

STĘŻENIE AZOTANÓW W WODACH DRENARSKICH ODPŁYWAJĄCYCH Z WYBRANYCH OBIEKTÓW NA DOLNYM ŚLĄSKU

Krzysztof Pulikowski

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W latach hydrologicznych 1997–2002 badano stężenie azotanów w wodach drenarskich trzech obiektów źródnicowanych pod względem fizjograficznym, klimatycznym i glebowym. Oznaczenia wykonywano jeden lub dwa razy w miesiącu w okresie występowania odpływów. Do analiz chemicznych zastosowano metodę spektrofotometryczną z 2,6-dimetylofenolem. Stwierdzono, że wody drenarskie zawierają dużą ilość azotanów, średnio od 67,7 do 105,0 mg $\text{NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, a wartości maksymalne przekraczają 240 mg $\text{NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ i najczęściej występują w okresie wczesnowiosennym. Średnie stężenie azotanów w wodach stanowiło od 36 do 45% wartości maksymalnej, a więc zakres wartości stosunku stężenia średniego do maksymalnego był wąski. Jeżeli się to potwierdzi po przeanalizowaniu większej liczby serii pomiarowych, można będzie zaproponować, aby do opisu serii badawczej wykorzystywać wartość średnią. Jest to miara dobrze charakteryzująca próbę i odporna na okazjonalne pojedyncze wyniki odbiegające od pozostałych wartości w serii.

Słowa kluczowe: azotany, stężenie, miara statystyczna, drenowanie

WSTĘP

Uprawa roli stanowi najstarszy przykład ingerencji człowieka w środowisko naturalne. Wraz z rozwojem cywilizacyjnym następował rozwój rolnictwa – przechodzenie od upraw ekstensywnych do intensywnych, co wymagało nawożenia organicznego i mineralnego. W XX wieku pojawiły się chemiczne środki ochrony roślin pozwalające zwiększyć wielkość i jakość plonów. Zdecydowanie najbardziej niebezpieczne dla środowiska, głównie wodnego, są te ostatnie, jednak w Polsce ich zużycie jest stosunkowo niewielkie. Rolnictwo w znacznym stopniu ponosi odpowiedzialność za wzrost zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych związkami azotu (azotanami).

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski, prof. UP, Katedra Budownictwa i Infrastruktury, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: krzysztof.pulikowski@up.wroc.pl

Tego typu zanieczyszczenie jest szczególnie niebezpieczne, gdy dotyczy zasobów wody przeznaczanej na zaopatrzenie ludności.

Przeprowadzone badania miały na celu określenie stężenia azotanów w wodach drenarskich odpływających z kilku obiektów. Wody drenarskie jako bardzo zasobne w azotany stwarzają znaczne zagrożenie dla swych odbiorników. Podjęto również próbę określenia optymalnej miary statystycznej do charakteryzowania stężenia azotanów w tych wodach.

W pracy wykorzystano wyniki badań wykonanych w ramach projektów badawczych nr 5 P06H 006 11 oraz 5 P06H 045 17 finansowanych przez Komitet Badań Naukowych.

MATERIAŁ I METODY

Badania terenowe prowadzono w latach hydrologicznych 1997–2002 w trzech obiektach zróżnicowanych pod względem fizjograficznym, klimatycznym i glebowym.

Obiekt Bogaczowice (1997–2002) leży w środkowych Sudetach na pograniczu Pogórza Bolkowsko-Wałbrzyskiego i Gór Wałbrzyskich. Obiekt zajmuje grunty orne o łącznej powierzchni 19,04 ha, odwadniane za pomocą drenowania, i dzieli się na 12 działów drenarskich, z których cztery objęto badaniami zawartości azotanów. W obiekcie występują gleby pseudobielicowe, na ogół o składzie granulometrycznym glin średnich i ciężkich z dużą zawartością szkieletu – ponad 20%, w tym także kamieni. Profile glebowe są płytkie, sięgają do 1,2 m, zalegają na rumoszu skalnym. Roczna suma opadów z wielolecia na tym terenie wynosi 655 mm, a średnia roczna temperatura powietrza – 7,3°C. Większość lat w okresie badań charakteryzowała się wyższymi od średnich opadami i temperaturami. Wyjątek stanowił rok hydrologiczny 1997, w którym średnia roczna temperatura wyniosła zaledwie 6,9°C, oraz rok 1999, w którym suma opadów była równa 595 mm. W okresie badań wystąpiły dwa lata o szczególnie wysokich opadach sięgających nawet 1044 mm.

