

# **KSZTAŁTOWANIE SIĘ SKŁADU CHEMICZNEGO WÓD CIEKU SPOD LASZCZEK W NASTĘPSTWIE JEGO PRZEPIYU PRZEZ OBSZARY RÓŻNIE ZAGOSPODAROWANE PRZESTRZENNIE**

**Ludmiła ROSSA, Michał FIC**

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Sanitacji Wsi

*Słowa kluczowe: jakość wód, klasyfikacja wód, spływ powierzchniowy, zanieczyszczenia obszarowe*

## **Streszczenie**

Przeprowadzono badania składu chemicznego wód powierzchniowych w odpływie ze zlewni cząstkowych, obejmujących: rolniczo użytkowany obszar zasilania podziemnego źródeł i leśny obszar ich bezpośredniego otoczenia, obszar wiejski oraz obszar rezerwatu. W latach 2000–2001 badano zmiany odczynu, ChZT oraz stężenia azotu azotanowego, amonowego, fosforanów, chlorków i wapnia w trzech przekrojach hydrometrycznych Cieku Wschodniego spod Laszczek. W okresach wezbrań zwiększało się stężenie badanych zanieczyszczeń w wodach cieków. W próbach pobranych za obszarem wiejskim ich wartości przekraczały normy dopuszczalne dla trzeciej klasy czystości wód powierzchniowych. Jakość wód cieków ulegała poprawie po przepłynięciu przez obszar rezerwatu, nadal jednak występowało znaczne stężenie fosforanów pochodzących ze źródeł obszarowych.

## **WSTĘP**

Ochrona jakości wód powierzchniowych wymaga rozpoznania zarówno ognisk powstawania zanieczyszczeń jak i mechanizmów ich dopływu do cieków. Podstawowymi czynnikami kształtującymi transport zanieczyszczeń są fizjografia zlewni oraz jej zagospodarowanie. Warunkują one transformację opadu w spływ po-

wierzchniowy i śródpokrywowy, jego infiltrację oraz mają wpływ na zanieczyszczenie wód.

W stosunku do ognisk zanieczyszczeń stosowany jest podział, uwzględniający sposób wprowadzenia wody i niesionych w niej zanieczyszczeń do odbiornika. Rozróżnia się punktowe i liniowe ogniska zanieczyszczeń, powstające w wyniku działalności gospodarczej (dopływ ścieków bytowych i przemysłowych, odcieków ze składowisk odpadów i odchodów zwierzęcych, spływów z dróg) oraz zanieczyszczenia obszarowe, które powstają w procesach naturalnych: depozycji zanieczyszczeń z atmosfery, erozji gleb, lub na skutek produkcji rolno-hodowlanej. Istotnym czynnikiem kształtującym skład chemiczny wód powierzchniowych jest także specyfika dopływu podziemnego, którego składowe stanowią tzw. spływy śródpokrywowy oraz zasilanie wodami podziemnymi bliskiego i dalekiego krążenia. Szczególnie interesujące są wyniki badań wykonywanych w okresach wezbrań (ze względu na intensyfikację procesów hydrochemicznych zachodzących w zlewni) [OSTROWSKI, 1987; PAWLIK-DOBROWOLSKI i in., 1993].

Każdy z wymienionych rodzajów dopływu substancji do cieków może być charakteryzowany różnymi wskaźnikami chemicznymi oraz przestrzennym rozkładem ich wartości w wodach powierzchniowych. Na przykład zwiększenie przewodnictwa i ChZT w wodach cieków najczęściej są spowodowane dopływem zanieczyszczeń z ognisk punktowych [DELETIC, MAKSIMOVIC, 1998], równomierny przestrzennie rozkład stężenia biogenów świadczy o występowaniu zanieczyszczeń obszarowych [SAPEK, 1996; SMOROŃ, 1998; TAYLOR i in., 1997], a zwiększenie stężenia jonów wapnia może wskazywać na znaczne zasilanie podziemne cieków [FIC, ROSSA, w druku].

Celem niniejszej pracy jest krótka charakterystyka ognisk zanieczyszczeń i ich oddziaływania na skład chemiczny wód Cieków Wschodniego spod Laszczek, przepływającego przez obszary różnie zagospodarowane.

