ZESZYTY PROBLEMOWE POSTĘPÓW NAUK ROLNICZYCH 2001 z. 475: 225–234

SKŁAD CHEMICZNY WÓD GRUNTOWYCH NA OBIEKTACH NAWADNIANYCH ŚCIEKAMI PRZEMYSŁOWYMI

Adam Paruch, Krzysztof Pulikowski, Julian Paluch, Stanisław Kostrzewa

Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Wstęp

Dla wielu rodzajów ścieków preferowaną metodą ich unieszkodliwiania jest oczyszczanie w naturalnym środowisku glebowo-roślinnym. Istotą tej metody jest wykorzystanie naturalnych właściwości gleby – biologicznie aktywnej wierzchniej warstwy ziemi, złożonej z cząstek mineralnych, materii organicznej, powietrza, wody i organizmów żywych [KUCZEWSKI, PALUCH 1997; SOIL QUALITY ... 1999] – do procesów mineralizacji i oczyszczania oraz roślin do usuwania ściekowych zanieczyszczeń.

Środowisko glebowo-roślinne przyjmując ścieki nie tylko je oczyszcza, ale również wykorzystuje ich składniki do budowy biomasy roślinnej [KUTERA 1985; CZYŻYK 1994; HUS, KUTERA 1994]. Z tych względów oczyszczanie w naturalnym środowisku przyrodniczym jest metodą preferowaną dla ścieków najbardziej zasobnych w związki organiczne i nawozowe, a więc głównie dla ścieków pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego [MAJDOWSKI 1982; CZYŻYK 1994]. Najlepsze efekty oczyszczania tego rodzaju ścieków uzyskuje się na glebach zwięzłych, natomiast największą przydatność w usuwaniu ściekowych zanieczyszczeń mają kośne użytki zielone, będące jednocześnie najlepszym odbiorcą całorocznego zrzutu ścieków [KUTERA 1981; MAJDOWSKI 1982; CZYŻYK 1994]. Część nieusuniętych przez roślinność ściekowych związków allochtonicznych może pozostawać w glebie, rozbudowując i wzbogacając jej kompleks sorpcyjny, część natomiast może migrować z wodą przez strefę aeracji w głąb profilu glebowego. Konsekwencją infiltracji wody i migracji rozpuszczonych w niej zanieczyszczeń jest zarówno zasilanie, jak i zanieczyszczanie wód podziemnych w strefie aeracji i saturacji. Granicę obu stref wyznacza swobodne zwierciadło wody gruntowej, stąd ten typ wód narażony jest bezpośrednio na zanieczyszczenia.

Materiał i metody badań

Badania nad jakością wód gruntowych z terenów nawadnianych ściekami prowadzono w latach 1998–2000, na obiektach oczyszczania i utylizacji ścieków pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego, tj.: cukrowni w Pustkowie Żurawskim (woj. dolnośląskie) oraz drożdżowni w Wołczynie (woj. opolskie).

Cukrownia „Pustków" odprowadza w trakcie kampanii 20,5–56,0 tys. m^3 ścieków przemysłowych, które podczyszczane są w stabilizacyjnym zbiorniku aku-

mulacyjnym i doczyszczane poprzez nawadnianie użytków zielonych. Obiekt o powierzchni 34,8 ha, przewidziany jest do odbioru 100 tys. m^3 ścieków w ciągu całego roku. Przy obecnych ilościach ścieków nawodnienia wykonywane są wyłącznie w okresie wegetacyjnym i tylko na części obiektu. Przeprowadzone badania wód gruntowych obejmowały powierzchnię 10,7 ha użytków zielonych. Gleby tego obszaru zbudowane są w wierzchnich warstwach z glin pylastych i utworów pyłowych, natomiast w warstwach głębszych z utworów silnie przepuszczalnych – żwirów piaszczystych i pospółek. Do nawodnień wykorzystywane są nawijane rurociągi deszczujące typu „Raj-3", które w okresie IV–IX rozdeszczowują 100–200 mm ścieków, w polewowych dawkach 33 mm.

