

BILANS AZOTU W ZLEWNI RZEKI ROKIETNICA

Małgorzata Rauba¹

¹ Zamiejscowy Wydział Leśny Politechniki Białostockiej w Hajnówce, Politechnika Białostocka, ul. Piłsudskiego 8, 17-200 Hajnówka, e-mail: m.rauba@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

Na podstawie danych z badań ankietowych obliczono bilans azotu metodą „na powierzchni pola” w gospodarstwach leżących w granicach zlewni rzeki Rokietnica w województwie podlaskim. Na podstawie analiz uzyskanych wyników, stwierdzono, że niemal połowa wszystkich gospodarstw biorących udział w badaniu, przekracza bezpieczną granicę dodatniej różnicy bilansowej zgodną z Kodeksem Dobrej Praktyki Rolniczej. Stwierdzono również dodatnią korelację pomiędzy zmierzonymi wartościami stężeń azotu azotanowego (V) i ilością zużytych nawozów naturalnych i mineralnych w gospodarstwach, co świadczy o migracji niewykorzystanego azotu w profilu glebowym i zanieczyszczeniu tym składnikiem wód powierzchniowych.

Słowa kluczowe: bilans azotu, zlewnia rzeczna, wody powierzchniowe.

BALANCE OF NITROGEN IN ROKIETNICA RIVER BASIN

ABSTRACT

Based on the survey data was calculated nitrogen balance method “on the surface of the field” on farms within the catchment area of the Rokietnica river in Podlaskie. Based on the analysis of the results obtained, it was found that almost half of all farms participating in the survey, exceeds the safe limit of the positive difference in the balance sheet in accordance with the Code of Good Agricultural Practice. It was also a positive correlation between the measured values of the concentrations of nitrate (V) and the amount of waste manure and mineral fertilizers on farms, reflecting the migration of unused nitrogen in the soil profile and the component of pollution of surface waters.

Keywords: nitrogen balance, river catchment, surface water.

WPROWADZENIE

Jednym z podstawowych źródeł azotu, który pobierany jest przez rośliny uprawne, są nawozy mineralne i naturalne. Dostosowanie nawożenia do właściwości agrochemicznych gleby i wymagań pokarmowych uprawianych roślin jest niezmiernie ważne w uzyskaniu optymalnego plonu. Niski poziom nawożenia prowadzi do wyczerpania przyswajalnych składników pokarmowych, zaś wysoki do naruszenia równowagi

jonowej w glebie. Niedobór, jak i nadmiar nawozów powodować będą degradację środowiska, która objawiać się będzie wyczerpaniem lub skażeniem gleb [Gorlach, Mazur, 2001]. Dostępność nawozów mineralnych i wyraźny wzrost wielkości produkcji, powodują, że w wielu gospodarstwach rolnych ilość stosowanych nawozów przekracza wielkość zapotrzebowania roślin na określone składniki pokarmowe. Dodatkowo gleba wzbogacana jest w nawozy naturalne. Z badań wynika, że azot z nawozów mineralnych jest gorzej przyswajany, gdy dodatkowo stosuje się nawozy naturalne, które również zasobne są w ten pierwiastek oraz w połączeniu z resztkami poźniowymi, a także w wyniku biologicznego wiązania azotu atmosferycznego przez symbiotyczne i wolno żyjące bakterie i pochodzącym z opadów atmosferycznych [Sokulski, Mercik, 2004]. Niewykorzystany przez rośliny azot ulega w glebie różnym przemianom, które są wynikiem procesów mineralizacji i immobilizacji. Procesy te mogą uwalniać różne formy azotu i w konsekwencji prowadzić do skażenia środowiska przyrodniczego. Aby zminimalizować skutki tych niekorzystnych zjawisk, należy dążyć do możliwie zamkniętego obiegu azotu w obrębie gospodarstwa. Podstawą do podjęcia działań w tym zakresie mogą być informacje uzyskane w wyniku określenia salda bilansu azotu. Celem pracy jest przedstawienie bilansu azotu w badanych gospodarstwach rolnych, leżących na obszarze zlewni rzeki Rokietnica w województwie podlaskim.

