,37	0,216	0,2h	0,31	0,085
d	0,00	0,330	d	0,00	0,283	d	0,00	0,123	d	0,00	0,020
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4810			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,4431			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,2614			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,1242		
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,574			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,510			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,355			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,203		
Pion hydrometryczny nr 9			Pion hydrometryczny nr 10			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			
Odległość pionu od „0” przekroju [m] 29			Odległość pionu od „0” przekroju [m] 32			0,3344		0,574			
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]								
P	0,99	0,041	P	0,60	0,035						
0,8h	0,80	0,025	0,8h	0,48	0,027						
0,6h	0,60	0,032	0,6h	0,36	0,030						
0,4h	0,40	0,037	0,4h	0,24	0,022						
0,2h	0,20	0,034	0,2h	0,12	0,008						
d	0,00	0,013	d	0,00	0,018						
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,0335			Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹] 0,0254								
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,041			Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹] 0,035								

Tabela 8.61 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 15 Biebrzy Dolnej (BD_19_M) w dniu 22.07.2008 r., godz. 16:20

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	0,91	0,270	P	1,45	0,319	P	1,65	0,452	P	1,69	0,556
0,8h	0,72	0,279	0,8h	1,16	0,316	0,8h	1,32	0,479	0,8h	1,36	0,590
0,4h	0,36	0,273	0,4h	0,58	0,277	0,4h	0,66	0,508	0,4h	0,68	0,557
0,2h	0,18	0,233	0,2h	0,29	0,288	0,2h	0,33	0,459	0,2h	0,34	0,494
d	0,00	0,099	d	0,00	0,219	d	0,00	0,279	d	0,00	0,056
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2491	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2893	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4610	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5041
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,279	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,319	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,508	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,590
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]			Głębokość pionu h [m]		
P	1,60	0,591	P	1,55	0,618	P	1,66	0,494	P	1,60	0,252
0,8h	1,28	0,603	0,8h	1,24	0,643	0,8h	1,32	0,517	0,8h	1,28	0,269
0,4h	0,64	0,526	0,4h	0,62	0,638	0,4h	0,66	0,468	0,4h	0,64	0,273
0,2h	0,32	0,467	0,2h	0,31	0,544	0,2h	0,33	0,421	0,2h	0,32	0,314
d	0,00	0,397	d	0,00	0,362	d	0,00	0,269	d	0,00	0,211
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5309	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5911	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,4560	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2717
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,603	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,643	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,517	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,314
Pion hydrometryczny nr 9			Prędkość średnia ważona w przekroju V _{sr} [m·s ⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju V _{max} [m·s ⁻¹]						
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	0,4130		0,643						
Głębokość pionu h [m]											
P	1,21	0,180									
0,8h	0,96	0,078									
0,6h	0,72	0,084									
0,4h	0,48	0,113									
0,2h	0,24	0,134									
d	0,00	0,021									
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,1097									
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,180									

Tabela 8.62 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Kanału Rudzkiego (KR_01) w dniu 19.07.2008 r., godz. 12:35

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	0,183	Głębokość pionu h [m]	P	0,397	Głębokość pionu h [m]	P	1,37	Głębokość pionu h [m]	P	1,57
	0,8h	0,255		0,8h	0,386		0,8h	1,08		0,8h	1,25
	0,4h	0,269		0,4h	0,394		0,4h	0,54		0,4h	0,62
	0,2h	0,296		0,2h	0,355		0,2h	0,27		0,2h	0,31
	d	0,139		d	0,173		d	0,00		d	0,00
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,2486	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3620	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5148	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5405
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,296	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,397	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,596	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,618
Pion hydrometryczny nr 5			Pion hydrometryczny nr 6			Pion hydrometryczny nr 7			Pion hydrometryczny nr 8		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	0,476	Głębokość pionu h [m]	P	0,291	Głębokość pionu h [m]	P	0,92	Głębokość pionu h [m]	P	0,000
	0,8h	0,558		0,8h	0,314		0,8h	0,74		0,8h	0,000
	0,4h	0,566		0,4h	0,443		0,4h	0,37		0,4h	0,033
	0,2h	0,496		0,2h	0,415		0,2h	0,18		0,2h	0,091
	d	0,349		d	0,300		d	0,00		d	0,018
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,5189	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,3692	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0299	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,091
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,566	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,443	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,091	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,091
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		
0,3758			0,3758			0,3758			0,3758		
Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
0,618			0,618			0,618			0,618		

