



Ocena ładunków związków biogenych wmywanych ze zlewni rzeki Główniej w latach 1996-2009

Mariusz Sojka, Joanna Jaskuła, Joanna Wicher-Dysarz
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

1. Wstęp

Stan jakości wód powierzchniowych odzwierciedla przebieg procesów naturalnych zachodzących w zlewni oraz oddziaływanie czynników antropogenicznych. Szczególnie niebezpieczny dla środowiska wodnego jest dopływ związków azotu i fosforu (Kanclerz i in. 2010, Kowalik i in. 2014, Sojka 2009, Sojka i in. 2008). Związki azotu i fosforu trafiają do wód ze źródeł punktowych (przemysł, gospodarka komunalna) oraz obszarowych, które utożsamiane są z działalnością rolniczą (Policht-Latawiec i in. 2014, Pulikowski i in. 2012, Smoroń & Twardy 2004). Na ilość wmywanych ze zlewni związków biogenych wpływ mają zarówno czynniki naturalne jak i antropogeniczne, między innymi: ukształtowanie terenu, budowa geologiczna, rodzaj i gatunek gleb, warunki klimatyczne i hydrologiczne oraz sposób użytkowania i zagospodarowania terenu (Bogdał & Ostrowski 2007, Krasowska & Banaszuk 2011, Liberacki & Szafranski 2008). Nadmierna ich zawartość w wodach powierzchniowych może prowadzić do eutrofizacji, deficytu tlenowego, a także rozwoju organizmów stwarzających niebezpieczeństwo dla zdrowia ludzi (Spiess 2011, Szczykowska & Siemieniuk 2011).

Zasoby wodne w Polsce kształtowane są głównie na obszarach rolniczych, które stanowią 45% powierzchni kraju (2014 r.). Na obszarach tych występują pewne problemy, które związane są z brakiem kontroli w zarządzaniu składnikami nawozowymi i środkami ochrony roślin

oraz nieprawidłowo prowadzonymi zabiegami agrotechnicznymi, co w konsekwencji prowadzi do degradacji wód powierzchniowych (Marcinkowski 2014).

Problemy związane z nadmierną dostawą związków biogenych do wód powierzchniowych dostrzegane były w Europie już w XX wieku. Świadczy o tym opracowanie Dyrektywy Azotanowej (Dyrektywa...1991) oraz podjęcie na forum Wspólnot Europejskich dyskusji na temat postępującej degradacji wód. Efektem tych prac było opracowanie w 2000 roku Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW) ustanawiającej ramy działania w dziedzinie polityki wodnej zmierzające do lepszej ochrony wód poprzez wprowadzenie wspólnej europejskiej polityki wodnej. Polska po przystąpieniu do UE przystąpiła do transpozycji zapisów RDW do prawodawstwa krajowego. Dodatkowo w celu ochrony wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniami pochodzącymi ze źródeł rolniczych, opracowano Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej (Kodeks...2004) (Kiryluk & Rauba 2011). Dla ochrony wód powierzchniowych przed degradacją konieczne jest nie tylko podejmowanie działań prewencyjnych zmierzających do ograniczenia wprowadzania tych składników do środowiska. Ważne też jest poznanie procesu migracji zanieczyszczeń do wód (Krasowska & Banaszuk 2011). W ostatnich latach jakość wód powierzchniowych ulega poprawie w wyniku uporządkowania gospodarki wodno-ściekowej oraz zmian zachodzących w rolnictwie (Durkowski i in. 2006).

Celem pracy była ocena ładunków związków azotu i fosforu wymywanych ze zlewni rzeki Główniej w latach 1996-2009. W pracy zostały obliczone roczne i półroczne ładunki związków azotu i fosforu, które przeanalizowano na tle warunków hydrometeorologicznych, zmian sposobu użytkowania i zagospodarowania terenu oraz stanu gospodarki wodno-ściekowej. Dodatkowym celem pracy była ocena zewnętrznego obciążenia zbiornika retencyjnego Jezioro Kowalskie zlokalizowanego w analizowanej zlewni ładunkami azotu i fosforu całkowitego.

2. Materiały i metody

W pracy wykorzystano wyniki analiz laboratoryjnych udostępnione przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu. Próbkę wody z rzeki Główniej w profilu Poznań zlokalizowanym w 0+100 km pobierane były systematycznie z częstotliwością jeden raz w miesiącu. Łącznie w latach 1996-2009 pobrano 174 próbki wody. Ilość

oznaczanych parametrów jakości wody w poszczególnych latach wynosiła od 35 do 64. W pracy wykorzystano tylko oznaczenia zawartości związków azotu i fosforu. Analizy laboratoryjne wykonywane były następującymi metodami: miareczkową – azot amonowy i azot Kjeldahla, chromatografii jonowej (IC) – azot azotanowy, spektrofotometryczną – fosforany i fosfor ogólny oraz obliczeniową – azot ogólny.

Charakterystykę warunków meteorologicznych pod względem temperatur powietrza i opadów atmosferycznych wykonano na podstawie danych udostępnionych na stronie www.freemeto.pl.