Śląska Fabryka Drożdży w Wołczynie w czasie dobowej produkcji drożdży piekarskich wytwarza ok. 1,7 tys. m^3 ścieków technologicznych, a w skali rocznej ok. 570 tys. m^3 ścieków. Do ich unieszkodliwiania przeznaczona jest powierzchnia 620 ha gruntów ornych, z której obiekt nawadniany ściekami zajmuje ok. 530 ha. Na polach tego obiektu prowadzone są uprawy w płodozmianie przemysłowo-zbożowym, złożonym z buraka cukrowego i rzepaku oraz zbóż jarych i ozimych. Gleby nawadnianych pól stanowią utwory pyłowo gliniaste i piaski gliniaste, niecałkowite, zalegające na piaskach słabo gliniastych i luźnych. Ścieki z drożdżowni gromadzone są w zbiornikach wyrównawczych, z których po rozcieńczeniu czystą wodą w stosunku 1 : 1 kierowane są do całorocznych nawodnień. Roczne dawki ścieków wahają się od 40 mm (dla zbóż) do 140 mm (dla roślin przemysłowych). Dawki polewowe wynoszą 20 mm. Nawodnienia prowadzone są z wykorzystaniem deszczowni przetaczanych typu „Wisła" oraz deszczowni nawijanych typu „Raj-3".

Ścieki do analiz chemicznych pobierano bezpośrednio ze zbiorników, tzn. podczyszczone ścieki z cukrowni ze zbiornika akumulacyjnego, a ścieki podrożdżowe, przed rozcieńczeniem, ze zbiornika wyrównawczego. Próbki wód gruntowych do oznaczeń laboratoryjnych pobierano z piezometrów usytuowanych na obiektach oczyszczania ścieków i powyżej tych obiektów. Badania składu ścieków i wód wykonane zostały, zgodnie z obowiązującą metodyką i normami, w laboratoriach: Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska AR we Wrocławiu oraz Dolnośląskiego Ośrodka Badawczego IMUZ we Wrocławiu.

Uzyskane z oznaczeń laboratoryjnych wyniki poddano analizie statystycznej oceniającej istotność zróżnicowania średnich wartości wskaźników chemicznych tła (wody powyżej terenów nawadnianych ściekami), z tymi wartościami w wodach na obiektach oczyszczania ścieków. Analizy oparto o statystyczny test t-Studenta dla prób niezależnych, wyznaczający zróżnicowanie na poziomie istotności $\alpha = 0{,}05$ i $\alpha = 0{,}01$.

Wyniki i dyskusja

Oczyszczanie ścieków z cukrowni w zbiorniku akumulacyjnym nie zapewnia uzyskania zadowalających efektów eliminacji zanieczyszczeń związkami biogennymi. Ich zawartości, tj. azotu amonowego i ogólnego, w ściekach ze zbiornika (tab. 1) przekraczają dopuszczalne zawartości tych składników ustalone dla ścieków wprowadzanych do wód i do ziemi [ROZPORZĄDZENIE 1991]. Jak wynika z tabeli 1 przekroczenia normatywnych wartości dotyczą także substancji rozpuszczonych, BZT_5 i potasu. Pożądane efekty unieszkodliwiania tego rodzaju ścieków uzyskuje się przy ich oczyszczaniu w naturalnym środowisku glebowo-roślinnym