CHARAKTERYSTYKA TERENU I METODYKA BADAŃ

Tereniem badań była zlewnia rzeki Rokietnica, zlokalizowana w południowo-zachodniej części województwa podlaskiego. Rzeka jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Śliny będącej III-rzędowym dopływem rzeki Narew. Zlewnia charakteryzuje się typowym rolniczym użytkowaniem.

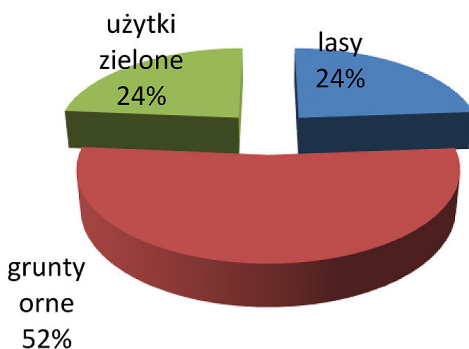
W rzeźbie terenu dominują powierzchnie płaskie, silnie zdenudowane, o charakterze równiny wysoczyznowej, miejscami łagodnie rozciętej formami dolinowymi. Równinne obszary wysoczyzny zawdzięczają swoją dość monotonną rzeźbę procesom peryglacjalnym i postglacjalnym, które przekształciły jej pierwotny, bardziej urozmaicony relief. Z siecią dolin połączone są często rozległe obniżenia pochodzenia powytopiskowego o zróżnicowanej wielkości oraz kształtach i płaskich dnach. W sąsiedztwie niektórych z tych obniżen obserwuje się występowanie form wypukłych pochodzenia fluwioglacjalnego, reprezentowanych przez pagórki kemowe zbudowane z mułków i piasków, obejmujących zachodnią część zlewni o wysokości względnej od około 5 do około 12 m.

Piaski pochodzenia wodnolodowcowego (sandrowe) zajmują obniżone fragmenty zlewni w jej północnej części. Piaski i żwiry lodowcowe pokrywają najczęściej spłaszczone kulminacje z glin zwałowych oraz niższe fragmenty moren. Występują one na wschodnim obszarze zlewni.

W zlewni przeważają gleby brunatne kwaśne i wylugowane wytworzone na piaskach słabogliniastych, zwłaszcza w odcinku od źródła rzeki. W drugiej części zlewni

są one wytworzone na glinie lekkiej i glinie lekkiej pylastej. Pod lasami przeważają gleby biellicowe i pseudobiellicowe wytworzone na pisakach słabogliniastych. Z gleb orných dominują gleby kompleksu 2 i 4. Użytki zielone zlokalizowane są głównie w dolinie rzeki i jej dopływach i położone są przede wszystkim na czarnych ziemiach właściwych i glebach torfowych i murszowo-torfowych, należących do kompleksu średniego – 2z [Program Ochr. Środow... 2004].

Na terenie zlewni znajduje się 26 wsi. Zlewnia zajmuje powierzchnię 13 184,5 ha. Dużą część zlewni stanowią grunty orne – 6 936 ha. Podobne pod względem wielkości kształtuje się wielkość lasów – 3 138 ha i użytków zielonych 3 110,5 ha (rys. 1).



Rys. 1. Struktura użytkowania zlewni rzeki Rokitnicy

Fig. 1. Structure of the catchment of the Rokitnica river

W celu określenia salda bilansu azotu, przeprowadzono badania ankietowe metodą wywiadu bezpośredniego, wśród rolników gospodarujących na obszarze zlewni. Miały one na celu zbadanie ogólnego funkcjonowania gospodarstw rolnych ze szczególnym uwzględnieniem średniego zużycia nawozów naturalnych i mineralnych, sposobu prawidłowego gospodarowania nawozami i rodzaju prowadzonej działalności rolniczej.

Do opracowania danych uzyskanych z ankiet gospodarstwa podzielono na 3 grupy pod względem wielkości obszaru:

- małe – 2 – 5 ha użytków rolnych (UR),
- średnie – 5 – 10 ha UR,
- duże – powyżej 10 ha UR.

