

WYMYWANIE ZWIĄZKÓW AZOTU I FOSFORU ZE ZLEWNI ROLNICZEJ W ZRÓŻNICOWANYCH OKRESACH HYDROMETEOROLOGICZNYCH

Mariusz Sojka, Sadžide Murat-Błażejewska, Jolanta Kanclerz

Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wstęp

W ostatnich latach, obserwuje się znaczne zmniejszenie ładunków zanieczyszczeń wprowadzanych do wód z oczyszczalni ścieków i zakładów przemysłowych, przy jednoczesnym wzroście udziału zanieczyszczeń pochodzących z działalności rolniczej. Na terenie UE w ponad 40% stacji monitoringu wód podziemnych stężenia azotanów przekraczały wartość $25 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wysokie stężenia związków azotu i fosforu mają bardzo niekorzystny wpływ na środowisko wodne, ponieważ eutrofizacja rzek i jezior przyspiesza wzrost glonów. Może to prowadzić do wtórnego zanieczyszczenia wód produktami metabolizmu i obumierającą biomasą glonów, co ogranicza wykorzystanie wód dla zaopatrzenia ludności, przemysłu i rekreacji. Dlatego szczególną uwagę należy zwrócić na zanieczyszczenia związkami azotu i fosforu pochodzącymi z działalności rolniczej. Ładunki tych związków można oszacować przy wykorzystaniu modeli migracji zanieczyszczeń obszarowych, metodą współczynników wymycia związków biogennych [KYLLMAR i in. 2005, 2006] lub szacunkową metodą bilansowania [DOJLIDO, WOYCIECHOWSKA 2006].

Celem pracy była ocena wpływu warunków hydrometeorologicznych na czasową zmienność ładunków związków azotu i fosforu wymywanych ze zlewni, w której udział gruntów ornych jest bardzo wysoki.

Material i metody badań

Badania i obserwacje terenowe, prowadzone były w zlewni rzeki Małej Wełny w latach hydrologicznych 2000-2005 i obejmowały m.in.: codzienne pomiary opadów atmosferycznych na posterunku opadowym w Kiszkwie i stanów wody w przekroju zamykającym zlewnię. W przekroju tym, pobierane były próbki wody do analiz laboratoryjnych; łącznie pobrano 52 próbki. W dniach poboru próbek wody wykonywane były pomiary hydrometryczne obejmujące: pomiar przekroju poprzecznego (szerokości i sondowanie głębokości) i zupełne pomiary prędkości przepływu młynkiem hydrometrycznym firmy Valeport BFM002.

Badania laboratoryjne próbek wody obejmowały oznaczenia 20 wskaźników i

składników charakteryzujących właściwości fizyczne (pH, temperatura), chemiczne (zawartość Ca, Mg, Na, K, Fe, Cl, SO₄), warunki tlenowe (tlen rozpuszczony, BZT₅, ChZT) i obecność biogenów (N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, PO₄). Analizy próbek wody wykonano zgodnie z metodykami referencyjnymi badań wskaźników jakości wód powierzchniowych [ROZPORZĄDZENIE MŚ 2004]. W niniejszej pracy wykorzystane zostały wyniki oznaczeń azotu amonowego (N-NH₄), azotu azotanowego (N-NO₃), azotu azotynowego (N-NO₂) i fosforanów (PO₄).

Ładunki azotu amonowego, azotanowego i azotynowego oraz fosforanów wymywane ze zlewni obliczono metodą statystyczną [LITTLEWOOD, MARSH 2004], której przydatność szczegółowo przeanalizowano i poddano weryfikacji statystycznej przy rzadkich pomiarach stężeń zanieczyszczeń i codziennych natężeniach przepływów [SOJKA i in. 2006].