[BRANDYK 1978; MAJDOWSKI 1982; HUS i in. 1996]. Możliwe jest wówczas obniżenie ściekowych wartości BZT_5 o 99%, azotu o 91% i fosforu o 92% [BRANDYK 1978]. Ta sama metoda naturalnego oczyszczania ścieków, preferowana jest do unieszkodliwiania jednych z najbardziej uciążliwych i zagrażających środowisku ścieków przemysłu rolno-spożywczego, tj. ścieków z drożdżowni [KUTERA 1981; MAJDOWSKI 1982; CZYŻYK 1994; CZYŻYK, PARUCH 1999]. Charakteryzują się one znaczną ilością zanieczyszczeń organicznych (głównie w postaci związków rozpuszczonych) i mineralnych (przede wszystkim potasu, azotu, siarczanów, chlorków i sodu) oraz kwaśnym odczynem (tab. 1). Taki charakter ścieków sprawia, że ich oczyszczanie klasycznymi metodami w warunkach sztucznych jest bardzo utrudnione i jednocześnie kosztowne, a w rezultacie nie zapewnia oczekiwanych efektów eliminacji ściekowych zanieczyszczeń [KUTERA 1985].

Tabela 1; Table 1

Wartości wskaźników chemicznych w ściekach z cukrowni (w zbiorniku akumulacyjnym) i z drożdżowni (w zbiorniku wyrównawczym)

Values of chemical indicators in wastewater from sugar factory (in storage tank) and from yeast factory (in surge tank)

Wskaźniki chemiczne Chemical indicators	Pochodzenie ścieków; Wastewater origin	
	cukrownia sugar factory	drożdżownia yeast factory
	minimum	maksimum; maximum
	średnia; mean	
Substancje rozpuszczone ogółem; Total solutes ($mg \cdot dm^{-3}$)	770–3139 **1495,1**	6610,0–13300,0 **10015,7**
BZT_5; BOD_5 ($mg\ O_2 \cdot dm^{-3}$)	83,0–1680,0 **522,0**	6750,0–11500,0 **9214,3**
Azot amonowy; Ammonium nitrogen ($mg\ N\text{-}NH_4 \cdot dm^{-3}$)	7,3–30,4 **19,2**	46,5–299,5 **119,8**
Azot organiczny; Organic nitrogen ($mg\ N_{org.} \cdot dm^{-3}$)	12,6–29,7 **20,5**	615,2–1067,8 **827,5**
Azot azotanowy; Nitrate nitrogen ($mg\ N\text{-}NO_3 \cdot dm^{-3}$)	0,1–0,4 **0,1**	5,6–15,6 **9,2** ($N\text{-}NO_X$)
Azot ogólny; Total nitrogen ($mg\ N \cdot dm^{-3}$)	30,9–48,8 **39,9**	748,1–1173,6 **956,6**
Fosfor ogólny; Total phosphorus ($mg\ P \cdot dm^{-3}$)	0,4–4,7 **2,1**	10,5–41,8 **19,8**
Chlorki; Chlorides ($mg\ Cl^- \cdot dm^{-3}$)	44,0–133,0 **85,9**	305,0–640,0 431,1
Siarczany; Sulphates ($mg\ SO_4^{2-} \cdot dm^{-3}$)	30,0–147,0 **87,8**	460,0–780,0 **630,4**
Sód; Sodium ($mg\ Na^+ \cdot dm^{-3}$)	24,5–81,5 **39,7**	332,9–489,0 **417,8**
Potas; Potassium ($mg\ K^+ \cdot dm^{-3}$)	100,2–198,5 **141,6**	1384,0–2135,0 **1708,1**
Odczyn pH; Reaction pH	7,1–8,9	4,6–6,0