Dobierając gospodarstwa do badań zadbano, aby reprezentowały one różne rodzaje działalności rolniczej, a mianowicie:

- uprawę roślin,
- hodowlę trzody chlewnej,
- hodowlę bydła mlecznego,
- hodowlę bydła mlecznego i opasowego,
- oraz niewyspecjalizowane w żadnej produkcji rolnej.

Badania ankietowe przeprowadzono w 17 wsiach. Łącznie uzyskano 71 ankiet, co stanowiło około 25% wszystkich gospodarstw z obszaru zlewni rzeki Rokietnicy [Rauba 2012, Rauba 2010].

Bilans azotu w poszczególnych gospodarstwach obliczono, wykorzystując program MacroBil opracowany przez Instytut Upraw, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, który zgodny jest z Rozporządzeniem Ministra Środowiska. Program opiera się na metodzie „na powierzchni pola”, stosowaną jako sposób monitorowania wpływu nawożenia tym składnikiem na jakość wód [Fotyma i in., 2001]. W programie tym w bilansie po stronie przychodu uwzględnia się następujące źródła dopływu składnika do gleby:

- nawozy mineralne,
- nawozy naturalne,
- nawozy organiczne,
- przyorane produkty uboczne roślin uprawnych,
- biologiczne wiązanie azotu (resztki poźniwne roślin motylkowatych, przyorane poplony motylkowate)
- opad atmosferyczny.

Po stronie rozchodu uwzględnia się natomiast pobranie składnika w plonach. W systemie zrównoważonego nawożenia dopływ składników pokarmowych do gleby powinien rekompensować ich odpływ w plonach. W programie przyjmuje się założenie, że całkowite zrównoważenie bilansu w przypadku azotu nie jest możliwe ze względu na nieuniknione straty tego składnika poprzez:

- ulatnianie form gazowych do atmosfery,
- immobilizację przez mikroorganizmy glebowe,
- częściowe wymywanie azotanów.

Na podstawie różnicy między przychodami a rozchodami azotu, obliczono jego nadwyżkę bilansową, która pozostaje w glebie lub uległa rozproszeniu na skutek różnych czynników środowiskowych. Obliczono także obsadę zwierząt w sztukach dużych na 1 hektar użytków rolnych ($DJP \cdot ha^{-1} UR$) oraz plony zbóż w tonach na hektar ($t \cdot ha^{-1}$).

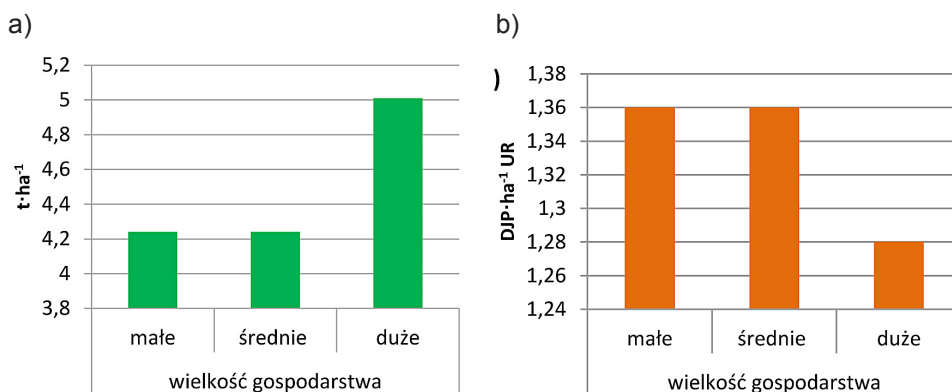
W celu sprawdzenia wpływu nadwyżki bilansu azotu na wody rzeki Rokietnica zbadano stężenia azotu azotanowego (V) w 7 punktach pomiarowych i skorelowano je z wielkością stosowanych nawozów mineralnych i naturalnych.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Z badań ankietowych wynika, że około 79,4% gospodarstw z obszaru zlewni rzeki Rokietnicy stanowią gospodarstwa duże – powyżej 10 ha. Średnie stanowią 19,1%, a małe zaledwie 1,5% wszystkich przebadanych gospodarstw.