## OBIEKT I METODY BADAŃ

Obiekt doświadczalny – zlewnia niewielkiego Cieków spod Laszczek znajduje się w zlewni Raszynki, dopływu Utraty. Analizowany obszar zobrazowano na mapie umieszczonej na okładce. Teren jest płaski, występują jedynie niewielkie spadki morfologiczne. Na najniższych położonych terenach, w dolinie cieków występują gleby: mułowo-murszowe, mineralno-murszowe i czarne ziemie. Znajdujące się wyżej łąki i grunty orne są położone na glebach brunatnych i czarnych ziemiach zdegradowanych o składzie granulometrycznym piasków gliniastych lekkich, piasków gliniastych mocnych, a także gliny średniej.

Badany ciek wypływa ze źródeł oddalonych o ok. 1 km od zabudowań wsi Laszczki, poprzez rowy melioracyjne odbiera spływ z terenów otaczających wieś Laszczki i Falenty Duże, a następnie zasila system Stawów Raszyńskich. Ciek

spod Laszczek ma charakter drenujący, ze względu na szczególne uwarunkowania hydrogeologiczne występuje silne zasilanie cieką wodami podziemnymi dalekiego krążenia [FIC, MIODUSZEWSKI, 2003].

W badanej zlewni 18,4% powierzchni jest zabudowane, 74,1% pokrywają użytki rolne (przeważnie łąki), a 7,5% nieużytki i lasy. Zlokalizowane w obszarze badań wsie liczą łącznie ok. 280 mieszkańców, charakteryzują się zwartą zabudową, brak w nich zbiorczych systemów wodno-kanalizacyjnych. Rozmieszczenie przekrojów kontrolnych na Cieką Wschodnią spod Laszczek pokazano na mapie rejonu Falent (patrz wklejka).

Pierwszy przekrój kontrolny (K-1) zlokalizowano na km 3+400 długości cieką, powierzchnia zamkniętej nim zlewni cząstkowej wynosi 1,99 km<sup>2</sup> i obejmuje obszar użytków rolnych i lasów wokół źródeł. Następny przekrój kontrolny (K-2) położony jest na km 1+850, długości cieką, za obszarem wiejskim, zamyka obszar zlewni o powierzchni 4,02 km<sup>2</sup>. Ostatni przekrój kontrolny, na km 1+300 długości cieką, został zlokalizowany za obszarem rezerwatu i zamyka zlewnię o powierzchni ok. 4,42 km<sup>2</sup>. Ze względu na niewielką powierzchnię rezerwatu nie można pominąć określonego oddziaływania ognisk zanieczyszczeń położonych poza jego granicami, ale w obrębie zlewni hydrologicznej (przydrożne rowy, szosa itp.). Istotny wpływ na zanieczyszczenie cieką w przekroju K-3 ma również okresowy dopływ wody ze Stawu Spiskiego.

Próby wody pobierano w latach 2000–2001 z różną częstością, największą w okresach wezbrań. W próbach wody oznaczano odczyn – elektrochemicznie, ChZT – metodą dwuchromianową oraz stężenia: chlorków – argentometrycznie, azotu amonowego – metodą indofenolową, azotu azotanowego – metodą fotometryczną z nitrospektralem, fosforanów – metodą fotometryczną z molibdenianem amonu i wapń – kompleksonometrycznie.

## ANALIZA WYNIKÓW

W latach 2000–2001 pobrano próby wody z Cieką Wschodnią od Laszczek w trzech przekrojach kontrolnych w warunkach zróżnicowanego natężenia przepływu (czterdzieści jeden serii). Otrzymany zbiór danych poddano analizie statystycznej, której wyniki zamieszczono w tabeli 1.

Analizując miary statystyczne, charakteryzujące zbiory pomierzonych stężeń wybranych zanieczyszczeń, stwierdzono duży rozrzut wyników. Otrzymane średnie wartości stężenia badanych związków w poszczególnych przekrojach kontrolnych niewiele się różnią i na ich podstawie nie można ocenić ilości zanieczyszczeń zmywanych z powierzchni wybranych obszarów.