$N\text{-}NO_X = N\text{-}NO_3 + N\text{-}NO_2$

Głównym celem oczyszczania ścieków w naturalnym środowisku glebowo-roślinnym, oprócz mineralizacji zanieczyszczeń w glebie i usuwania ich przez rośliny, jest ochrona wód przed zanieczyszczeniem. Jakość wód, będących pod bezpośrednim wpływem obiektów nawadnianych ściekami, świadczy bowiem nie tylko o prawidłowej eksploatacji tych obiektów, ale przede wszystkim o ich skuteczności w eliminowaniu zanieczyszczeń. W odniesieniu do wód gruntowych ocena ich stanu czystości i ewentualna klasyfikacja nie może być dokonana w oparciu o przepisy formalno-prawne, gdyż takie w Polsce nie obowiązują. Nie jest bowiem prawnie wiążącą opracowana przez PIOŚ „Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu" [STANIEWICZ-DUBOIS 1995], która traktuje ogólnie wszystkie wody podziemne, niezależnie od ich pochodzenia czy też położenia względem powierzchni terenu. Z tego względu jakość badanych wód na obiektach oczyszczania ścieków z cukrowni i drożdżowni może być oceniona przede wszystkim wg wartości tła, tj. stanu jakości wód gruntowych z terenów położonych powyżej obiektów nienarażonych na antropogeniczne zanieczyszczenia ściekami. Porównując skład chemiczny analizowanych wód (tab. 2 i 3) zaobserwować można tendencję tych samych różnic (spadków bądź wzrostów) średnich wartości w wodach na obu obiektach w stosunku do wód poza obiektami. Obserwowane były zatem mniejsze wartości: substancji rozpuszczonych, BZT_5, azotu amonowego i ogólnego, chlorków, siarczanów oraz sodu w wodach na obiektach w porównaniu do ich tła. Spośród wymienionych wskaźników statystycznie istotne mniejsze wartości średnie od tych wartości w wodach poza obiektami wykazywały: substancje rozpuszczone i azot amonowy (α = 0,01 przy nawadnianiu ściekami z cukrowni i α = 0,05 przy nawadnianiu ściekami podrożdżowymi), azot ogólny (α = 0,05 przy nawadnianiu ściekami podrożdżowymi), chlorki i siarczany (α = 0,01 przy nawadnianiu ściekami z cukrowni) oraz sód (α = 0,01 w wodach z obu obiektów). W przypadku istotnie niższych wartości siarczanów, w wodach gruntowych na obiekcie nawadnianym ściekami z cukrowni przekroczone były umowne wartości dopuszczalne tego wskaźnika dla wód podziemnych [STANIEWICZ-DUBOIS 1995].

Wyższą zawartość w wodach na obiektach, niż poza ich obszarem, wykazywały natomiast: azot organiczny, fosfor ogólny oraz potas, którego średnie ilości w obu przypadkach różniły się istotnie (α = 0,01) od ilości w tle. Wynika to z zasobności oczyszczanych ścieków w potas oraz jego znacznego wymywania z nawadnianych gleb [MAJDOWSKI 1982; CZYŻYK 1994]. Składnik ten jest w mniejszym stopniu, niż np. fosfor, zatrzymywany przez glebowy kompleks sorpcyjny, a po jego wysyceniu łatwo i w dużych ilościach ulega wypłukiwaniu [FOTYMA, MERCIK 1995].

Wzrostem wartości cechowało się również pH wód z terenów nawadnianych w stosunku do nienawadnianych ściekami. W przypadku deszczowania gleb kwaśnymi ściekami z drożdżowni stan ten wynikać może z okresowego wapnowania pól, które stosowane jest na obiekcie i w sposób najbardziej skuteczny reguluje odczyn deszczowanych gleb [CZYŻYK 1994; CZYŻYK, PARUCH 1999].

Jedynym składnikiem wykazującym odmienną tendencję zróżnicowania ilości w wodach gruntowych na obiektach badawczych i poza nimi był azot w formie $N\text{-}NO_3$ i $N\text{-}NO_x$ = $N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$. Różnice polegały na istotnie wyższej (α = 0,05) średniej zawartości $N\text{-}NO_3$ w wodach na obiekcie deszczowanym ściekami z cukrowni i istotnie niższej (α = 0,01) średniej zawartości $N\text{-}NO_x$ w wodach na obiekcie deszczowanym ściekami podrożdżowymi, w stosunku do tych