Gospodarstwa małe i średnie prowadzą różną działalność produkcyjną. Zajmują się chowem trzody chlewnej, bydła mlecznego i opasowego oraz produkcją roślinną. Na badanym obszarze przeważa uprawa kukurydzy, pszenżyta, mieszanki zbożowej, rzadziej buraków pastewnych i ziemniaków. Średni roczny plon zbóż wynosi tu $4,24 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 1a). Część gospodarstw uzyskane plony sprzedaje lub wykorzystuje w gospodarstwie. Średnia obsada zwierząt wynosi $1,36 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ (rys. 2b).

Niemal wszystkie duże gospodarstwa produkują mleko. Około 20% z tych gospodarstw oprócz chowu bydła mlecznego zajmuje się także chowem trzody chlewnej lub uprawą roli. Obsada zwierząt wynosi średnio $1,28 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$. Rolnicy najczęściej uprawiają kukurydzę, mieszankę zbożową i żyto oraz ziemniaki. Średni roczny polon zbóż uzyskiwany z 1 hektara wynosi $5,01 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Większość gospodarstw nie sprzedaje swoich plonów, tylko wykorzystuje w gospodarstwie. Na rysunku 1 przedstawiono wielkości plonów zbóż uzyskanych z jednego hektara oraz obsadę zwierząt gospodarskich na jednym hektarze użytków rolnych.

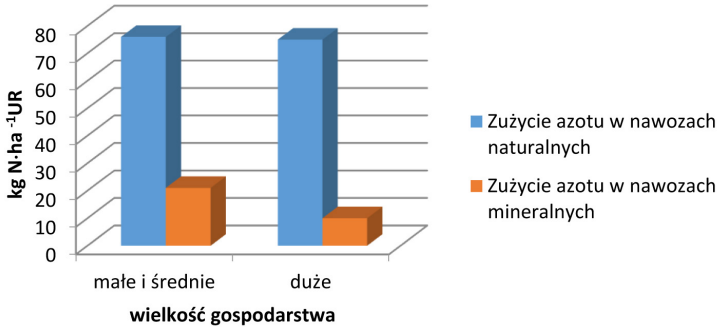


Rys. 2. Plony zbóż (a) i obsada zwierząt gospodarskich (b) w poszczególnych grupach gospodarstw w zlewni rzeki Rokietnicy

Fig. 2. Cereal yield (a) and livestock density (b) in different groups of households in the catchment area of the Rokietnica river

Jak wynika z badań odpływ azotu ze wszystkich źródeł w gospodarstwach małych i średnich wynosi $103 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$, zaś w gospodarstwach dużych $89 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$. Ilość azotu pochodząca z nawozów naturalnych na obszarze zlewni wynosi $86 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$, zaś z nawozów mineralnych $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$.

Dopływ azotu w gospodarstwach małych, średnich i dużych był do siebie zbliżony. Podobnie było z wielkością stosowanych nawozów naturalnych. Gospodarstwa małe i średnie zużywały natomiast dwa razy więcej nawozów mineralnych zawierających azot na jeden hektar użytków rolnych niż gospodarstwa duże (rys. 3).



Rys. 3. Zużycie azotu i fosforu w nawozach naturalnych i mineralnych w zlewni rzeki Rokietnicy