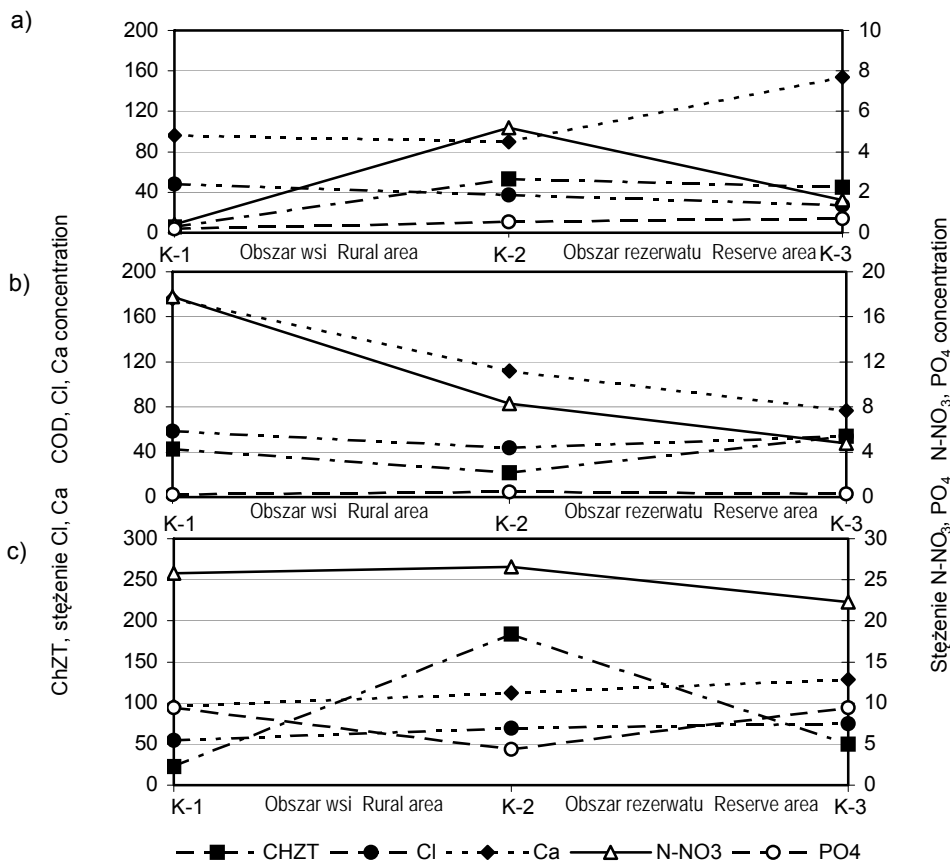
Od wpływ zlewni rzecznej jest kształtowany przez dopływ podziemny i od wpływ bezpośredni, spowodowany wpływem powierzchniowym. Zakłada się, że zanieczyszczenia zmywane z powierzchni znajdują się w odpływie ze zlewni

**Tabela 1.** Średnie wartości przepływów ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) i stężeń ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) zanieczyszczeń w przekrojach kontrolnych badanego ciek

**Table 1.** Mean discharges ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) and concentrations of pollutants ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) in control cross-sections of the studied stream

Przekrój Cross-section	Miara statystyczna Statistics	Przepływ Discharge	pH	ChZT COD	Stężenie Concentration				
					N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Cl	Ca
K-1	<b>Średnia <math>\bar{x}</math> Mean <math>\bar{x}</math></b>	<b>17,07</b>	<b>7,0</b>	<b>26,3</b>	<b>0,16</b>	<b>13,20</b>	<b>1,66</b>	<b>73,8</b>	<b>112,5</b>
	Minimum	4,86	6,2	0,0	0,001	0,11	0,004	25,0	19,8
	Maksimum Maximum	50,64	7,6	142,0	1,16	25,80	13,8	152,8	176,3
	Odchylenie standardowe <i>SD</i> Standard deviation <i>SD</i>	10,24	0,31	28,4	0,19	6,18	3,26	34,8	17,4
	Współczynnik zmienności <i>SD/x</i> Variability coefficient <i>SD/x</i>	0,60	0,05	1,08	1,19	0,47	1,96	0,47	0,21
K-2	<b>Średnia <math>\bar{x}</math> Mean <math>\bar{x}</math></b>	<b>108,48</b>	<b>7,1</b>	<b>31,9</b>	<b>0,72</b>	<b>6,92</b>	<b>1,33</b>	<b>63,8</b>	<b>102,1</b>
	Minimum	34,88	6,5	0,0	0,001	1,12	0,02	10,0	61,1
	Maksimum Maximum	427,14	7,5	184,2	11,60	26,60	8,10	127,4	150,7
	Odchylenie standardowe <i>SD</i> Standard deviation <i>SD</i>	81,69	0,27	36,5	2,40	4,97	1,82	30,8	17,2
	Współczynnik zmienności <i>SD/x</i> Variability coefficient <i>SD/x</i>	0,73	0,04	1,14	3,33	0,72	1,34	0,48	0,17
K-3	<b>Średnia <math>\bar{x}</math> Mean <math>\bar{x}</math></b>	<b>165,50</b>	<b>7,1</b>	<b>26,1</b>	<b>0,24</b>	<b>5,34</b>	<b>1,45</b>	<b>60,4</b>	<b>97,3</b>
	Minimum	64,65	6,41	0,0	0,03	0,13	0,03	18,8	5,3
	Maksimum Maximum	674,13	7,5	94,2	1,23	23,30	9,50	140,8	153,9
	Odchylenie standardowe <i>SD</i> Standard deviation <i>SD</i>	101,06	0,27	21,1	0,26	4,04	2,07	32,4	24,6
	Współczynnik zmienności <i>SD/x</i> Variability coefficient <i>SD/x</i>	0,61	0,04	0,92	1,08	0,76	1,43	0,54	0,25