Charakterystykę warunków hydrologicznych rzeki Głównej przeprowadzono na podstawie danych o codziennych stanach i przepływach wody rzeki Głównej w profilu Wierzenica, który zlokalizowany jest w 9+400 km. Dane te udostępnione zostały przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Poznaniu (IMGW-PIB). Do realizacji założonych w pracy celów konieczne było przeliczenie przepływów z profilu Wierzenica do profilu Poznań. W tym celu wykorzystano metodę podobieństwa hydrologicznego. Na podstawie codziennych przepływów w profilu Poznań obliczono wartości charakterystyczne miesięczne, półroczne i roczne.

W pierwszym etapie analizy określono charakterystyczne stężenia związków biogenych w profilu Poznań. Następnie dokonano oceny jakości wód rzeki Głównej pod kątem zawartości związków biogenych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie (Rozporządzenie...2014). W drugim etapie obliczono jednostkowe miesięczne, półroczne i roczne ładunki związków azotu i fosforu wymywane ze zlewni metodą statystyczną (Littlewood i Marsh 2004). Ładunki obliczono na podstawie codziennych przepływów rzeki Głównej oraz miesięcznych stężeń w dniach poboru próbek wody. Następnie na podstawie obliczonych ładunków jednostkowych azotu i fosforu ogólnego oszacowano obciążenie zbiornika retencyjnego jezioro Kowalskie tymi pierwiastkami. Uzyskane wartości porównano z wartościami ładunków dopuszczalnych i niebezpiecznych podanych przez Vollenweidera (1976).

Zmiany sposobu użytkowania i zagospodarowania w zlewni określono na podstawie bazy danych Corine Land Cover (CLC) Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOS). Analizę sposobu użytkowania wykonano za pomocą programu ArcGIS (9.3). Punktowe źródła zanieczyszczeń, stan gospodarki wodno-ściekowej, zużycie nawozów sztucznych oraz pogłowie zwierząt gospodarskich na terenie zlewni scharakte-

ryzowano na podstawie danych udostępnionych przez Główny Urząd Statystyczny oraz Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska.

3. Wyniki i dyskusja

Zlewnia rzeki Głównej zlokalizowana jest na Pojezierzu Wielkopolskim, w mezoregionie Równiny Wrzesińskiej i Pojezierza Gnieźnieńskiego (Kondracki 2002).

Pole powierzchni zlewni wynosi 235,81 km², a długość rzeki wynosi 43 km. Rzeka uchodzi bezpośrednio do rzeki Warty w km 240. Według Rastrowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP) w skali 1:50000 (KZGW, 2010) zlewnia rzeki Głównej została oznaczona kodem 18592. Do celów monitoringu w zlewni rzeki Głównej wyznaczono dwie jednolite części wód powierzchniowych (JCWP). Od źródła, Jeziora Lednickiego, do sztucznego zbiornika Jezioro Kowalskie, rzeka Główna jest ciekim łączącym jeziora (PLRW600025185925). Poniżej zbiornika aż do ujścia do Warty jest ciekim o typie nieokreślonym (PLRW600001859299).

Podstawowym użytkownikiem zbiornika Jezioro Kowalskie jest Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu. Do najważniejszych zadań zbiornika należy retencjonowanie wody na potrzeby rolnictwa, łagodzenie fali powodziowej oraz wyrównanie przepływów wody. Zbiornik pełni także funkcję rekreacyjną oraz służy do celów rybołówstwa. Jezioro Kowalskie składa się z dwóch części – zbiornika dolnego oraz górnego, który pełni funkcję osadnika. Zbiornik dolny o pojemności 5,99 mln m³ i powierzchni 162,8 ha pełni funkcję zbiornika głównego, podpiętrzonego zaporą czołową (15+423 km rzeki Głównej). Zbiornik wstępny, którego głównym elementem piętrzącym jest zaporą górna w Jerzykowie (19+888 km biegu rzeki), charakteryzuje się znacznie mniejszą powierzchnią (40,4 ha) oraz pojemnością (0,59 mln m³). Długość zbiornika wynosi 7,10 km, średnia szerokość 0,27 km. Głębokość zalewu waha się od 1,5 m do 6,5 m przy zaporze. Jezioro Kowalskie to zbiornik wielozadaniowy, który pracuje w cyklu wyrównawczym rocznym. Zbiornik napełniany jest od marca do stanu wody odpowiadającego NPP (87,00 m n.p.m.), w październiku natomiast jest opróżniany do poziomu MinPP (85,00 m n.p.m.). Uwzględniając wysokość piętrzenia oraz maksymalną pojemność akwenu ($V_c =$

6,58 mln m³), Jezioro Kowalskie zostało przypisane do III klasy ważności zbiornika (Rozporządzenie...2007).