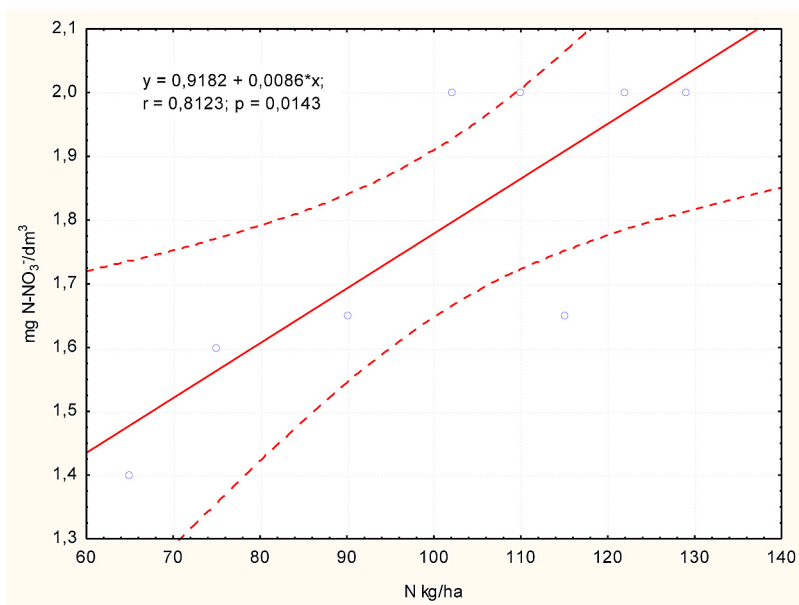
Fig. 3. Consumption of nitrogen and phosphorus in natural and mineral fertilizers in the catchment area of the Rokietnica river

Saldo bilansu azotu było niższe blisko o połowę w gospodarstwach dużych w porównaniu do małych i średnich. W gospodarstwach dużych wynosiło 15 kg N na 1 ha UR, zaś w gospodarstwach małych i średnich 25 kg N na 1 ha UR. Wyliczone różnice z ilości azotu wniesionego pod rośliny w badanych gospodarstwach z nawozami naturalnymi i mineralnymi, a jego pobraniem w plonach wykazały, że w 25 gospodarstwach wartość salda bilansu tego składnika była ujemna. Najwięcej gospodarstw, cechujących się ujemną różnicą bilansową, znajdowało się we wsiach Wnory Wiechy i Gołasze Puszcza. Wartości salda wahały się tutaj od minus 1 do minus 60 kg N na 1 ha UR. Średni współczynnik wykorzystania wynosił w tych gospodarstwach 114,5%. Ujemna różnica bilansowa dotyczyła głównie dużych gospodarstw powyżej 30 ha. W pozostałych wsiach wartości bilansu były dodatnie. Największe wartości salda azotu odnotowano we wsiach Gołasze Mościckie i Piszczaty Kończany. Dodatnia różnica bilansowa wynosiła w niektórych gospodarstwach powyżej 100 kg N na 1 ha UR. Średni współczynnik wykorzystania tego składnika wyniósł tutaj 65,4%. Należy podkreślić, że są to w przewadze gospodarstwa średnie pod względem wielkości, a znaczna ilość azotu pochodzi z nawozów naturalnych.

Zamknięcie bilansu azotu w taki sposób, aby jego ilość w nawozach była równa ilości wyniesionego z plonem, jest zadaniem bardzo trudnym. Wymaga to dobrej znajomości wymagań nawozowych uprawianych roślin, przewidywania wysokości plonów oraz znajomości zasobności gleb uprawnych w ten składnik. Jak wynika z przeprowadzonych badań 65% gospodarstw posiada dodatnią wartość bilansową azotu. Świadczy to o przewadze przychodów nad rozchodami składników, co może być przyczyną występowania negatywnych zjawisk środowiskowych. Zgodnie z Kodeksem dobrej praktyki rolniczej niezmiernie ważne jest zachowanie zrównoważonego bilansu azotu, głównie z uwagi na jego dużą mobilność. Azot bowiem podlega silnym procesom wymywania do wód gruntowych lub utleniania do form gazowych. Zakłada się, że bezpieczne dla środowiska jest dodatnie saldo bilansu nie przekraczające 30 kg

$N \cdot ha^{-1}$ UR [Kodeks dobrej..., 2004]. Powyżej tej wartości kształtował się bilans w 33 badanych gospodarstwach, co stanowi 46,5% wszystkich ankietowanych domostw. Z uwagi na możliwość przedostawania się azotu do rzeki Rokietnica konieczne jest zweryfikowanie istniejących planów nawozowych z zapotrzebowaniem poszczególnych roślin i zasobnością gleb w azot. Niewykorzystany bowiem przez rośliny azot łatwo migruje w profilu glebowym [Evans i in., 1996; Pionke i in., 1996; Witkowski, 1997]. Szacuje się, że jego wymycie z terenów intensywnie użytkowanych rolniczo na glebach lekkich, może wynosić 25 kg N z ha [Durkowski, 1997].