Charakterystykę warunków meteorologicznych w zlewni wykonano na podstawie średnich dobowych temperatur powietrza ze stacji Leśnego Zakładu Doświadczalnego Arboretum Zielonka Akademii Rolniczej w Poznaniu i codziennych sum opadów atmosferycznych pomierzonych na własnym posterunku opadowym w Kiszkwie na tle danych z wielolecia 1989-1999 ze stacji IMGW w Gnieźnie. Stacja położona jest w odległości 25 km od Kiszkowa. Warunki hydrologiczne opracowano na podstawie codziennych pomiarów stanów wody i comiesięcznych pomiarów hydrometrycznych.

Inwentaryzację źródeł zanieczyszczeń przeprowadzono na podstawie wizji lokalnych w terenie, dokumentacji z urzędów gmin i opublikowanych materiałów Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Poznaniu. Typy i rodzaje gleb ustalono na podstawie map glebowo-rolniczych w skali 1 : 100 000, a użytkowanie terenu określono na podstawie map topograficznych w skali 1: 50 000 oraz danych Wojewódzkiego Urzędu Statystycznego w Poznaniu.

Wyniki i dyskusja

Zlewnia rzeki Małej Wełny według podziału fizyczno-geograficznego położona jest w środkowej części Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej, w makroregionie - Pojezierze Wielkopolskie w mezoregionie - Pojezierze Gnieźnieńskie [KONDRACKI 1994]. Zgodnie z systemem kodowania jednostek hydrograficznych stosowanym w Unii Europejskiej zlewnia otrzymała kod 1866 [CZARNECKA 2005]. Mała Wełna jest lewo-brzeżnym dopływem rzeki Wełny. Całkowita powierzchnia zlewni Małej Wełny wynosi 688 km², do przekroju Kiszkowo 342 km², a długość rzeki wynosi 45,3 km. Spadek podłużny rzeki Małej Wełny wynosi 0,58‰, a gęstość sieci rzecznej 1,16 km·km⁻². Mała Wełna od źródeł do przekroju Kiszkowo przepływa przez osiem jezior o sumarycznej powierzchni 392,8 ha. W zlewni znajduje się 19 jezior i kompleks stawów rybnych o całkowitej powierzchni 780,5 ha, co w odniesieniu do powierzchni zlewni daje to wskaźnik jeziorności 2,3‰.

Analizowana zlewnia ma charakter rolniczy. Udział użytków rolnych w zlewni jest wysoki bo wynosi 82,7%, z czego 75,2% przypada na grunty orne, 7,2% na użytki zielone, a 0,3% na sady. Zlewnia jest słabo zalesiona, lasy pokrywają około 6% powierzchni i występują wzdłuż prawego dopływu Małej Wełny cieką Dębina i Jeziora Kłeckiego. Zlewnia pokryta jest utworami mineralnymi, wytworzonymi głównie z piasków gliniastych i glin zwałowych - dominują gleby płowe.

Na terenie zlewni Małej Wełny do przekroju Kiszkowo położone są cztery

gminy: Łubowo, Kłęcko, Mieleszyn i Kiszkowo. Gminy te są prawie całkowicie zwodociągowane, natomiast gospodarka ściekowa oparta jest głównie na zbiornikach bezodpływowych. Przez osiem oczyszczalni ścieków o sumarycznej przepustowości około $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, w roku 2005 obsługiwanych było: 35% ludności w gminie Mieleszyn, 38% - w gminie Kiszkowo, 57% w gminie Kłęcko i 61% ludności w gminie Łubowo.