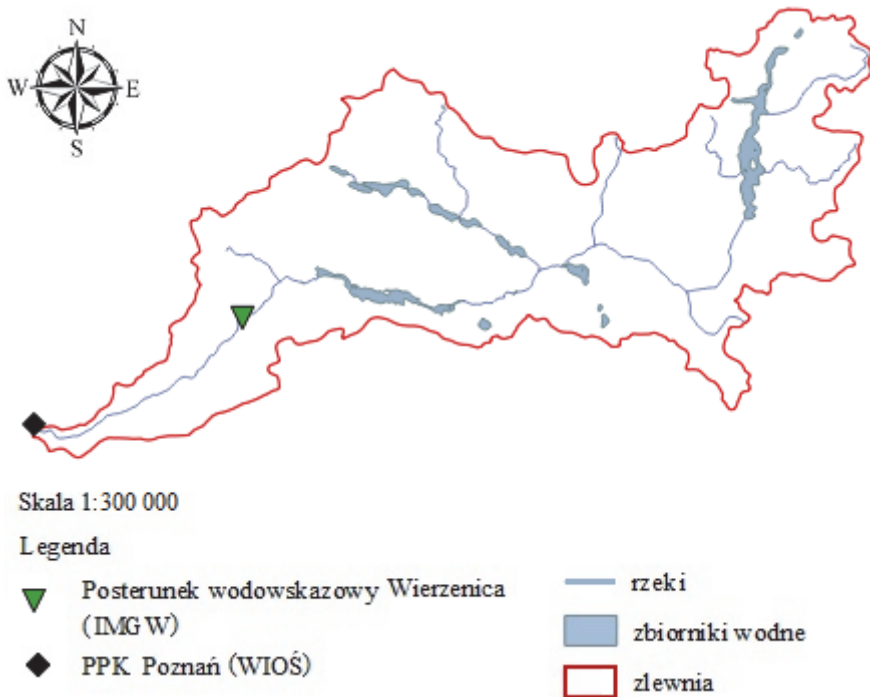
Zlewnia rzeki Głównej ma charakter nizinny, bezwzględne wysokości terenu wahają się od 52 m n.p.m. do 135 m n.p.m. Średni spadek zlewni obliczony na podstawie numerycznego modelu terenu (NMT) wynosi 5,4‰. Uśredniony spadek podłużny rzeki Głównej wynosi 1,92‰. Gęstość sieci rzecznej w zlewni wynosi 1,01 km², a wskaźnik jeziorności 2,9‰. W analizowanej zlewni występuje łącznie 14 jezior o łącznej powierzchni 7 km².

Według podziału administracyjnego Polski, na terenie zlewni położonych jest 8 gmin. Największą powierzchnię zajmują gminy Pobiedziska (50,77%), Łubowo (17,67%) i Swarzędz (15,08%). Zlewnia charakteryzuje się rolniczym sposobem użytkowania, grunty orne zajmują 57,5%, a użytki zielone 7,5%. Do pozostałych form użytkowania zaliczyć należy lasy oraz obszary zurbanizowane, które stanowią odpowiednio 24,7% i 7,4%. Na przestrzeni analizowanych lat 1996-2009 zaobserwowano niewielki spadek udziału użytków rolnych w zlewni oraz wzrost udziału terenów zabudowanych.

Do głównych źródeł zanieczyszczeń zaliczyć można spływy powierzchniowe z pól uprawnych oraz ścieki odprowadzane z oczyszczalni komunalnych w Bugaju i Pobiedziskach. Do punktowych źródeł zanieczyszczeń w latach 1996-2009 należały również: Przedsiębiorstwo Farmaceutyczno-Chemiczne „Synteza” w Pobiedziskach i Zakład Produkcji Doświadczalnej „Akumulatory” w Mechowie. Na podstawie danych udostępnionych przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) można zauważyć, że w ciągu analizowanego wielolecia zmalała liczba działających oczyszczalni przemysłowych. Procent ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków wzrósł – z 23% w 1996 r. do 54% w 2009 r., zwiększyła się również liczba funkcjonujących oczyszczalni komunalnych.

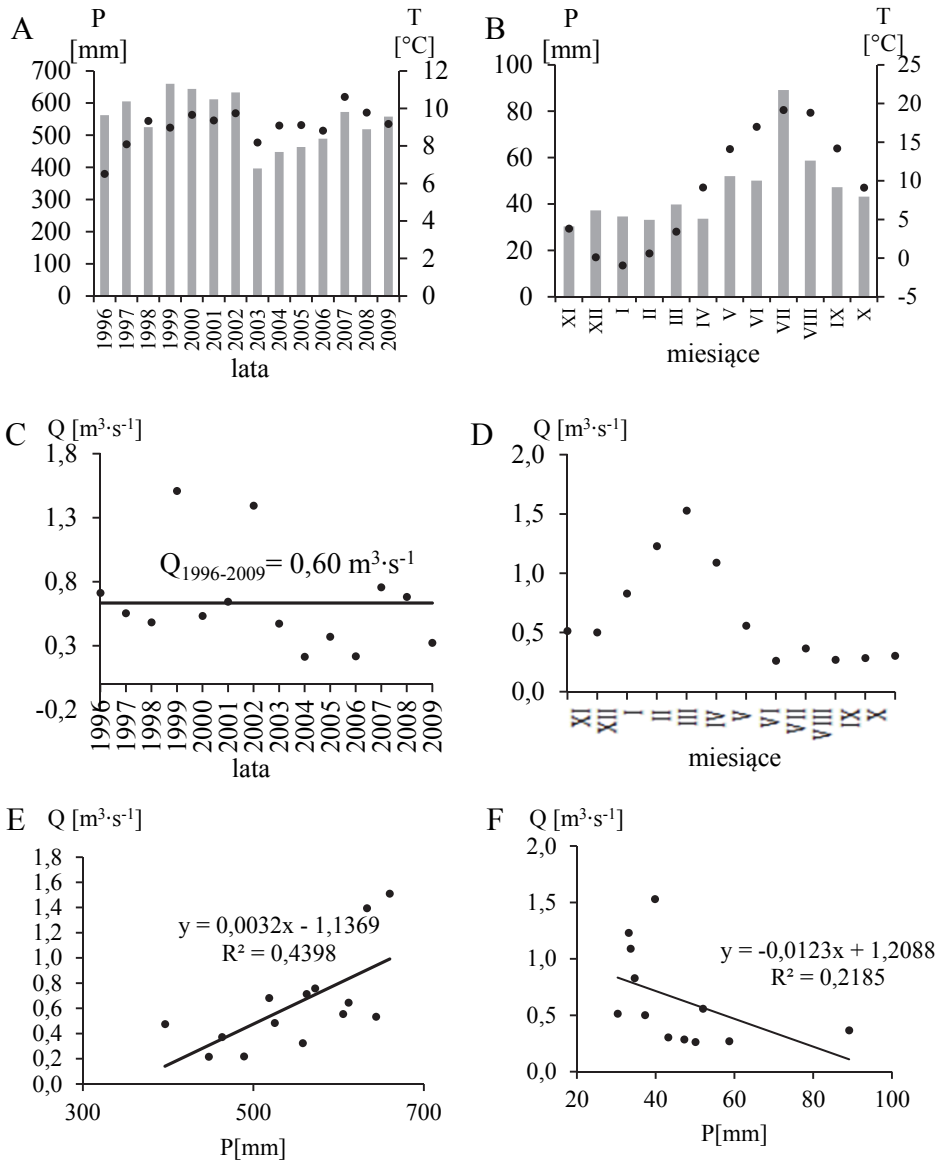
Analiza danych statystycznych wykazała, że pogłowie zwierząt gospodarskich w latach 1996-2009 utrzymywało się na zbliżonym poziomie. W przypadku bydła zanotowano wzrost pogłowia o 3%, natomiast w przypadku trzody chlewnej spadek o 7%.