Tabela 8.63 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Kosódki (KOSODKA_01) w dniu 20.07.2008 r., godz. 15:40

Pion hydrometryczny nr 1			Pion hydrometryczny nr 2			Pion hydrometryczny nr 3			Pion hydrometryczny nr 4		
Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]	Odległość pionu od „0” przekroju [m]		Prędkości [m·s ⁻¹]
Głębokość pionu h [m]	P	0,032	Głębokość pionu h [m]	P	0,056	Głębokość pionu h [m]	P	0,021	Głębokość pionu h [m]	P	0,027
	0,85h	0,030		0,85h	0,053		0,85h	0,41		0,85h	0,28
	0,5h	0,030		0,5h	0,053		0,5h	0,24		0,5h	0,16
	0,15h	0,015		0,15h	0,010		0,15h	0,07		0,15h	0,05
Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0257	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0397	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0287	Prędkość średnia ważona [m·s ⁻¹]		0,0273
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,032	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,056	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,036	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]		0,028
Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]			Prędkość średnia ważona w przekroju v _{sr} [m·s ⁻¹]		
0,032			0,032			0,032			0,032		
Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]			Prędkość maksymalna w przekroju v _{max} [m·s ⁻¹]		
0,056			0,056			0,056			0,056		

Tabela 8.64 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Klimaszewicy (KLIMASZ_01) w dniu 20.07.2008 r., godz. 19:25

Pion hydrometryczny nr 1		Pion hydrometryczny nr 2		Pion hydrometryczny nr 3		Pion hydrometryczny nr 4	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	3	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	3,5	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	4	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	4,5
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]
0,5h	0,04	0,071	0,09	0,049	0,162	0,5h	0,09
Prędkość średnia/maks. [m·s ⁻¹]	0,071	0,071	Prędkość średnia/maks. [m·s ⁻¹]	0,049	0,162	Prędkość średnia/maks. [m·s ⁻¹]	0,155
Pion hydrometryczny nr 5		Prędkość średnia wazona w przekroju v_{sr} [m·s⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v_{max} [m·s⁻¹]			
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	5						
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]						
0,8h	0,16						
0,4h	0,08						
0,2h	0,04						
Prędkość średnia wazona [m·s ⁻¹]	0,2472						
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,291						
		0,1282				0,291	

Tabela 8.65 Wyniki pomiarów prędkości przepływu wody w przekroju nr 1 Wiszy (WISSA_01) w dniu 20.07.2008 r., godz. 16:20

Pion hydrometryczny nr 1		Pion hydrometryczny nr 2		Pion hydrometryczny nr 3		Pion hydrometryczny nr 4	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	2	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	3	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	4	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	5
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]
P	0,95	1,45	0,085	P	1,59	1,52	0,157
0,8h	0,76	1,16	0,157	0,8h	1,28	1,21	0,158
0,4h	0,38	0,58	0,165	0,4h	0,64	0,60	0,157
0,2h	0,19	0,29	0,057	0,2h	0,32	0,30	0,121
d	0,00	0,00	0,018	d	0,00	0,00	0,090
Prędkość średnia wazona [m·s ⁻¹]	0,0833	Prędkość średnia wazona [m·s ⁻¹]	0,1183	Prędkość średnia wazona [m·s ⁻¹]	0,1338	Prędkość średnia wazona [m·s ⁻¹]	0,1434
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,113	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,165	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,142	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,158
Pion hydrometryczny nr 5		Pion hydrometryczny nr 6		Prędkość średnia wazona w przekroju v_{sr} [m·s⁻¹]		Prędkość maksymalna w przekroju v_{max} [m·s⁻¹]	
Odległość pionu od „0” przekroju [m]	6	Odległość pionu od „0” przekroju [m]	7				
Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]	Głębokość pionu h [m]	Prędkości [m·s ⁻¹]				
P	1,25	0,91	0,052				
0,8h	1,00	0,72	0,049				
0,4h	0,50	0,36	0,030				
0,2h	0,25	0,18	0,019				
d	0,00	0,00	0,022				
Prędkość średnia wazona [m·s ⁻¹]	0,0921	Prędkość średnia wazona [m·s ⁻¹]	0,0349				
Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,115	Prędkość maksymalna [m·s ⁻¹]	0,052				
				0,1020		0,165	

Tabela 8.66 Wyniki pomiarów wysokości zwierciadła wody n.p.m. w basenie Biebrzy Dolnej w dniach 19-22.07.2008 r.

Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne Układ 1965		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]	Punkt pomiarowy	Km biegu Biebrzy od ujścia do Narwi [m]	Współrzędne geograficzne Układ 1965		Poziom zwierciadła wody H [m n.p.m.]
		X	Y				X	Y	
19 lipca, pomiary od godz. 10:30 do godz. 18:30									
ZW_1	51322,9	5859686,57	4678231,98	106,003	ZW_101	38583,4	5853869,02	4671915,56	104,263
BD_00_M	50670,0	5859572,21	4677761,06	105,984	ZW_102_1	36386,2	5853229,30	4672178,04	103,934
ZW_2	49938,6	5859063,12	4677281,42	105,859	BD_07_M	35761,5	5852803,99	4672354,24	103,857
ZW_3	49318,6	5858659,27	4676971,20	105,798	ZW_103	34984,4	5852248,19	4672188,51	103,743
ZW_4	48812,6	5858204,69	4676760,40	105,733	ZW_104	34016,1	5851744,14	4671853,32	103,659
ZW_5	48190,3	5857814,10	4676345,16	105,660	ZW_105	33107,8	5851178,35	4672261,80	103,618
BD_03_M	47765,5	5857831,90	4675948,51	105,631	BD_08_M	32594,0	5850790,24	4672056,89	103,603
ZW_6	47075,7	5857469,27	4675402,86	105,546	ZW_106	31789,9	5850282,59	4671681,14	103,587
ZW_7	45924,7	5857289,90	4674640,10	105,407	ZW_107	30950,8	5849821,71	4671183,85	103,526
ZW_8	45160,4	5856893,23	4674186,21	105,292	BD_09_M	30242,6	5849342,08	4671000,26	103,448
ZW_9	44315,1	5856370,47	4674043,22	105,159	ZW_108	29138,6	5848658,27	4670975,80	103,291
ZW_10	43227,8	5855762,13	4674019,93	104,936	ZW_109	28389,5	5848046,35	4670955,66	103,151
BD_05_M	42623,5	5855353,38	4673895,47	104,886	ZW_110	27202,2	5847813,77	4670326,79	102,889
ZW_11	41819,2	5855041,40	4673515,00	104,741	ZW_111	26624,6	5847398,04	4670129,84	102,862
ZW_12	40433,5	5855051,68	4672734,35	104,520	ZW_112	25062,8	5846889,86	4670022,46	102,490
ZW_13	39828,7	5854642,09	4672311,91	104,464	ZW_113	24172,3	5846392,79	4669740,11	102,279
ZW_14	39164,8	5854233,14	4671884,43	104,348	ZW_114	22775,3	5846220,99	4669328,44	102,068
BD_06_M	38583,8	5853868,30	4671914,77	104,269	BD_11_M	22590,7	5846054,10	4669244,65	102,059
21 lipca, pomiary od godz. 10:00 do godz. 18:00									
ZW_201	21785,2	5845694,40	4669237,20	101,978	ZW_207	15207,3	5841980,48	4667448,66	101,264
ZW_202	20977,9	5845114,24	4669365,15	101,899	ZW_208	14498,4	5841399,06	4667352,96	101,121
ZW_203	20296,5	5844511,53	4669216,98	101,864	ZW_209	13874,4	5840797,19	4667301,10	101,006
BD_13_M	19909,2	5844307,17	4668904,09	101,831	BD_15_M	13441,9	5840364,58	4667311,01	100,950
ZW_204	18863,2	5843676,09	4668679,95	101,682	ZW_210	12352,4	5839570,80	4667395,23	100,835
ZW_205	17603,1	5843406,06	4668137,57	101,529	ZW_211	11699,5	5838962,93	4667541,51	100,782
ZW_206	16433,5	5842967,44	4667681,73	101,393	ZW_212	10843,9	5838260,08	4667431,80	100,707
BD_14_M	15954,4	5842525,45	4667546,58	101,354	BD_16_M	10541,9	5837973,18	4667514,76	100,680
22 lipca, pomiary od godz. 9:00 do godz. 18:00									
ZW_301	9027,7	5837234,11	4667327,33	100,589	BD_18_M	5321,9	5834570,74	4666488,71	100,126
BD_17_M	8278,0	5836779,63	4666903,65	100,543	ZW_304	4262,7	5833781,15	4666323,59	99,994
ZW_302	7537,5	5836075,83	4666916,32	100,472	BD_19_M	3261,4	5833348,70	4665978,51	99,919
ZW_303	6609,1	5835398,74	4666638,88	100,372	ZW_305	2653,5	5832800,66	4665760,64	99,825