Analizę warunków meteorologicznych w zlewni, wykonano na podstawie rozkładów prawdopodobieństwa wystąpienia sum rocznych opadów atmosferycznych i średnich rocznych temperatur powietrza ze stacji IMGW w Gnieźnie. W latach 1989-2005 średni roczny wskaźnik opadu nie skorygowanego wynosił 510 mm, a temperatura średnia $8,5^\circ\text{C}$. Przeprowadzona ocena wykazała, że rok 2000 był mokry ($p = 11\%$), roczna suma opadu atmosferycznego była wyższa od średniej z wielolecia o 130 mm. W dwóch kolejnych latach notowano zbliżone opady, odpowiednio 581 i 596 mm, prawdopodobieństwo ich wystąpienia wynosi 33% i 28% (lata średnio mokre). W latach 2000 i 2002 notowano temperatury wyższe od średniej z wielolecia, odpowiednio $9,2^\circ\text{C}$ ($p = 28\%$) i $9,3^\circ\text{C}$ ($p = 17\%$), natomiast w roku 2001 temperatura średnia była zbliżona do wartości przeciętnej ($p = 61\%$). W kolejnych latach opady były niższe od wartości średniej, w roku 2003 (suchym) roczna suma opadów atmosferycznych wynosiła 345 mm ($p = 94\%$) przy temperaturze $7,7^\circ\text{C}$ ($p = 83\%$). W dwóch ostatnich latach badań średnio suchych, opady były zbliżone; w roku 2004 - 446 mm ($p = 72\%$) i 2005 - 453 mm ($p = 67\%$), przy temperaturach wyższych od przeciętnej odpowiednio $0,3$ i $0,9^\circ\text{C}$.

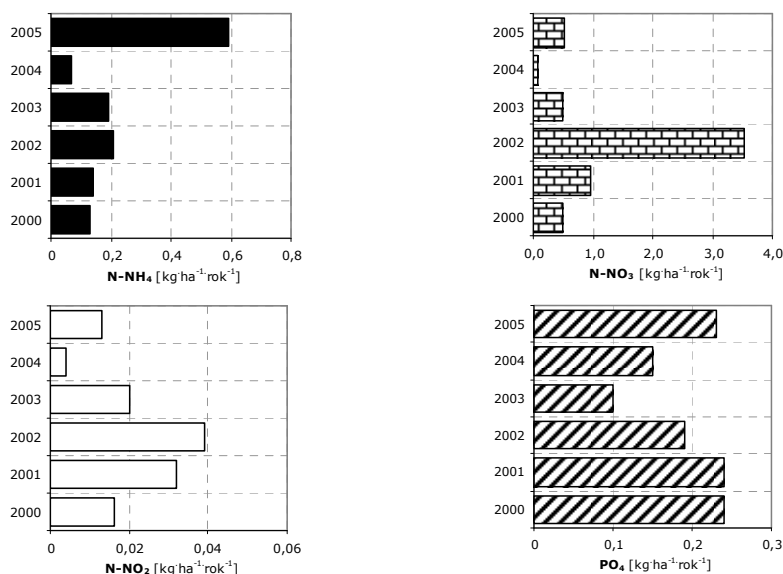
Warunki hydrologiczne w zlewni były zróżnicowane, a reżim rzeki Małej Wełny był bardzo trudny do rozpoznania, bowiem na wielkość i rozkład odpływu istotny wpływ miały: 5 jazów i 9 zastawek usytuowanych wzdłuż biegu rzeki i na dopływach, oraz jeziora przepływowe i stawy rybne położone powyżej przekroju zamykającego analizowaną zlewnię.

W latach 2000-2005 przepływy rzeki Małej Wełny w przekroju Kiszkowo wahały się od $\text{NNQ} = 0,022 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $\text{WWQ} = 3,183 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średni przepływ w okresie badań wynosił $\text{SSQ}_{\text{XI-X}} = 0,455 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, w tym w półroczach zimowych $\text{SSQ}_{\text{XI-IV}} = 0,553 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i letnich $\text{SSQ}_{\text{V-X}} = 0,358 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a średni niski przepływ utożsamiany z przepływem nienaruszalnym wyniósł $\text{SNQ} = 0,105 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zaobserwowano, że w pierwszych czterech latach badań; średnie przepływy w zimowych półroczach hydrologicznych były wyższe niż w półroczach letnich. Odmienną sytuację zaobserwowano w latach 2004 i 2005 - średnio suchych, w których średnie przepływy w półroczach zimowych były od około 1,5 do 2,4 razy niższe niż w półroczach letnich. Spowodowane to było głównie retencjonowaniem wody w jeziorach po roku suchym. Współczynnik nieregularności przepływów średnich rocznych ekstremalnych w okresie badań, wyrażony jako stosunek SWQ/SNQ wyniósł 14,4; a współczynnik rozpiętości przepływów $(\text{SWQ}-\text{SNQ})/\text{SSQ}$ wyniósł 3,1, wartości te były przeważnie niższe niż w zlewniach rzek bez jezior, które mają inną dynamikę zmienności przepływów [BAJKIEWICZ-GRABOWSKA 2002].