Zużycie nawozów mineralnych w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych do roku 2005 wyniosło 110 kg NPK, natomiast w latach 2006-2009 zanotowano ich większe zużycie, które wyniosło ok. 160 kg NPK. W tym zużycie nawozów azotowych wyniosło 85 kg, a fosforowych 35 kg na 1 ha użytków rolnych.



Rys. 1. Zlewnia rzeki Głównej
Fig. 1. Główna river catchment

W analizowanym wieloleciu 1996-2009 średnia roczna suma opadów atmosferycznych wynosiła 549 mm, w tym w półroczu zimowym i letnim odpowiednio 209 i 340 mm. W poszczególnych latach roczne opady charakteryzowały się zmiennością, w roku 2003 najbardziej suchym były niższe o około 30% od wartości średniej, natomiast w roku najbardziej wilgotnym 1999 przekraczały wartość przeciętną o około 20% (rys. 2A). W analizowanym wieloleciu najwyższe opady na stacji Poznań notowane były w okresie lipca i sierpnia, natomiast najniższe w okresie od listopada do kwietnia. (rys. 2B). W latach 1996-2009 średnia temperatura powietrza wynosiła około 9,0°C, w tym w półroczu zimowym 2,7°C i letnim 15,4°C. Najchłodniejszy był rok 1996, a najcieplejszy rok 2007 (rys. 2A). W kolejnych miesiącach analizowanego okresu obserwowano typową zmienność średnich miesięcznych temperatur, charakterystyczną do klimatu centralnej Wielkopolski (rys. 2B).



Rys. 2. Charakterystyka warunków hydrometeorologicznych w zlewni rzeki Głównej

Fig. 2. Characteristic of hydrometeorological conditions in the Główna river catchment

Wypadkową przebiegu warunków meteorologicznych były przepływy rzeki Głównej w profilu Wierzenica, które wynosiły od 0,07 do 5,44 m³·s⁻¹, przy warności średniej 0,60 m³·s⁻¹. Przepływy średnie w poszczególnych latach hydrologicznych charakteryzowały się wysoką zmiennością. Najniższe przepływy notowano w latach 2004-2006 natomiast najwyższe w 1999 i 2002 (rys. 2C). Przepływy rzeki Głównej charakteryzowały się typową dla rzek nizinnych zmiennością, najwyższe występowały w okresie od lutego do kwietnia natomiast najniższe w okresie od czerwca do października (rys. 2D). Przeprowadzona analiza korelacji pomiędzy rocznymi sumami opadów atmosferycznych i średnimi rocznymi przepływami wykazała, że są one istotne statystycznie na poziomie $p_{\alpha} = 0,05$ (rys. 2E). Natomiast w przypadku przepływów średnich miesięcznych i średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych z wielolecia nie zaobserwowano istotnego statystycznie związku (rys. 2F).