Obiekt Henrykowice (1997–1998) leży w dolinie Baryczy będącej częścią Niziny Śląskiej, w zlewni cieków Sarni Rów (Kobyłarka). Badania prowadzono w czterech działach drenarskich o łącznej powierzchni 3,47 ha, stanowiących część kompleksu pól ornych o łącznej powierzchni 8,15 ha. Gleby obiektu zaliczają się do zespołu nadbaryckiego; są to gleby bardzo lekkie i lekkie wytworzone z piasków gliniastych i pylastych oraz z gliny średniej, w głębszych warstwach poniżej poziomu założenia rurociągów drenarskich występują również ropy. Roczna suma opadów z wielolecia na tym obszarze wynosi 563 mm, a średnia roczna temperatura – 8,0°C. W obu latach opady roczne przewyższały średnią wieloletnią. Rekordowo wysokie opady (220 mm) zanotowano w lipcu 1997 r.

Trzeci obiekt znajduje się w miejscowości Szewce k. Wrocławia (2000–2002), na Nizinie Śląskiej. Obejmuje on grunty orne o łącznej powierzchni 39,8 ha, a powierzchnia poszczególnych działów drenarskich wynosi od 7,65 do 14,71 ha. Badania prowadzono w dwóch działach o łącznej powierzchni 22,8 ha. W obiekcie występują gleby brunatne o składzie granulometrycznym glin lekkich i średnich i niewielkie ilości dobrze rozłożonych torfów. Roczna suma opadów z wielolecia na tym terenie wynosi 587 mm, a średnia temperatura roczna – 8,2°C. W pierwszym i ostatnim roku badań występowały opady zbliżone do średniej wieloletniej. Na uwagę zasługuje rok hydrologiczny 2001, w którym

wystąpiły bardzo wysokie opady roczne wynoszące aż 714 mm. Średnia roczna temperatura w poszczególnych latach przekraczała średnią z wielolecia; w roku hydrologicznym 2000 była od niej wyższa o 1,8°C i wynosiła 10,0°C. W roku 2001 wszystkie średnie temperatury miesięczne były dodatnie.

Zawartość azotanów w odciekach drenarskich oznaczano przeciętnie jeden lub dwa razy w miesiącu, w okresie występowania odpływów. Analizy chemiczne wykonano w Laboratorium Wód i Ścieków Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, stosując metodę spektrofotometryczną z 2,6-dimetylofenolem według ISO 7890/2 : 1986.

Wartości parametrów statystycznych obliczano dla poszczególnych obiektów i (lub) łącznie dla całego zbioru wyników pochodzących ze wszystkich obiektów. Do wykonania obliczeń statystycznych wykorzystano pakiet Statistica 6.

WYNIKI I DYSKUSJA

Uzyskane wyniki jednoznacznie wykazały, że wody drenarskie odprowadzane z użytków rolnych zawierają dużą ilość azotanów. Sole kwasu azotowego zaliczają się do bardzo łatwo rozpuszczalnych, co w znacznym stopniu ułatwia ich wymywanie z profilu glebowego. Stężenia azotanów w wodach pochodzących z obiektów objętych badaniami bardzo się różniły zarówno pod względem wartości średniej, jak i zakresu zmienności (rys. 1).

Średnie stężenie azotanów było najmniejsze w obiekcie Henrykowice (67,7 mg NO₃ · dm⁻³), a największe w obiekcie Szewce (105,0 mg NO₃ · dm⁻³), gdzie najwyższe było również stężenie maksymalne (tab. 1). Otrzymane wartości, zarówno maksymalne, jak i średnie, są zdecydowanie wyższe od uzyskanych w badaniach prowadzonych w innych regionach kraju [Terelak i Pondel 1990, Durkowski i Burczyk 1994, Borowiec i Zabłocki 1996], podobne natomiast do wartości uzyskanych w doświadczeniu przeprowadzonym w Kanadzie [Ng i in. 2002].