zawartości w tle. Mimo to ilości statystycznie wyższe odpowiadały (łącznie z zakresem minimum – maksimum) wartościom z umownie przyjętej Ib i II klasy jakości wód podziemnych [STANIEWICZ-DUBOIS 1995]. Istotnie niższe ilości N-NO_x odpowiadały natomiast (również z zakresem minimum – maksimum) ilościom określonym dla klasy III. Poza tym maksymalne zawartości tej formy azotu w wodach gruntowych z obu obiektów badawczych są często mniejsze od ilości tego składnika podawanych w literaturze. Zarówno w doświadczeniach lizymetrycznych, z nawożeniem mineralnym [KOWALSKI, MORYL 1990, 1993; MORYL i in. 1992] i nawadnianiem ściekami [MAJDOWSKI 1982], jak i badaniach terenowych [CZYŻYK 1994; HUS, KUTERA 1994] uzyskiwano większe ilości azotu azotanowego, niż oznaczone w wodach gruntowych na obu omawianych obiektach badawczych.

Tabela 2; Table 2

Skład chemiczny wód gruntowych na obiekcie nawadnianym ściekami z cukrowni oraz ocena istotnego zróżnicowania między średnimi wartościami wskaźników składników chemicznych w wodach na obiekcie (O) i poza obiektem (PO)

Chemical composition of ground waters on the object irrigated with wastewater from sugar factory as well as estimating significance of differences between mean values of chemical indicators in ground waters on the object (O) and outside the object (OO)

Wskaźniki chemiczne Chemical indicators	Piezometry; Piezometers	
	O	PO; OO
	minimum	maksimum; maximum
	średnia; mean (*, **)	
Substancje rozpuszczone ogółem; Total solutes (mg·dm^{-3})	697,4–1382,8 **957,8 ****	1280,0–2653,0 **2186,7**
BZT_5; BOD_5 (mg O_2·dm^{-3})	1,0–36,0 **3,3**	1,4–6,2 **3,7**
Azot amonowy; Ammonium nitrogen (mg N-NH_4·dm^{-3})	0,04–0,60 **0,16 ****	0,6–4,0 **1,8**
Azot organiczny; Organic nitrogen (mg $N_{org.}$·dm^{-3})	1,0–8,6 **4,3**	0,4–10,0 **3,9**
Azot azotanowy; Nitrate nitrogen (mg N-NO_3·dm^{-3})	0,0–6,6 **1,1 ***	0,0–0,5 **0,2**
Azot ogólny; Total nitrogen (mg N·dm^{-3})	1,8–15,2 **5,6**	2,4–10,9 **5,9**
Fosfor ogólny; Total phosphorus (mg P·dm^{-3})	0,05–0,75 **0,25**	0,02–0,42 **0,20**
Chlorki; Chlorides (mg Cl^-·dm^{-3})	36,0–96,0 **61,0 ****	100,0–152,0 **119,3**
Siarczany; Sulphates (mg SO_4^{2-}·dm^{-3})	269,5–596,9 **414,3 ****	919,9–1202,5 **1051,5**
Sód; Sodium (mg Na^+·dm^{-3})	11,3–36,3 **23,8 ****	36,0–60,8 **47,1**
Potas; Potassium (mg K^+·dm^{-3})	8,7–25,8 **20,5 ****	2,1–8,1 **3,4**
Odczyn pH; Reaction pH	6,0–7,9	6,0–7,0

* – istotność α = 0,05; significance at α = 0.05

** – istotność α = 0,01; significance at α = 0.01

Tabela 3; Table 3

Skład chemiczny wód gruntowych na obiekcie nawadnianym ściekami z drożdżowni oraz ocena istotnego zróżnicowania między średnimi wartościami wskaźnikow składników chemicznych w wodach na obiekcie (O) i poza obiektem (PO)