Przy takim przebiegu warunków hydrometeorologicznych oraz zmieniającym się w czasie oddziaływaniu antropogenicznym wynikającym ze stanu gospodarki wodno-ściekowej oraz działalności rolniczej, wody rzeki Głównej w latach 1996-2009 charakteryzowały się stanem poniżej dobrego pod względem substancji biogenych. Związane to było przede wszystkim z wysoką zawartością fosforanów i azotu Kjeldahla oraz podwyższonymi stężeniami azotu azotanowego, i fosforu ogólnego. Z analiz wynika, że zawartości azotu ogólnego były na średnim poziomie natomiast stężenia azotu amonowego w całym rozpatrywanym wieloleciu były na niskim poziomie. Stężenia azotu amonowego w ponad 80% pobranych próbek wody były niższe od 0,78 mg N·dm⁻³, tj. wartości granicznej dla I klasy jakości wód. Średnie z analizowanego wielolecia stężenie azotu amonowego w wodach rzeki Głównej wynosiło 0,52 mg N·dm⁻³ przy wahaniach od 0,34 w roku 2007 do 0,69 w latach 1996 i 1997. Stężenia azotu amonowego charakteryzowały się sezonową zmiennością, najwyższe występowały z reguły w okresie od listopada do lutego natomiast najniższe w lipcu i sierpniu. Niskie stężenia azotu amonowego zaobserwowane latem, w okresie wysokich temperatur wody wynikają z procesu nityfikacji oraz jego pobierania przez rośliny. Natomiast w okresie jesienno-zimowym, kiedy pojawiają się niskie temperatury wody w rzece, zanika życie biologiczne a proces nityfikacji ulega zahamowaniu, stężenia azotu amonowego osiągają najwyższe wartości. Inną sytuację zaobserwowano w przypadku azotu Kjeldahla, bowiem

w około 60% próbek wody stężenia były wyższe od wartości granicznej dla II klasy jakości. Średnia zawartość azotu Kjeldahla w analizowanym okresie wynosiła $2,17 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ przy wahaniami wartości średnio rocznych od $1,82 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ do $2,88 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ odpowiednio w latach 2001 i 1996. W przypadku stężeń azotu Kjeldahla zaobserwowano ich dużą zmienność w kolejnych miesiącach.

Zawartość azotu azotanowego w wodach rzeki Głównej miała wyraźny związek z natężeniem przepływów. Przeprowadzona analiza korelacji potwierdziła związek pomiędzy średnimi miesięcznymi przepływami, a średnimi miesięcznymi stężeniami azotu azotanowego, który jest istotny statystycznie na poziomie $p_{\alpha} = 0,05$. Najwyższe wartości azotu azotanowego notowano przy wysokich przepływach na przełomie lutego i kwietnia natomiast najniższe w okresie letniego półrocza hydrologicznego. Wysokie stężenia azotu azotanowego w tym okresie związane były z wymywaniem tych związków z pól uprawnych bezpośrednio po okresie nawożenia. Spadek stężeń azotu azotanowego w okresie lata wynika z ich zużywania przez roślinność wodną i fitoplankton. W poszczególnych latach średnie stężenia azotu azotanowego wahały się od $2,44$ do $4,09 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ przy wartości średniej $3,11 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$. W około 10% przebadanych próbek wody stężenia azotu azotanowego przekraczały wartość $5 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$, tj. wartość graniczną dla II klasy jakości wód.

Pod względem zawartości azotu ogólnego odpowiednio 35% i 64% próbek wody odpowiadało normom I i II klasy jakości. Średnie stężenie azotu ogólnego wynosiło $5,64 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$, najniższe wartości notowano w roku 2000, a najwyższe w roku 1996. W przypadku azotu ogólnego zaobserwowano roczną cykliczność, wyższe wartości pojawiały się w okresie od lutego do kwietnia natomiast niższe od lipca do października.

Pod względem zawartości związków fosforu wody rzeki Głównej były bardziej zanieczyszczone. W analizowanym okresie w około 80% próbek wody, stężenia fosforanów były wyższe od $0,31 \text{ mg dm}^{-3}$, tj. wartości dopuszczalnej określonej dla drugiej klasy jakości wód (Rozporządzenie ...2014). Średnia zawartość fosforanów w rozpatrywanym wieloleciu wynosiła $0,57 \text{ mg PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}$ przy wahaniami wartości średnio rocznych od $0,40 \text{ mg PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}$ w roku 2002 do $0,93 \text{ mg PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}$ w roku 2006.

Analiza zmian zawartości fosforanów w wodach rzeki Głównej w kolejnych miesiącach wykazała, że charakteryzują się one cyklicznością, podobną do azotu ogólnego. Przeprowadzone obliczenia wykazały,

że również zawartości fosforu ogólnego były na podwyższonym poziomie, w około 25% próbek wody ich zawartość przekraczała wartości graniczne dla II klasy jakości wód.