Ocena jakości wód rzeki Małej Wełny wykazała, że wody te charakteryzowały się niskimi stężeniami związków azotu - odpowiadały normom I, II i III klasy jakości oraz podwyższonymi stężeniami fosforanów - odpowiadały normom V klasy jakości.

Roczne ładunki związków azotu i fosforu wynoszone ze zlewni rzeki Małej Wełny charakteryzowały się dużą zmiennością. Ładunki azotu azotanowego wynosiły od $0,08 \text{ N-NO}_3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ w roku 2004 (średnio suchym pod względem opadów atmosferycznych i przeciętnym pod względem temperatury powietrza) do 3,53

$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ w roku 2002 (średnio mokrym i ciepłym), (rys. 1). W okresie badań najmniej z powierzchni zlewni odpływało azotu azotanowego - średnio $0,02 \text{ N-NO}_2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

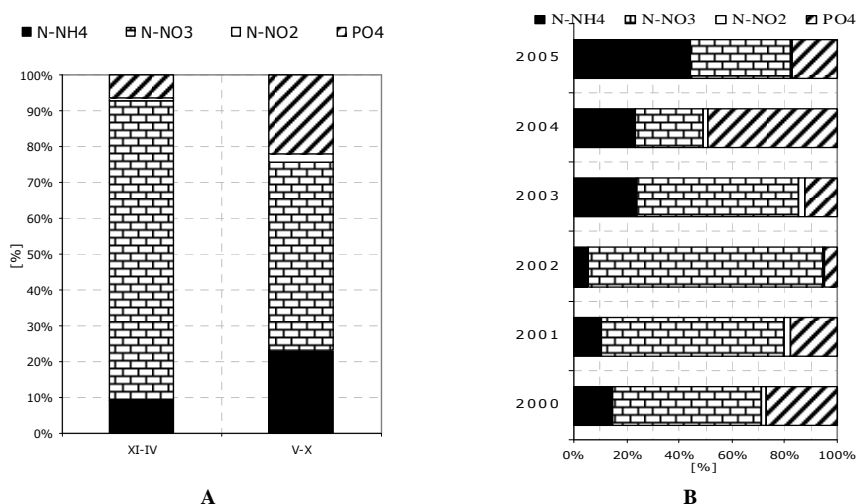


Rys. 1. Ładunki biogenów wmywanych ze zlewni rzeki Małej Wełny do przekroju Kiszkowo w latach hydrologicznych 2000-2005

Fig. 1. Nutrient loads leaching from the catchment of the Mała Wełna river down to Kiszkowo cross-section in hydrological years 2000-2005

Średnie roczne ładunki azotu amonowego i fosforu reaktywnego w okresie badań były zbliżone, odpowiednio $0,22 \text{ kg N-NH}_4\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ i $0,20 \text{ kg PO}_4\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Najwyższy ładunek azotu amonowego zanotowano w roku 2005 (średnio suchym i ciepłym) - $0,59 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, a najniższy w roku 2004 (średnio suchym i przeciętnym) - $0,07 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. W przypadku ładunku fosforanów obserwowano nieco odmienną sytuację, najniższe wartości notowano w roku suchym i chłodnym (2003) PO_4 $0,10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, a najwyższe w dwóch pierwszych latach badań.