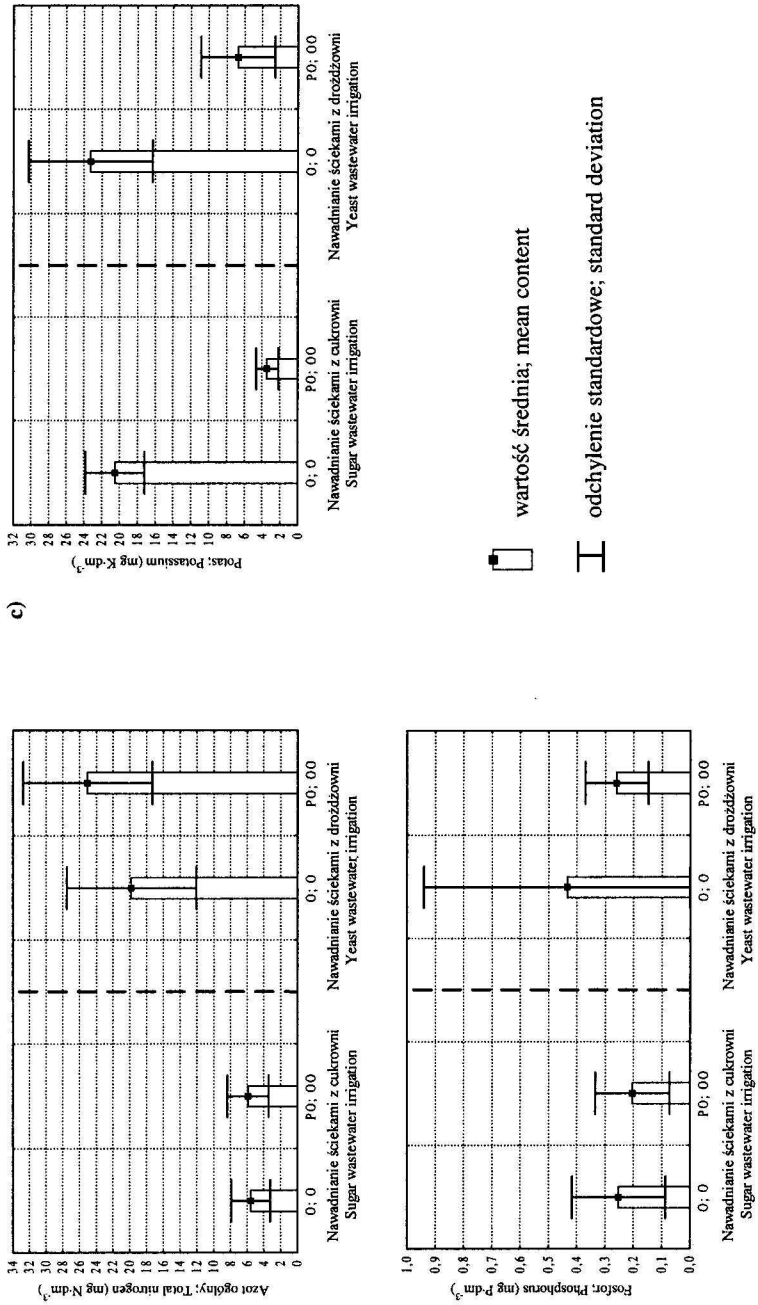
Chemical composition of ground waters on the object irrigated with wastewater from yeast factory as well as estimating significance of differences between mean values of chemical indicators in ground waters on the object (O) and outside the object (OO)