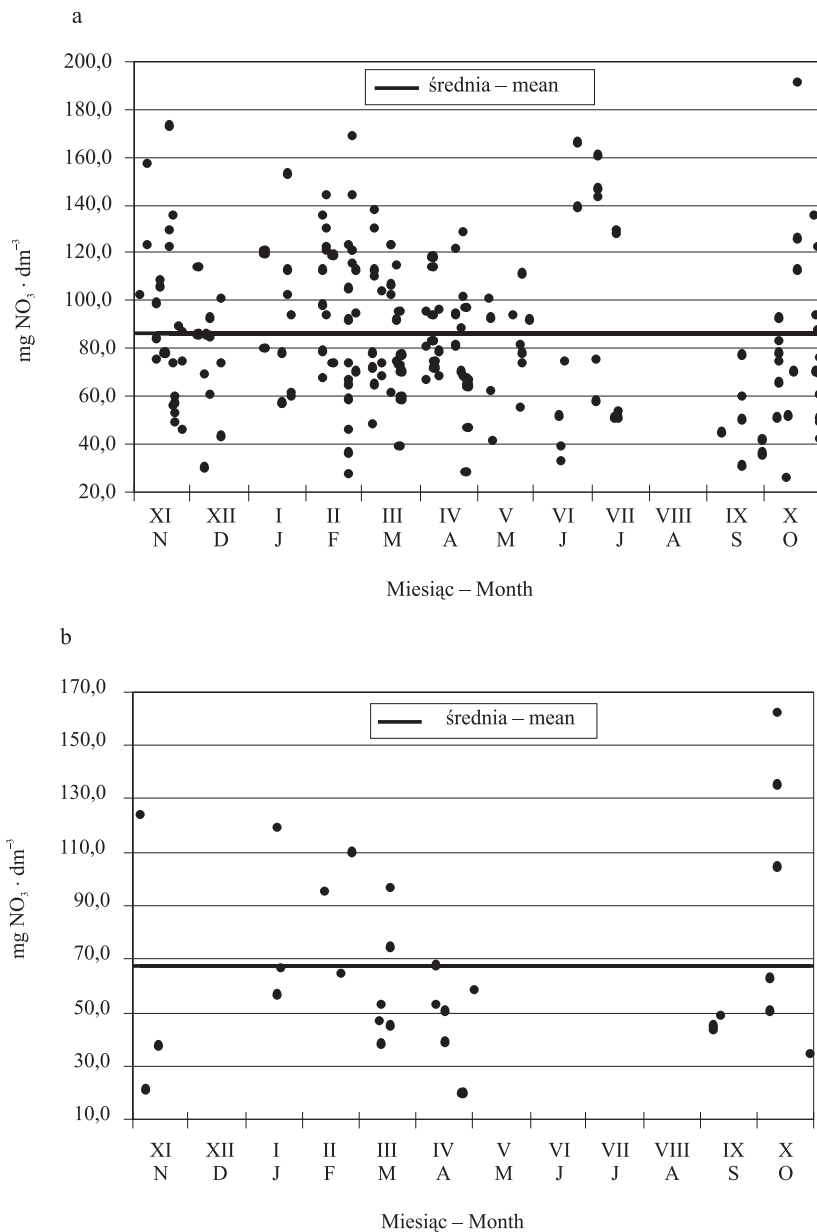
Ilość odpływających azotanów można ograniczyć, dostosowując wielkość dawek i okres stosowania nawożenia azotowego do potrzeb roślin, skracając czas między nawożeniem a wysianiem roślin, jak również zachowując odpowiednie proporcje między nawożeniem azotem, potasem i fosforem [Azot... 1991]. Ten ostatni czynnik nabrał szczególnego znaczenia w ostatnich latach, kiedy to drastycznemu zmniejszeniu nawożenia towarzyszył brak proporcjonalności – w najmniejszym stopniu obniżano nawożenie azotowe. Jako przyczynę nadmiernych strat azotu wymienia się niedobór w glebie potasu dostępnego dla roślin.

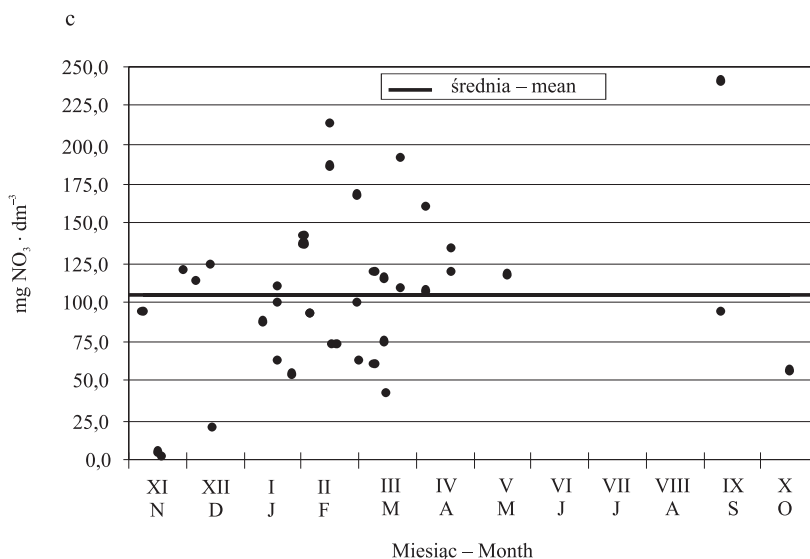
Maksymalne wartości stężenia azotanów występowały w okresie wczesnowiosennym i jesienią, czyli po dłuższym okresie, w którym sieć drenarska nie odprowadzała wody, i po zakończeniu okresu pobierania składników pokarmowych przez rośliny.