Ładunki azotu azotanowego w zimowych półroczach hydrologicznych (przy przepływach wynoszących średnio $0,455 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) stanowiły aż 84% ładunku biogenów wnoszonych z wodami Małej Wełny ze zlewni, z kolei w półroczach letnich przy niższych przepływach (wynoszących średnio $0,358 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ i wyższych temperaturach) notowano obniżenie udziału ładunku azotu azotanowego, do 52% (rys. 2), spowodowane to było tym, że azot azotanowy był intensywnie pobierany przez rośliny wodne i fitoplankton. Zaobserwowano wzrost udziału ładunków azotu amonowego z 9% w półroczach zimowych do 23% w półroczach letnich a fosforanów z 6 do 22% w ogólnym ładunku biogenów wmywanym ze zlewni.

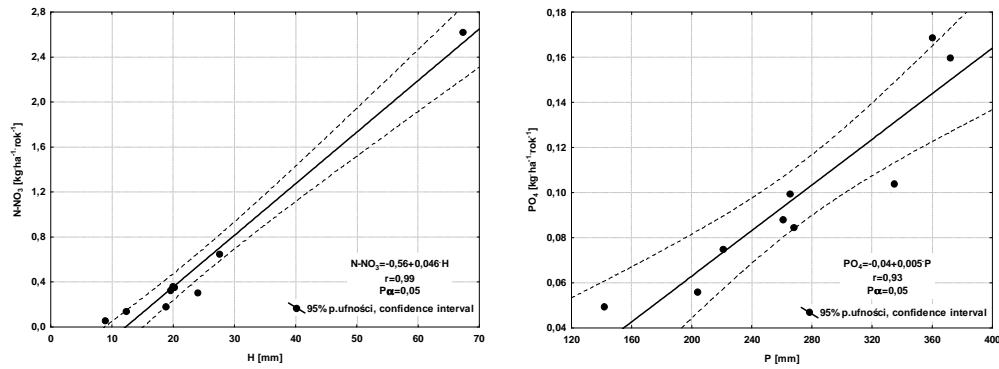


Rys. 2. Skład ładunku związków biogenych wmywanych ze zlewni rzeki Małej Wełny: A - przeciętnie w półroczach hydrologicznych, B - w latach hydrologicznych 2000-2005

Fig. 2. Composition of nutrient loads leaching from the catchment of the Mała Wełna river down to Kiszkowo cross-section; A - in hydrological half years, B - in hydrological years 2000-2005

W pierwszych czterech latach badań, ładunki azotu azotanowego stanowiły od 56 do 89% ogólnego ładunku związków biogenych. W kolejnych latach, w których średnie przepływy w półroczach zimowych były od około 1,5 do 2,4 razy niższe niż w półroczach letnich, notowano wzrost udziału ładunków fosforu reaktywnego i azotu amonowego; fosforanów do 49% w roku 2004 i azotu amonowego w roku 2005 do 44%.

W celu określenia wpływu warunków hydrometeorologicznych na ładunki związków azotu i fosforu wmywanych ze zlewni, przeprowadzono analizę regresji, która polegała na ustaleniu wpływu jednego, dwóch lub trzech czynników na półroczne ładunki związków azotu i fosforu wmywane ze zlewni. Weryfikacja istotności modelu regresji polegała na testowaniu hipotezy zerowej (H_0), która mówi, że żadna i-ta zmienna niezależna nie ma istotnego wpływu na zmienną zależną przeciwko hipotezie alternatywnej (H_1), co najmniej jedna zmienna istotnie związana ze zmienną zależną. Przy weryfikacji równań regresji wielokrotnej wykonano również analizę reszt (analiza odległości Mahalanobisa oraz Cooka) w celu wykrycia punktów odstających. Istotne statystycznie zależności (na poziomie $P_\alpha = 0,05$ i $P_\alpha = 0,10$) uzyskano pomiędzy: półrocznymi ładunkami azotu azotanowego a wskaźnikami odpływu, ładunkami azotu azotanowego, ładunkami azotu amonowego a współczynnikami odpływu, ładunkami azotu amonowego a średnimi półrocznymi temperaturami powietrza oraz ładunkami fosforu reaktywnego a półrocznymi sumami opadów atmosferycznych (rys. 3).