Na podstawie utworzonej bazy danych obejmującej przepływy oraz stężenia omawianych związków biogennych w wodach rzeki Głównej, obliczono jednostkowe miesięczne, półroczne i roczne ładunki zanieczyszczeń. Średnie jednostkowe ładunki azotu ogólnego wymywane ze zlewni rzeki Głównej w analizowanym wieloleciu wynosiły średnio $4,41 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, w tym ładunek azotu amonowego wynosił $0,37 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, azotu Kjeldahla $1,61 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ i azotu azotanowego $2,54 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Zaobserwowano, że ładunki azotu Kjeldahla oraz azotu amonowego i azotanowego w zimowych półroczach hydrologicznych były odpowiednio ponad 2-krotnie i 3-krotnie wyższe niż w półroczach letnich (tabela 1). W poszczególnych latach ładunki związków azotu charakteryzowały się wysoką zmiennością (tabela 2). Istotny wpływ na ich wymywanie ze zlewni miał przebieg warunków hydrometeorologicznych. Przeprowadzona analiza korelacji wykazała, że średnie roczne ładunki azotu Kjeldahla, azotu azotanowego i azotu ogólnego były dodatnio skorelowane z rocznymi sumami opadów atmosferycznych.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że jednostkowy ładunek fosforu ogólnego wymywany ze zlewni był około 24-krotnie niższy niż w przypadku azotu ogólnego i wynosił średnio $0,188 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. W omawianym okresie średnie roczne ładunki fosforu ogólnego wahały się w granicach od $0,102$ do $0,397 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Ładunki fosforu ogólnego w odróżnieniu od ładunków związków azotu były na zbliżonym poziomie w letnim i zimowym półroczu hydrologicznym i wynosiły odpowiednio $0,108$ i $0,079 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Podobnie jak w przypadku azotu ogólnego średnie roczne ładunki fosforu ogólnego były skorelowane z rocznymi sumami opadów atmosferycznych.

Obliczone ładunki fosforu ogólnego odpływające ze zlewni Głównej były zbliżone do ładunków odprowadzonych ze zlewni rzeki Drawa ($0,22 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) i niższe w porównaniu ze zlewnią Warty ($0,38 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) (Ilnicki 2002). W latach 1996-2009 średni ładunek azotu ogólnego wynosił $4,41 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, przy czym roczne wartości wahały się na poziomie $1,59 - 10,35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Obliczony średni ładunek azotu ogólnego w zlewni Głównej był zbliżony do wartości ładunków odpływających ze zlewni rzeki Warty ($4,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) i niższy

w porównaniu ze zlewniami rzeki Proсны (6,4 kg·ha⁻¹·rok⁻¹) i Wełny (5,5 kg·ha⁻¹·rok⁻¹) (Ilnicki 2002).

Tabela 1. Miesięczne ładunki biogenów odpływające ze zlewni Głównej [kg·ha⁻¹·rok⁻¹]

Table 1. Monthly loads of nutrients eluted from Główna river catchment [kg·ha⁻¹·year⁻¹]

Miesiące	N-NH ₄	N _{Kjeld.}	N-NO ₃	N _{og.}	P-PO ₄	P _{og.}
XI	0,04	0,11	0,15	0,26	0,012	0,018
XII	0,04	0,12	0,15	0,28	0,012	0,017
I	0,06	0,17	0,22	0,47	0,012	0,019
II	0,07	0,24	0,43	0,70	0,011	0,019
III	0,05	0,25	0,61	0,92	0,011	0,019
IV	0,04	0,19	0,41	0,63	0,007	0,016
V	0,02	0,14	0,18	0,32	0,008	0,014
VI	0,01	0,07	0,08	0,16	0,006	0,010
VII	0,01	0,08	0,07	0,19	0,009	0,014
VIII	0,01	0,07	0,06	0,14	0,008	0,013
IX	0,01	0,07	0,07	0,16	0,008	0,013
X	0,02	0,09	0,09	0,18	0,009	0,015
XI-IV	0,29	1,08	1,97	3,26	0,066	0,108
V-X	0,09	0,53	0,57	1,15	0,048	0,079
XI-X	0,37	1,61	2,54	4,41	0,114	0,188

W celu określenia czasowej tendencji zmian wartości ładunków odpływających ze zlewni Głównej w latach 1996-2009 przeprowadzono analizę trendów. Przeprowadzone badania wykazały, że wartości odprowadzanych ładunków azotu amonowego, fosforu fosforanowego i fosforu ogólnego stopniowo się obniżały. Ładunki pozostałych substancji biogenych nie wykazywały wyraźnej tendencji do zmian. Ładunek azotu amonowego obniżał się rocznie o 0,026 kg·ha⁻¹, fosforu fosforanowego o 0,007 kg·ha⁻¹ i fosforu ogólnego o 0,012 kg·ha⁻¹.

Wykorzystując obliczone jednostkowe ładunki azotu i fosforu ogólnego wymywane ze zlewni, oszacowano obciążenie zbiornika reten-

cyjnego Jezioro Kowalskie tymi składnikami. Obciążenie zbiornika związkami biogennymi pochodzącymi ze zlewni jest wskaźnikiem pozwalającym na określenie jego trofii. Według Vollenweidera (1976) dla zbiorników o średniej głębokości poniżej 5 m za niebezpieczne uznaje się obciążenie zbiornika azotem ogólnym powyżej $2,0 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ i fosforem ogólnym powyżej $0,13 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Obliczenia wykazały, że dopływające ładunki azotu i fosforu przewyższały poziom ładunku niebezpiecznego we wszystkich analizowanych latach. W przypadku azotu ogólnego potencjalne obciążenia zbiornika retencyjne było od 7 do około 48 razy wyższe od wartości uznanej za niebezpieczną. Obciążenie fosforem było na nieco niższym poziomie, wartość ładunku uznana za niebezpieczną została przekroczona od około 7 do 24 razy.