Wskaźniki chemiczne; Chemical indicators	Piezometry; Piezometers	
	O	PO; OO
	minimum	maksimum; maximum
	średnia; mean (*, **)	
Substancje rozpuszczone ogółem; Total solutes ($mg \cdot dm^{-3}$)	170,0–930,0 **391,2** *	360,0–850,0 **456,7**
BZT_5; BOD_5 ($mg\ O_2 \cdot dm^{-3}$)	0,8–13,0 **2,3**	1,0–8,0 **2,4**
Azot amonowy; Ammonium nitrogen ($mg\ N\text{-}NH_4 \cdot dm^{-3}$)	0,1–2,0 **0,3** *	0,1–4,4 **0,6**
Azot organiczny; Organic nitrogen ($mg\ N_{org.} \cdot dm^{-3}$)	1,7–16,9 **7,3**	1,6–10,7 **6,2**
Azot $N\text{-}NO_X = N\text{-}NO_3 + N\text{-}NO_2$ Nitrogen $N\text{-}NO_X$ ($mg\ N\text{-}NO_X \cdot dm^{-3}$)	0,8–23,3 **12,2** **	2,0–34,1 **18,2**
Azot ogólny; Total nitrogen ($mg\ N \cdot dm^{-3}$)	3,5–35,4 **19,8** *	6,0–37,3 **25,0**
Fosfor ogólny; Total phosphorus ($mg\ P \cdot dm^{-3}$)	0,10–3,10 **0,43**	0,10–0,40 **0,26**
Chlorki; Chlorides ($mg\ Cl^- \cdot dm^{-3}$)	16,0–51,0 **32,6**	21,0–73,0 **38,0**
Siarczany; Sulphates ($mg\ SO_4^{2-} \cdot dm^{-3}$)	80,0–200,0 **134,9**	75,0–205,0 **145,5**
Sód; Sodium ($mg\ Na^+ \cdot dm^{-3}$)	6,5–24,2 **14,6** **	18,6–90,8 **27,2**
Potas; Potassium ($mg\ K^+ \cdot dm^{-3}$)	10,7–36,4 **23,3** **	2,0–17,3 **6,7**
Odczyn pH; Reaction pH	6,2–7,1	6,0–6,9

* – istotność $\alpha = 0{,}05$; significance at $\alpha = 0.05$
** – istotność $\alpha = 0{,}01$; significance at $\alpha = 0.01$

Pozostałe formy azotu (amonowa i organiczna) przekraczają swoim zakresem wartości ustalone dla umownych klas jakości wód podziemnych [STANIEWICZ-DUBOIS 1995].

Przekroczenia dotyczą zarówno ilości w wodach na obiektach, jak i w tle. W związku z tym trudno jest określić wpływ eksploatacji obiektów oczyszczania ścieków na zanieczyszczenie wód gruntowych tymi składnikami. Jedynym wyjątkiem z przekroczeń są istotnie niższe od tła ilości $N\text{-}NH_4$ w wodach z obiektu deszczowanego ściekami z cukrowni, odpowiadające zawartościom z Ib i II klasy jakości wód podziemnych. Wartości oznaczonych form azotu, a w rezultacie także jego ilości ogólne niższe są od ilości podawanych w literaturze [MAJDOWSKI 1982; MORYL i in. 1992; CZYŻYK 1994; HUS, KUTERA 1994]. Mniejsza jest również dyspersja wyników uzyskanych z analiz azotu ogólnego w wodach na obiekcie w stosunku do wód poza obiektem (rys. 1), jak i w odniesieniu do danych literaturowych [MAJDOWSKI 1982].



Rys. 1. Średnia zawartość i odchylenie standardowe: a) – azotu ogólnego, b) – fosforu, c) – potasu w wodach gruntowych na obiektach (O) nawadnianych ściekami z cukrowni i drożdżowni oraz w wodach gruntowych poza obiektami (PO)

Fig. 1. Mean content and standard deviation of: a) – total nitrogen, b) – phosphorus, c) – potassium in ground waters on the objects (O) irrigated with sugar and yeast factory wastewater as well in ground waters outside the objects (OO)

Z pozostałych składników przewyższających ilości tła największą dyspersję wykazały wartości fosforu ogólnego, zwłaszcza w wodach z terenów deszczowanych ściekami podrożdżowymi (rys. 1). Wynikać to może z faktu uzupełniającego nawożenia fosforowego na polach nawadnianych ściekami z drożdżowni. Najmniejsze dyspersje odpowiadały natomiast wartościom potasu, jednak jego ilości przekraczały umowne zakresy dla klas jakości wód podziemnych [STANIEWICZ-DUBOIS 1995]. Zakresów tych nie przewyższały wartości potasu w tle obiektów, odpowiadające ilościom z Ib (w odniesieniu do obiektu deszczowanego ściekami z cukrowni) i III (w odniesieniu do obiektu deszczowanego ściekami podrożdżowymi) klasy jakości wód podziemnych. W związku z tym jest on jedynym składnikiem odzwierciedlającym wpływ eksploatacji obiektów oczyszczania ścieków na zanieczyszczenie wód gruntowych.