Rys. 3. Zależność ładunków biogenów wmywanych ze zlewni rzeki Małej Wełny od warunków hydrometeorologicznych wraz z 95% przedziałem ufności

Fig. 3. Relationship between half years nitrogen loads leaching from the catchment of the Mała Wełna river and hydrometeorological conditions with 95% confidence interval

Wnioski

Ładunki związków biogenych wmywane ze zlewni rzeki Małej Wełny w latach 2000-2005 charakteryzowały się dużą zmiennością i powiązane były z przebiegiem warunków hydrometeorologicznych.

W latach, w których średnie przepływy w zimowych półroczach hydrologicznych były wyższe niż w półroczach letnich w ogólnym ładunku biogenów wmywanych ze zlewni dominowały ładunki azotu azotanowego natomiast, gdy średnie przepływy w półroczach zimowych były niższe niż w półroczach letnich, notowano wzrost udziału ładunków fosforu reaktywnego i azotu amonowego.

Ładunki azotu azotanowego w zimowych półroczach hydrologicznych stanowiły aż 84% ładunku biogenów wynieszonego ze zlewni, z kolei w półroczach letnich notowano obniżenie udziału ładunku azotu azotanowego do 52%; spowodowane to było także intensywnym pobieraniem biogenów przez rośliny wodne i fitoplankton. W letnich półroczach notowano wzrost udziału ładunków azotu amonowego i fosforanów w ogólnym ładunku związków biogenych wmywanym ze zlewni.

Literatura

- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E. 2002.** *Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych*. Warszawa: 274 ss.
- CZARNECKA H. (Red.) 2005.** *Atlas Podziału Hydrograficznego Polski. Cz. 1 i 2.* IMGW Warszawa: 682 ss.
- DOJLIDO J., WOYCIECHOWSKA J. 2006.** *Szacunkowa metoda bilansowania ładunków zanieczyszczeń w wodach małych zlewni rzecznych.* *Gosp. Wod.* 7: 282-285.
- KONDRACKI J. 1994.** *Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne*. PWN Warszawa: 339 ss.

KYLLMAR K., CARLSSON C., GUSTAWSON A., ULEN B., JOHNSON H. 2006. *Nutrien discharge from small agricultural catchments in Sweden. Charakterisation and trends.* Agriculture, Ecosystems and Environment 115: 15-26.

KYLLMAR K., MARTENSSON K., JOHANSSON H. 2005. *Model-based coefficient method for calculation of N leaching from agricultural fields applied to small catchments and the effects of leaching reducing measures.* J. of Hydrology 304: 343-354.

LITTLEWOOD I.G., MARSH T.J. 2004. *Annual freshwater river mass loads from Great Britain, 1975-1994: estimation algorithm, database and monitoring network issues.* J. of Hydrology 304: 221-237.

SOJKA M., MURAT-BŁAŻEJEWSKA S., KANCLERZ J. 2006. *Ocena metod obliczania ładunków zanieczyszczeń wymywanych ze zlewni.* Acta Scientiarum Polonorum, Ser. Formatio Circumiectus (w druku).

Słowa kluczowe: zlewnia rolnicza, związki azotu i fosforu, ładunki

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki oceny wpływu warunków meteorologicznych i hydrologicznych na czasową zmienność ładunków związków azotu i fosforu wymywanych ze zlewni rolniczej. Badania i obserwacje terenowe prowadzone były w latach hydrologicznych 2000-2005 w zlewni rzeki Małej Wełny do przekroju Kiszkowo. Powierzchnia analizowanej zlewni wynosi 342 km²; udział użytków rolnych w zlewni jest wysoki 82,7%, z czego 75,2% przypada na grunty orne, 7,2% użytki zielone, a 0,3% na sady. Ładunki związków biogenych wymywane ze zlewni rzeki Małej Wełny w okresie badań charakteryzowały się dużą zmiennością. Najwyższe były ładunki azotu azotanowego średnio 1,01 kg N-NO₃·ha⁻¹·rok⁻¹, a najniższe azotu azotynowego 0,02 kg N-NO₂·ha⁻¹·rok⁻¹. Ładunki azotu azotanowego w zimowych półroczach hydrologicznych stanowiły aż 84% ładunku biogenów wynieszonego ze zlewni, z kolei w półroczach letnich przy niższych przepływach notowano obniżenie udziału ładunku azotu azotanowego, do 52%, spowodowane to było tym, że azot azotanowy był intensywnie pobierany przez rośliny wodne i fitoplankton. W letnich półroczach notowano wzrost udziału ładunków azotu amonowego z 9 do 23% i fosforanów z 6 do 22% w ogólnym ładunku związków biogenych wymywanych ze zlewni.