Na uwagę zasługują wysokie stężenia zanotowane w okresie letnim w Bogaczowicach – jedynym obiekcie, w którym sieć drenarska okresowo odprowadzała wodę także w lecie. Inne badania również wskazują na to, że maksymalne stężenia azotanów w odciekach drenarskich występują w lipcu [Grazhdani i in. 1996]. Okresy posuszne i ciepłe sprzyjają procesowi nityfikacji, dlatego w glebie wzrasta wtedy zawartość azotanów. Pojawienie

się nawalnego deszczu powoduje bardzo intensywne ich wymywanie, o czym świadczy występowanie najwyższych stężeń jednocześnie z bardzo dużą objętością odpływu. To spostrzeżenie zaprzecza ogólnie panującemu pogładowi, że stężenie jest odwrotnie proporcjonalne do odpływu [Durkowski i Burczyk 1994].

Silnym obciążeniem wód drenarskich związkami azotu, szczególnie azotanami, które w większości obiektów występowało tylko w okresie wczesnowiosennym, można byłoby





Rys. 1. Stężenie azotanów(V) w odciekach drenarskich z obiektów Bogaczowice (a), Henrykowice (b) i Szewce (c)

Fig. 1. Nitrate(V) concentration in drainage water from sites Bogaczowice (a), Henrykowice (b) and Szewce (c)

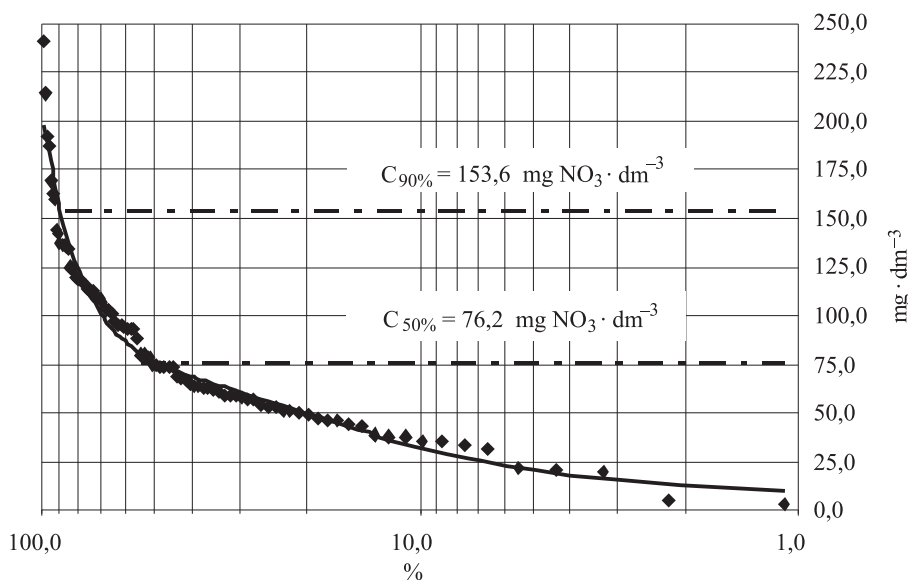
Tabela 1. Charakterystyczne stężenia azotanów(V) w wodach drenarskich (mg NO₃ · dm⁻³)
Table 1. Characteristic concentrations of nitrates(V) in drainage waters (mg NO₃ · dm⁻³)

Stężenie Concentration	Obiekt – Site			
	Bogaczowice	Henrykowice	Szewce	wszystkie obiekty all sites
Średnie – Mean (C)	86,3	67,7	105,0	85,9
Mediana – Median (C _{Me})	79,6	54,8	103,4	74,9
C _{50%}	79,2	58,5	107,5	76,2
C _{90%}	130,5	123,8	189,4	153,6
Maksymalne Maximum (C _{max})	190,9	162,7	240,9	240,9