Tabela 2. Roczne ładunki biogenów odpływające ze zlewni Głównej [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]

Table 2. Annual loads of nutrients eluted from Główna river catchment [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$]

Lata	N-NH ₄	N _{Kjeld.}	N-NO ₃	N _{og.}	P-PO ₄	P _{og.}
1996	0,57	2,44	1,94	5,49	0,203	0,354
1997	0,44	1,61	1,65	3,29	0,124	0,199
1998	0,45	1,51	2,01	3,57	0,095	0,175
1999	0,74	3,34	5,89	10,35	0,272	0,397
2000	0,27	1,26	2,02	3,23	0,081	0,141
2001	0,42	1,57	2,35	4,29	0,137	0,225
2002	0,45	2,51	5,26	8,06	0,105	0,183
2003	0,46	1,37	1,95	3,44	0,098	0,141
2004	0,17	0,51	1,06	1,59	0,059	0,102
2005	0,22	0,87	1,83	2,74	0,065	0,121
2006	0,17	0,75	1,03	1,87	0,095	0,133
2007	0,31	1,93	3,92	6,08	0,105	0,155
2008	0,32	2,03	3,45	5,51	0,086	0,174
2009	0,24	0,77	1,18	2,28	0,074	0,128
1996-2009	0,37	1,61	2,54	4,41	0,114	0,188

4. Podsumowanie

Ładunki azotu wymywane ze zlewni charakteryzowały się wyraźną roczną cyklicznością, powiązaną z przebiegiem warunków hydrometeorologicznych. Decydujący wpływ na dostawę tych związków do wód powierzchniowych miała przede wszystkim działalność rolnicza prowadzona na obszarze zlewni. W przypadku ładunków fosforu zaobserwowano mniejszą ich zmienność w półroczach hydrologicznych. Ze względu na ich mniejszą mobilność, głównym źródłem ich dostawy do wód mogą być niedostatecznie oczyszczone lub nieoczyszczone ścieki.

Ładunki azotu amonowego, fosforanów i fosforu ogólnego cechowały się istotnym trendem ujemnym. Może być to związane ze wzrostem liczby funkcjonujących oczyszczalni komunalnych (z 7 do 16) na terenie zlewni oraz wzrostem procentu ludności z nich korzystających (z 23% na 54%).

Jeziro Kowalskie w latach 1996-2009 było obciążone wysokim ładunkiem biogenów dopływających ze zlewni. Zbiornik zlokalizowany jest w zlewni charakteryzującej się w 65% rolniczym sposobem użytkowania, dodatkowo występują w niej jednostki przestrzenne o nie do końca uregulowanej gospodarce-wodno ściekowej. Aby uzyskać poprawę stanu wód w zbiorniku należy znacznie zredukować zanieczyszczenia obszarowe np. poprzez wprowadzenie pasów zadrzewień i ekstensywnie użytkowanych łąk wzdłuż cieków. Ważne jest też uregulowanie gospodarki wodno-ściekowej zlewni poprzez rozbudowę sieci kanalizacyjnej oraz budowę oczyszczalni ścieków.

Literatura

- Bogdał, A. & Ostrowski, K. (2007). Wpływ rolniczego użytkowania zlewni podgórskiej i opadów atmosferycznych na jakość wód odpływających z jej obszaru. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 7, 59-69.
- Durkowski, T., Burczyk, P., Królak, B. (2006). Ocena odpływu składników nawozowych ze zlewni rolniczych jeziora Miedwie w okresie restrukturyzacji rolnictwa. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 6, 51-63.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2000/60/EC z dnia 23 października 2000 roku, ustalająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
- Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego.

- Illicki, P. (2002). Przyczyny, źródła i przebieg eutrofizacji wód powierzchniowych. *Przegląd Komunalny*, 2(125), 35-49.
- Kanclerz, J., Murat-Błażejewska, S., Sojka, M., Przybył, A. (2010). Zmiany jakości wody i struktury ichtiofauny rzeki nizinnej w latach 2000-2009. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 9, 145-155.
- Kiryłuk, A. & Rauba, M. (2011). Wpływ rolnictwa na stężenie fosforu ogólnego w wodach powierzchniowych zlewni rzeki Śliny. *Inżynieria Ekologiczna*, 26, 122-132.
- Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej (2004). Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Kondracki, J. (2002). *Geografia regionalna Polski*. Warszawa: PWN.
- Kowalik, T., Kanownik, W., Bogdał, A., Policht-Latawiec, A. (2015). Wpływ zmian użytkowania zlewni wyżynnej na kształtowanie jakości wody powierzchniowej. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 16, 223-238.
- Krasowska, M. & Banaszuk, P. (2011). Wymywanie składników rozpuszczonych z małej zlewni rolniczej podczas wezbrania roztopowego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 11, 139-157.
- Liberacki, D. & Szafranski, C. (2008). Contents of biogenic components in surface waters of small catchments in the Zielonka Forest. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 10, 181-192.
- Marcinkowski, T. (2014). Produkcja rolnicza a jakość wód na obszarach polderowych Żuław Elbląskich. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 14(1), 41-52.
- Policht-Latawiec, A., Bogdał, A., Kanownik, W., Kowalik, T., Ostrowski, K., Gryboś, P. (2014). Jakość i walory użytkowe wody małej rzeki fliszowej. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 16, 546-561.
- Pulikowski, K., Czyżyk, F., Pawęska, K., Strzelczyk, M. (2012). Udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w wodach odpływających ze zlewni użytkowanych rolniczo. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (3/I), 155-165.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie.
- Smoroń, S. & Twardy, S. (2004). Obciążenie zlewni górnego Dunajca składnikami nawozowymi w dwudziestoleciu 1976-1996. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 4(1), 147-158.
- Sojka, M. (2009). Ocena ładunków związków biogennych wymywanych ze zlewni cieków Dębina. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11, 1225-1234.