Analiza składu ładunków biogenów wymywanych ze zlewni wykazała, że w pierwszych czterech latach badań dominowały ładunki azotu azotanowego i stanowiły od 56 do 89%, z kolei w latach 2004 i 2005 notowano wzrost udziału ładunków fosforu reaktywnego i azotu amonowego.

Przeprowadzone analizy statystyczne wykazały, że istotne statystycznie zależności występowały pomiędzy półrocznymi ładunkami azotu azotanowego oraz wskaźnikami i współczynnikami odpływu, ładunkami azotu amonowego i współczynnikami odpływu oraz ładunkami fosforu reaktywnego i półrocznymi sumami opadów atmosferycznych. Odwrotnie proporcjonalny związek zanotowano pomiędzy półrocznymi ładunkami azotu amonowego a średnimi półrocznymi temperaturami powietrza.

EVALUATION OF TEMPORAL VARIABILITY OF NITROGEN AND PHOSPHORUS COMPOUND LOAD LEACHING FROM AGRICULTURAL CATCHMENT

Mariusz Sojka, Sadżide Murat-Błażejewska, Jolanta Kanclerz
Department of Land Reclamation, Environmental Development and Geodesy,
University of Life Sciences, Poznań

Key words: agricultural catchment, nitrogen and phosphate compounds, loads

Summary

The paper presents results of evaluation of the influence of hydrological and meteorological conditions on temporal nitrogen and phosphorus compound loads variability leaching from agricultural catchment. The investigations were carried out in the hydrologic years 2000-2005 in the Mała Wełna catchment down to Kiszkowo cross-section. The analysed catchment has an area of 342 km², agricultural land occupying 82.7% of the total catchment area, arable land 75.2%, meadows 7.2% and orchards 0.3% respectively. Loads of nitrogen and phosphorus compounds leaching from the catchment of the Mała Wełna River in the study period highly varied.

The nitrate nitrogen loads leaching from the catchment were the highest - average 1.01 kg N-NO₃·ha⁻¹·year⁻¹ and nitrite nitrogen loads were the lowest - average 0.02 kg N-NO₂·ha⁻¹·year⁻¹. Nitrate nitrogen loads in winter half years amounted to 84% of nutrient loads leaching from the catchment, while in summer half years with lower water discharge the nitrate nitrogen loads decreased to 52% which was caused by nitrate nitrogen uptake by water plants and phytoplankton. In summer half years an increased share of ammonium nitrogen loads was observed from 9 to 23% and phosphate from 6 to 22% in total nutrient load leaching from the catchment. Analysed nutrient loads composition leaching from the catchment showed that in the years 2000-2003 nitrate nitrogen loads amounted to from 56 to 89%, whereas in the 2004 and 2005 an increase in phosphate and ammonium nitrogen loads leaching from the catchment was observed.

The statistics analysis showed, that statistically significant relationships were found between: half years nitrate nitrogen loads and runoff index and runoff coefficient, ammonium nitrogen loads and runoff coefficient and phosphate phosphorus and half years sums of precipitation. Inversely proportional relationship was observed between half yearly ammonium nitrogen loads and averages half yearly air temperature.

Dr inż. Mariusz **Sojka**
Katedra Melioracji Kształtowania Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Piątkowska 94
60-648 POZNAŃ
e-mail: masojka@au.poznan.pl