C_{50%}, C_{90%} – wartości, których prawdopodobieństwo wystąpienia wraz z wartościami niższymi wynosi odpowiednio 50 i 90% – values with probability of occurrence 50 and 90%, respectively

również tłumaczyć pojawianie się w wodach powierzchniowych maksymalnych stężeń azotanów w lutym i marcu [Pulikowski i in. 2005]. Z innych prac wynika jednak, że w ciekach, do których nie odprowadza się wód drenarskich, występowanie maksymalnych stężeń azotanów przypada na ten sam okres [Hus 1994, Paluch 1994].

Podobnie jak w przypadku innych rodzajów wód, oddzielny problem stanowi przyjęcie miary statystycznej, która najlepiej opisuje daną serię pomiarową. Dość często przyjmuje się wartość maksymalną, niekiedy z niewielką możliwością jej przekroczenia, lub wartości o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia wraz z wartościami niższymi $p = m/(n + 1)$ (gdzie: p – wartość prawdopodobieństwa, n – liczebność serii pomiarowej, m – kolejny numer elementu serii w ciągu uszeregowanym od wartości najmniejszej do największej), wynoszącym np. 90%. Na rysunku 2 przedstawiono wartości o prawdopodobieństwie wystąpienia 50 i 90%, obliczone dla łącznej populacji wyników pochodzących z trzech obiektów.



Rys. 2. Krzywa rozkładu prawdopodobieństwa dla stężenia azotanów; zaznaczono stężenia, których prawdopodobieństwo wystąpienia wraz z wartościami niższymi wynosi odpowiednio 50 i 90%

Fig. 2. Probability distribution curve for nitrate concentration; values with 50 and 90% probability are indicated

Wartość maksymalna jest miarą mało obiektywną w odniesieniu do występującego w warunkach naturalnych stężenia składników w wodach, ponieważ pojedynczy przypadek może mieć bardzo duży wpływ na wykonaną ocenę. Mimo to dość często różne klasyfikacje opiera się właśnie na wartościach maksymalnych. Wartość średnia, jako słabo odzwierciedlająca właściwości serii pomiarowych, nie cieszy się popularnością, choć jest to miara najmniej zależna od liczebności serii pomiarowej [Pulikowski 2004].

Aby scharakteryzować stężenie azotanów zawartych w wodach drenarskich, dla poszczególnych obiektów i dla wszystkich razem wyliczono kilka najczęściej stosowanych miar statystycznych (tab. 1). Obliczono również stosunek poszczególnych miar do wartości maksymalnej (tab. 2). We wszystkich czterech przypadkach (3 obiekty oddzielnie

Tabela 2. Stosunek wartości poszczególnych miar statystycznych do wartości maksymalnej
 Table 2. Ratios between values of specified statistical measures and maximum value

Iloraz – Ratio	Obiekt – Site			
	Bogaczowice	Henrykowice	Szewce	wszystkie obiekty all sites
C/C_{\max}	0,45	0,42	0,44	0,36
C_{Me}/C_{\max}	0,42	0,34	0,43	0,31
$C_{50\%}/C_{\max}$	0,41	0,36	0,45	0,32
$C_{90\%}/C_{\max}$	0,68	0,76	0,79	0,64

Symbole jak w tabeli 1 – See Table 1 for symbols

i wszystkie łącznie) stosunek średniego do maksymalnego stężenia azotanów zawierał się w bardzo wąskim przedziale od 0,36 do 0,45, przy czym jego wartość była najmniejsza dla wszystkich obiektów traktowanych łącznie.

Wartości obliczone dla tak nielicznych serii pomiarowych nie uprawniają do wysnuwania daleko idących wniosków, są jednak wskazówką do dalszych analiz, które mogłyby dać podstawę do zastąpienia w wielu klasyfikacjach wartości maksymalnych odpowiednio mniejszymi wartościami średnimi, bardziej odpornymi na wyniki przypadkowe. Jeżeli wartości te zostaną wyznaczone w oparciu o stosunek stężenia maksymalnego do średniego (o ile dla dużej liczby serii pomiarowych okaże się on równie wąski jak w omawianym przypadku), to nieprzekroczenie wartości średniej będzie prawie równoznaczne z nieprzekroczeniem wartości maksymalnej.