w czasie wystąpienia fali wezbraniowej [OSTROWSKI, 1987]. Uderzeniowy charakter dopływu zanieczyszczeń po wystąpieniu deszczów nawalnych zwiększa zagrożenie dla środowiska wodnego, zwłaszcza w małych ciekach, gdzie stężenie zanieczyszczeń w okresie wezbrań zwiększa się kilkakrotnie, a ładunki – ponad dziesięciokrotnie [ROSSA, 2001]. Dlatego do oceny oddziaływania obszarów skrajnie zróżnicowanych pod względem zagospodarowania przestrzennego na skład chemiczny wód powierzchniowych, porównano wartości wskaźników zanieczyszczeń w pojedynczych falach odpływu w warunkach różnego natężenia przepływu wód. Przykładowe wartości stężenia wybranych związków w warunkach różnych stanów wody przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przebieg zmian ChZT i stężenia wybranych zanieczyszczeń ( $g \cdot m^{-3}$ ) we Wschodnim Ciekę spod Laszczek w warunkach różnych stanów wody; a) stan niski (30.05.2001 r.), b) stan średni (10.04.2001 r.), c) stan wysoki (25.04.2001 r.)

Fig. 1. Changes of COD and concentrations of some pollutants ( $g \cdot m^{-3}$ ) in the Falenty Stream at different water stages; a) low water stage (30.05.2001), b) medium water stage (10.04.2001), c) high water stage (25.04.2001)

Wartość pH wody nieznacznie zmniejsza się wraz z biegiem cieką, prawdopodobnie na skutek zasilania wodami gruntowymi, infiltrującymi przez humusową warstwę gleb. W czasie występowania wysokich opadów o charakterze kwaśnym, wartość pH wody odprowadzanej w odpływie ze zlewni krótkotrwale się zmniejszała.

Chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT) w próbach wody pobranych w warunkach niskich i średnich stanów wody w cieką nie przekraczało wartości stężeń dopuszczalnych dla pierwszej klasy czystości wód powierzchniowych. Podwyższone wartości tego wskaźnika obserwowano w próbach wody pobranych w przekroju hydrometrycznym K-1, położonym w pobliżu źródeł cieką i w przekroju K-2, położonym za obszarem wsi. W okresie występowania wezbrań wartość ChZT w wodzie Cieką Wschodniego spod Laszczek zwiększała się kilkakrotnie. Najwyższe wartości, przekraczające granicę dopuszczalną dla wód powierzchniowych trzeciej klasy czystości ( $100 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ ) oznaczono w próbach pobranych w przekroju K-2.

Stężenie azotu amonowego w warunkach niskich i średnich stanów wody nie przekraczało wartości dopuszczalnych dla wód powierzchniowych pierwszej klasy czystości. Największe stężenie azotu amonowego w tym okresie obserwowano w próbach wody pobranych w przekroju kontrolnym K-1. W okresach wezbrań stężenie azotu amonowego znacznie zwiększało się w próbach wody pobranej w przekroju K-2, często przekraczając wartość  $6,0 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$ , dopuszczalną dla wód powierzchniowych trzeciej klasy czystości.