Dla sprawdzenia wpływu nadwyżki bilansowej azotu w badanej zlewni zmierzono wartości stężeń azotu azotanowego (V) w wodach rzeki Rokietnica. Stwierdzono istotne dodatnie korelacje pomiędzy stężeniami azotu azotanowego (V) a ilością stosowanych nawozów (rys. 4).



Rys. 4. Zależność stężeń azotu azotanowego (V) w wodach rzecznych od poziomu nawożenia w zlewni rzeki Rokietnicy [Rauba 2010]

Fig. 4. The dependence of the concentration of nitrate nitrogen (V) in river waters of fertilization in the catchment area of the Rokitnica river [Rauba 2010]

Azot azotanowy (V) pochodzi w glebach z mineralizacji materii organicznej. Organiczne formy azotu ulegają w procesie amonifikacji przemianom w formę amonową, która ulega nitryfikacji i w reakcji utlenienia tworzą się azotany (III) a następnie azotany (V), które ulegają łatwemu wymyciu poza strefę korzeniową roślin [Clotuche i in. 1998]. Podobne reakcje zachodzą w przypadku nawozów mineralnych zawierających jony amonowe. A zatem bez względu na rodzaj stoso-

wanych nawozów wraz ze wzrostem ich użycia wzrasta także ilość azotanów (V) w wodach powierzchniowych.

Badania nad wpływem nawożenia gnojowicą i obornikiem wskazały, że nawożenie łąk gnojowicą wpływa istotnie na zmiany składu chemicznego wody gruntowej, zwłaszcza azotu azotanowego (V), która z odpływem powoduje zanieczyszczenia wód powierzchniowych [Wesołowski i in. 2004]. Nawożenie użytków zielonych niesie ze sobą wzrost stężenia azotu azotanowego (V) w wodach odpływających z pokrywy glebowej i jest ono tym wyższe im większą stosuje się dawkę nawozu [Mrkvička i in. 1986]. Dawki nawozów mineralnych stosowane na badanym obszarze wahają się w większości gospodarstw od 150 do 300 kg·ha⁻¹ N, co znacząco wpływa na możliwość wymycia tego składnika w postaci N-NO₃⁻ do wód powierzchniowych. Przy zastosowaniu 100 kg·ha⁻¹ N średnie stężenie azotanów w odpływie wyniosło 6,38 mg/dm³, zaś przy dawce 400 kg·ha⁻¹ N już 50,58 mg·dm⁻³ (Jaguś 2008). Niezmiernie ważny jest rodzaj gleb, gdyż przy dawce azotu 120 kg·ha⁻¹ N w postaci saletry amonowej, z gleby lekkiej na użytkach zielonych ulega wymyciu 15,3 kg·ha⁻¹ N, a z gleby bardziej zwięzłej (głina lekka pylasta) już tylko 4,1 kg·ha⁻¹ N. Przy zwiększeniu dawki do 240 kg·ha⁻¹ N wymycie azotu azotanowego (V) wzrosło do 36,1 kg·ha⁻¹ N z gleby lekkiej i 7,9 kg·ha⁻¹ N z drugiego rodzaju gleb (Sapek A., Sapek B. 1993). Przy nawożeniu mineralnym odpływ azotu azotanowego (V) z gleb średniozwięzłych kształtował się na poziomie od 0,01 do 10,16 kg·ha⁻¹, co znacząco wpływało na jakość wód powierzchniowych [Koc i in. 2003].