- Sojka, M., Murat-Błażejewska, S., Kanclerz, J. (2008). Wymywanie związków azotu i fosforu ze zlewni rolniczej w zróżnicowanych okresach hydrometeorologicznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 526, 443-450.
- Spiess, E. (2011). Nitrogen, phosphorus and potassium balances and cycles of Swiss agriculture from 1975 to 2008. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 91(3), 351-365.
- Szczykowska, J. & Siemienuk, A. (2011). Znaczenie zbiorników retencyjnych na terenach rolniczych oraz jakość ich wód. *Inżynieria Ekologiczna*, 26, 103-111.

Assessment of Biogenic Compounds Elution from the Główna River Catchment in the Years 1996-2009

Abstract

The purpose of the presented study is to assess the loads of nutrients leaching from the catchment of the river Główna in 1996-2009. The annual 1996-2006 charges of several compounds are calculated. The analysis includes ammonium, Kjeldahl nitrogen, nitrate nitrogen, nitrogen general, phosphates and total phosphorus. The results are compared with hydro-meteorological conditions, changes in land usage and management as well as the state of water supply and wastewater treatment. Calculated unit loads of nitrogen and phosphorus washed out with sink river Główna are the basis for estimation of inflow of these compounds to the Jezioro Kowalskie lake. Such assessment is essential to develop the concept of action to protect the reservoir Jezioro Kowalskie against eutrophication.

The chosen study area, namely the Jezioro Kowalskie lake, is a reservoir of 203 hectares inundation area. It is located in the catchment of the Główna river. The total length of the river is 43 km. The main dam is located in km 15+423. The total catchment area is 235.81 km². The catchment area of the lake is 189.35 km². The reservoir is very unusual because it has a specific shape. It is divided into two parts in such a way that preliminary reservoir and the main reservoir parts may be specified. The flow between the upper and the lower part is constrained. Because the upper part is smaller and works as sedimentation tank.

The basin is lowland, where the majority of the occupied areas is used for agriculture, arable land accounts for 57.5% and 7.5% grassland. The other forms of use include the forests (24.7%), urban areas (7.4%) and surface water (2.9%). The main factors, which impact on the status of surface waters in the catchment, are the point sources of pollutants. The problems of lack of order in local water supply network and wastewater treatment are the reasons that such

sources occur in the catchment. There are also surface sources of pollutants associated with agricultural activities.

The analyzes carried out showed that reservoir Jezioro Kowalskie in the years 1996-2009 was under strong pressure from anthropogenic factors. The Główna river supply reservoir with water characterized by the high concentrations of phosphate and nitrogen Kjeldahl.

Streszczenie

W pracy dokonano oceny ładunków związków biogenych wymywanych ze zlewni rzeki Główniej w latach 1996-2009. Obliczono roczne i półroczne ładunki: azotu amonowego, azotu Kjeldahla, azotu azotanowego, azotu ogólnego, fosforanów i fosforu ogólnego. Uzyskane wyniki przeanalizowano na tle warunków hydrometeorologicznych, zmian sposobu użytkowania i zagospodarowania terenu oraz stanu gospodarki wodno-ściekowej. Na podstawie obliczonych jednostkowych ładunków azotu i fosforu ogólnego wymywanych ze zlewni rzeki Główniej oszacowano zasilanie zbiornika Jezioro Kowalskie tymi związkami. Powyższa ocena jest niezbędna do opracowania koncepcji działań zmierzających do ochrony zbiornika retencyjnego Jezioro Kowalskie przed eutrofizacją.

Zbiornik retencyjny Jezioro Kowalskie o powierzchni 203 ha usytuowany jest w zlewni rzeki Główniej. Całkowita długość rzeki wynosi 43 km, a zapora czołowa zlokalizowana jest w 15+423 km. Pole powierzchni zlewni wynosi 235,81 km², w tym całkowita zlewnia zbiornika stanowi 189,35 km². Zlewnia ma charakter nizinny, w którym przeważającą część zajmują obszary użytkowane rolniczo, grunty orne stanowią 57,5% a użytki zielone 7,5%. Do pozostałych form użytkowania zaliczyć można lasy (24,7%), tereny zurbanizowane (7,4%) oraz wody powierzchniowe (2,9%). Głównymi czynnikami wpływającymi na stan wód powierzchniowych w zlewni są źródła o charakterze punktowym, których występowanie wiąże się z nie do końca uporządkowaną gospodarką wodno-ściekową oraz te o charakterze obszarowym związane z działalnością rolniczą.

Przeprowadzone analizy wykazały, że zbiornik retencyjny Jezioro Kowalskie w latach 1996-2009 był pod silną presją czynników antropogenicznych. Wody rzeki Główniej zasilające zbiornik retencyjny charakteryzowały się wysokimi stężeniami fosforanów i azotu Kjeldahla.

Słowa kluczowe:

związki biogenne, eutrofizacja, rzeka nizinna

Keywords:

nutrients, eutrophication, lowland river