Stężenie azotu azotanowego w warunkach niskich i średnich stanów wody nie przekraczało  $10 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ , przyjmując najwyższe wartości najczęściej w próbach pobranych w przekroju K-2, położonym za obszarem wiejskim, rzadziej w próbach pobranych w przekroju K-1, blisko źródeł cieką. Stężenie tego wskaźnika znacznie zwiększało się w warunkach wysokich stanów wody, najwyższe wartości (przekraczające  $15 \text{ g N-NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$  dopuszczalne dla trzeciej klasy jakości wód powierzchniowych), odnotowano w próbach pobranych w przekroju hydrometrycznym K-2 za obszarem wiejskim.

Stężenie fosforanów w warunkach niskich i średnich stanów wody zwiększało się wraz z biegiem cieką, nie przekraczając jednak wartości  $1 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ . W okresach wezbrań stężenie fosforanów w wodach cieką zwiększało się kilkakrotnie, najwyższe, oznaczone wartości stężenia fosforanów w próbach wody z przekroju kontrolnego za obszarem wiejskim przekraczały wartość dopuszczalną dla wód powierzchniowych trzeciej klasy czystości.

Stężenie chlorków w warunkach niskich i średnich stanów wody było większe w próbach wody pobranej z przekroju kontrolnego K-1, w pobliżu źródeł cieką, a w warunkach wysokich stanów wody w próbach pobranych w ostatnim przekroju kontrolnym K-3, położonym za obszarem chronionym. W całym okresie badań wartości stężenia chlorków tylko nieznacznie wzrastały w okresach wezbrań,

utrzymując się w zakresie dopuszczalnym dla wód powierzchniowych pierwszej klasy czystości.

Stężenie wapnia było najmniej zmienne i nie przekraczało wartości dopuszczalnych dla wód powierzchniowych pierwszej klasy czystości. Niewielkie zwiększenie stężenia wapnia w warunkach wysokich stanów wody obserwowano w próbach pobranych w przekroju kontrolnym, za obszarem chronionym. Wynika to ze stosowania wapnia do odkażania stawów w okresie zimowym.

Analiza odrębnych zbiorów wartości chwilowych stężenia badanych związków w warunkach niskich i wysokich stanów wody ułatwia identyfikację ognisk zanieczyszczenia wód powierzchniowych w zlewni Cieku Wschodniego spod Laszczek. Występujące w warunkach niskich stanów wody większe stężenie azotu amonowego, azotanowego i chlorków w próbach wody z pierwszego przekroju kontrolnego K-1 można tłumaczyć mineralizacją materii organicznej w sztucznie zmodyfikowanym systemie gromadzenia i odprowadzania wody z obszaru źródliskowego i jej odprowadzania z tego obszaru. Zwiększenie wartości chemicznego zapotrzebowania na tlen, stężenia azotu amonowego i fosforanów w próbach pobranych w przekroju kontrolnym za obszarem wiejskim w warunkach niskich stanów wody jest związane z dopływem zanieczyszczeń z ognisk punktowych, takich jak nieszczelne szamba czy odcieki ze składowisk odchodów zwierzęcych.

W okresach wezbrań wartość ChZT oraz stężenie fosforanów, azotu amonowego i azotanowego w wodach Cieku Wschodniego spod Laszczek zwiększały się wielokrotnie, przekraczając wartości dopuszczalne dla wód trzeciej klasy czystości. Najwyższe wartości tych parametrów oznaczono w próbach wody z przekroju hydrometrycznego K-2, zlokalizowanego za obszarem wiejskim. Po przepływie cieku przez obszar chroniony wartość ChZT, stężenie azotu amonowego i często azotu azotanowego zmniejszały się, co sugeruje zmywanie tych związków z obszaru zabudowanego wsi. W tym samym okresie stężenie chlorków i fosforanów oraz sporadycznie azotu azotanowego w próbach wody przekroju hydrometrycznego K-3 (za obszarem chronionym) przyjmowały wartości niewiele niższe od oznaczonych w przekroju kontrolnym za obszarem wiejskim, co sugeruje dopływ tych związków ze źródeł obszarowych. Chlorki są wprowadzane do badanej zlewni i wód powierzchniowych wraz z opadem atmosferycznym, a fosforany przez wymywanie z wierzchniej warstwy nawożonych gleb. Znaczna część wszystkich związków jest wnoszona do wód powierzchniowych za pośrednictwem dopływu podziemnego.

## WNIOSKI

1. Wartości stężenia zanieczyszczeń w przekrojach hydrometrycznych należy analizować z uwzględnieniem fizjografii i zagospodarowania badanego terenu.