WNIOSKI

1. Gospodarstwa o powierzchni powyżej 10 ha charakteryzowało dodatnie saldo wykorzystania azotu, blisko o połowę niższe niż gospodarstwa o powierzchni poniżej 10 ha. W gospodarstwach o powierzchni powyżej 30 ha przeważała ujemna różnica bilansowa, a współczynnik wykorzystania azotu wskazuje, że jest on pobierany w ponad 100%. Świadczy to o stosowaniu zbyt niskich dawek nawozowych.
2. Gospodarstwa o powierzchni poniżej 10 ha, charakteryzowała dużą nadwyżką bilansową azotu, co świadczy o złym wykorzystaniu tego składnika przez rośliny i o konieczności poprawy planów nawozowych.
3. W ponad 46% przebadanych gospodarstw dodatnie saldo bilansu przekraczało zakładaną, bezpieczną dla środowiska granicę 30 kg N·ha⁻¹UR, co ma swoje odzwierciedlenie w dodatniej korelacji pomiędzy poziomem nawożenia a wielkością stężeń azotu azotanowego (V) w wodach rzeki Rokietnica.
4. Istotna zależność pomiędzy stężeniem N-NO₃⁻ a poziomem nawożenia świadczy o wymywaniu azotu poza strefę korzeniową i przedostawanie się tego składnika do wód powierzchniowych.

LITERATURA

1. Clotuche P., Godden B., Van Bol V., Peeter A., Penninckx M. 1998. Influence of setaside on the nitrate content of soil profiles, *Environmental Pollution* 102, S1, 501-506.
2. Durkowski T. 1997. Zasoby wodne a jakość wody w rolnictwie. *Zeszyty Edukacyjne*, 3/97, IMUZ, 17-38.
3. Evans C.D., Davies T.D., Wigington Jr P.J., Tranter M., Kretschler W.A. 1996. Use of factor analysis to investigate processes controlling the chemical composition of four streams in Adirondack Mountains, New York. *J. Hydrol.* 185, 297-316.
4. Fotyma M., Jadczyższyn T., Pietruch Cz. 2001. System wpierania decyzji w zakresie zrównoważonej gospodarki składnikami mineralnymi –MACROBIL. *Pam. Puł., Puławy*, z. 124, 81-89.
5. Gorlach E., Mazur T. 2001. *Chemia rolna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss. 134.
6. Jaguś A. 2008. Zmiany jakościowe odpływów wód glebowych w warunkach recesji gospodarki nawozowej (na przykładzie górskich użytków zielonych). *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, nr 9, 63-69.
7. Koc J., Szymczyk S. 2003. Wpływ intensyfikacji rolnictwa na odpływ z gleb azotu mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 494, 175-181.
8. *Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej*. 2004. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
9. Mrkvička J., Velich J. 1989. Leaching of nitrogen and of other nutrients at different levels of long-term fertilization of grassland. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie*, 229, Sesja naukowa 22, 245-259.
10. Pionke H.B., Gburek W.J., Sharpley A.N., Schnabel R.R. 1996. Flow and nutrient export patterns for an agricultural hill-land watershed. *Water Resour. Res.* 32 6, 1795-1804.
11. Program ochrony środowiska dla gminy Kulesze Kościelne na lata 2004-2011, 2004.
12. Rauba M. 2012. Straty spowodowane zanieczyszczeniem wód związkami azotu pochodzącymi z rolnictwa. *Ekonomia i środowisko*, 1(41), 163-175.
13. Rauba M. 2010. Wpływ stosowania nawozów na jakość wód powierzchniowych w zlewni użytkowanej rolniczo, *Zrównoważony rozwój obszarów wiejskich. Aspekty ekologiczne*. Szczecin, 228-243.
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenia związkami azotu ze źródeł rolniczych. *Dz.U. z 2002 r. Nr 241, poz. 2093*.
15. Sapek A., Sapek B. 1993. Assumed non-point water pollution based on the nitrogen budget in Polish agriculture. *Water Sci. Technol.* 28, 3-5, 483-488.
16. Sosulski T., Mercik S. Szara E., 2004. Bilans azotu w trzech systemach nawożenia, *ANNALS Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sec. E*, vol. 59, Nr 2, 589-597.
17. Wesołowski P., Durkowski T. 2004. Stężenia składników mineralnych w wodach gruntowych na łąkach torfowych nawożonych gnojowicą i obornikiem. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 4, z. 1(10), 139-145.
18. Witkowski D. 1997. Wybrane czynniki kształtujące jakość wód powierzchniowych w małych zlewniach nizinnych. *Rocz. Gleb.* 47, 3/4, 5-21.