Bardziej pracochłonne jest stosowanie wartości o zadanym prawdopodobieństwie wystąpienia, a otrzymana wartość może być silnie zawyżona przez jeden wynik znacznie odbiegający od pozostałych z danej serii pomiarowej.

PODSUMOWANIE

Wody drenarskie odpływające z badanych obiektów charakteryzowały się dużą zawartością azotanów, średnio od 67,7 do 105,0 mg NO₃ · dm⁻³. Stężenia maksymalne znacznie przekraczały 240 mg NO₃ · dm⁻³ i najczęściej występowały w okresie wczesnowiosennym.

Średnie stężenie azotanów w wodach drenarskich odpływających z poszczególnych obiektów stanowiło od 42 do 45% wartości maksymalnej. W przypadku serii złożonej ze wszystkich wyników uzyskano wartość 36%.

Wąski zakres wartości stosunku stężenia średniego do maksymalnego pozwala przypuszczać, że do opisu serii badawczej (nie tylko dla azotanów i wód drenarskich) można byłoby wykorzystywać wartość średnią jako miarę dobrze charakteryzującą próbę i odporną na pojedyncze wyniki, znacznie odbiegające od pozostałych, a występujące w sytuacjach przypadkowych.

PIŚMIENNICTWO

- Azot w glebach uprawnych, 1991. Red. T. Mazur. PWN Warszawa.
- Borowiec S., Zabłocki J., 1996. Wpływ rolniczego użytkowania i okrywy roślinnej na stężenia azotanów w ciekach i odciekach drenarskich północno-zachodniej Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 440, 19–25.
- Durkowski T., Burczyk P., 1994. Ocena odpływu składników nawozowych w odciekach drenarskich z gleb Pomorza Zachodniego. Zesz. Nauk. AR Wroc., Konferencje 246, t. III, 81–90.
- Grazhdani S., Jacquin F., Sulce S., 1996. Effect of subsurface drainage on nutrient pollution of surface waters in south eastern Albania. Sci. Tot. Environ. 191, 15–21.
- Hus S., 1994. Związek stężenia zanieczyszczeń wód z przepływami w małych potokach górskich. Roczn. AR Pozn., Melior. Inż. Środ. 15, cz. I, 93–100.
- Ng H.Y.F., Tan C.S., Drury C.F., Gaynor J.D., 2002. Controlled drainage and subirrigation influences tile nitrate loss and corn yields in sandy loam soil in Southwestern Ontario. Agric. Ecosyst. Environ. 90, 81–88.
- Paluch J., 1994. Porównanie jakości wód odpływających z sąsiadujących ze sobą zlewni rolniczej i zalesionej w Kotlinie Marciszowskiej w latach 1987–1989. Prace IBL 21/1, seria B (nr spec.) 129–143.
- Pulikowski K., 2004. Zanieczyszczenia obszarowe w małych zlewniach rolniczych. Zesz. Nauk. AR Wroc., Rozprawy 479.
- Pulikowski K., Paluch J., Paruch A., Kostrzewa S., 2005. Okres pojawiania się maksymalnych stężeń azotanów w wodach powierzchniowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 505, 339–346.
- Terelak H., Pondel H., 1990. Wpływ nawozowej chemizacji rolnictwa na wymywanie składników mineralnych z gleb okolic Puław. Mat. Sem. IMUZ Falenty 27, 131–141.

NITRATE CONCENTRATION IN DRAINAGE WATERS FROM SELECTED SITES OF LOWER SILESIA

Abstract. Research carried out in the hydrological years 1997–2002 investigated the concentration of nitrates in drainage waters from three sites differing in physiographic, climatic and soil conditions. The compounds were determined one or two times per month in the period with outflows. Chemical analyses were performed using spectrophotometric method with 2,6-dimethylphenol. It was found that the drainage waters contained high amounts of nitrates: the mean ranged from 67.7 to 105.0 mg NO₃ · dm⁻³, and the maximum values exceeded 240 mg NO₃ · dm⁻³ and usually appeared in early spring. The mean concentration of nitrates constituted 36 to 45% of the maximum value, so the range of ratios between the mean and the maximum was narrow. If such a result is confirmed in further studies involving a larger number of measuring series, it would be possible to suggest using the mean value for the description of an experimental series. This is a measure that well describes a sample and is independent of incidental single values diverging from the others in the series.

Key words: nitrates, concentration, statistical measure, drainage

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 25.07.2008