Identyfikacja ognisk zanieczyszczeń jest możliwa, gdy skład chemiczny wody bada się zarówno w okresie średnich i niskich stanów wody, jak i w okresach wezbrań.

2. W okresach wezbrań obserwowano wielokrotne zwiększenie stężenia związków organicznych, azotowych i fosforowych w przekroju kontrolnym, zlokalizowanym za obszarem wiejskim. Oznaczone wartości stężenia wymienionych zanieczyszczeń przekraczały wartości dopuszczalne dla wód powierzchniowych trzeciej klasy czystości.

3. W badaniach potwierdzono fakt poprawy jakości wód cieką po jego przepływie przez obszar rezerwatu. Najbardziej widoczne zmiany składu chemicznego wody występowały w okresach wezbrań. Zanieczyszczenie związkami zmywanymi z powierzchni terenu zmniejszało się: azotu amonowego o 17%, azotanowego o 15%, a wskaźnik zanieczyszczenia wód związkami organicznymi ChZT – o 58%. Natomiast stężenie związków fosforowych wymywanych z wierzchnich warstw gleby pozostawało na wysokim niezmiennym poziomie, a stężenia chlorków i wapnia wzrastały zaledwie o 3 i 5%.

## LITERATURA

- DELETIC A. B., MAKSIMOVIC C.T., 1998. Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas. *J. Environ. Eng.* vol. 124 no. 9 s. 869–879.
- FIC M., MIODUSZEWSKI W., 2003. Pionowa zmienność wód podziemnych w rejonie Falent Woda Środ. Obsz. Wiej. w niniejszym Zeszytcie s. 39–50.
- FIC M., ROSSA L., w druku. Zmiany stężeń związków azotu w poszczególnych fazach obiegu wody w małej zlewni rzecznej. W: Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce. Łódź: Wydaw. UŁ.
- OSTROWSKI J., 1987. Modelowanie hydrogramów wezbrań opadowych w małych zlewniach niekontrolowanych na podstawie sieci zlewni reprezentatywnych. Cz. 2. *Wiad. IMGW t. 10 (31) z. 2–3* s. 45–52.
- PAWLIK–DOBROWOLSKI J., DOMAGAŁA R., MROZEK T., 1993. Dynamika składu chemicznego wód w bezpośrednich dopływach zbiornika retencyjnego w Dobczycach. *Zesz. Nauk. P. Krak. Monogr. nr 145* s. 196–212.
- ROSSA L., 2001. Zanieczyszczenia wód deszczowych spływających z zabudowanych obszarów wsi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 477* s. 151–159.
- SAPEK A., 1996. Udział rolnictwa w zanieczyszczeniu wody składnikami nawozowymi. *Zesz. Edukac. z. 1. Falenty: Wydaw. IMUZ* s. 9–34.
- SMOROŃ S., 1998. Przenikanie substancji biogennej ze źródeł rolniczych do środowiska – czynnik eutrofizacji wód powierzchniowych. *Zesz. Edukac. z. 5. Falenty: Wydaw. IMUZ* s. 57–68.
- TAYLOR R., BOGACKA T., MAKOWSKI Z., 1997. Emisja azotu i fosforu z obszaru Polski do wód powierzchniowych. *Wiad. IMGW t. 20 z. 3 s. 3–21*.



*Ludmila. ROSSA, Michał FIC*

**WATER CHEMICAL COMPOSITION AS A CONSEQUENCE OF STREAM FLOW  
THROUGH RURAL AND PROTECTED AREAS**

*Key words: water quality, water classification, surface runoff, diffuse pollutants*

**S u m m a r y**

Chemical composition of surface waters was analysed at the outflow from partial catchments, which involved: an agriculturally utilized area of underground springs, forest area in close surrounding of the former, rural area and protected area. Reaction (pH), COD, nitrate and ammonium nitrogen, phosphates, chlorides and calcium were analysed in three hydrometric cross-sections of the Falenty Stream in 2000–2001. Concentrations of studied pollutants markedly increased during high water periods and in samples taken downstream the rural area they were higher than permissible standards for the third class surface water quality. Water quality in the stream improved after passing the protected area though concentrations of phosphates originating from diffuse sources were still high.

---

**Recenzenci:**

*prof. dr hab. Aleksandra Macioszczyk*

*prof. dr hab. Henryk Pawłat*

Praca wpłynęła do Redakcji 1.10.2002 r.