Wnioski

1. Niskie wartości wskaźników zanieczyszczeń w wodach gruntowych na obiektach nawadnianych ściekami z cukrowni i drożdżowni w stosunku do analogicznych wartości w używanych do nawadniania ściekach świadczyć mogą o efektywnym procesie ich unieszkodliwiania w naturalnym środowisku glebowo-roślinnym.

2. Oczyszczanie ścieków z cukrowni na użytkach zielonych i z drożdżowni na gruntach ornych nie stwarza zagrożenia zanieczyszczenia wód gruntowych związkami biogennymi. Wprawdzie ilości azotu azotanowego w wodach gruntowych na obiekcie nawadnianym ściekami z cukrowni wzrosły istotnie w stosunku do wód z tła obiektu, to jednak odpowiadały one dopuszczalnym ilościom tego składnika, ustalonym dla klasy Ib i II w nieformalnej klasyfikacji jakości wód podziemnych. Natomiast wyższe wartości fosforu ogólnego w wodach gruntowych na obiektach oczyszczania ścieków w stosunku do wartości w wodach poza obiektami nie wykazywały statystycznie istotnego zróżnicowania.

3. Wody gruntowe na obiektach oczyszczania ścieków z cukrowni i drożdżowni są zanieczyszczone jedynie potasem, którego stężenia przewyższają wartości tła i przekraczają umowne wartości dopuszczalne dla III klasy jakości wód podziemnych.

Lieratura

BRANDYK T. 1978. *Oczyszczanie i wykorzystanie rolnicze ścieków cukrowniczych i osadów z cukrowni.* Rozp. hab. IMUZ Falenty: 113 ss.

CZYŻYK F. 1994. *Wpływ wieloletnich nawodnień ściekami na glebę, wody gruntowe i rośliny.* Rozp. hab. IMUZ Wrocław-Falenty: 77 ss.

CZYŻYK F., PARUCH A. 1999. *Some chemical properties of soils on fields of agricultural utilization of yeast wastes.* Roczniki AR w Poznaniu CCCX. Melioracje i Inżynieria Środowiska 20 (cz. I): 7–17.

FOTYMA M., MERCIK S. 1995. *Chemia rolna.* PWN Warszawa: 355 ss.

HUS S., KUTERA J. 1994. *Wpływ nawodnień ściekami na środowisko.* Roczniki AR w Poznaniu CCLXVIII, Melioracje i Inżynieria Środowiska (cz. I): 51–58.

HUS S., KUTERA J., PULIKOWSKI K. 1996. *Zalecane technologie oczyszczania i utylizacji ścieków cukrowniczych.* Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XLII, Nr 283: 129–136.

KOWALSKI J, MORYL A. 1990. *Metodyka i wstępne wyniki badań wpływu nawożenia mineralnego na zanieczyszczenie wód gruntowych.* Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XXXIV, Nr 189: 151–156.

KOWALSKI J., MORYL A. 1993. *Obszarowe zagrożenia jakości wód podziemnych wywołane działalnością rolniczą.* Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Inżynieria Środowiska IV, Nr 233: 317–326.

KUCZEWSKI K., PALUCH J. 1997. *Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych na terenach wiejskich w oczyszczalniach roślinno-glebowych.* Wyd. AR Wrocław: 114 ss.

KUTERA J. 1981. *Wykorzystanie w rolnictwie ścieków z drożdżowni – zalecenia.* IMUZ Falenty: 108 ss.

KUTERA J. 1985. *Wykorzystanie w rolnictwie ścieków przemysłu spirytusowo-drożdżowego.* Mat. sem. nr 19. „Wykorzystanie w rolnictwie i leśnictwie ścieków przemysłowych". Falenty: 73–85.

MAJDOWSKI F. 1982. *Oczyszczanie ścieków przemysłu spożywczego w glebie.* Rozp. hab. IMUZ Falenty: 100 ss.

MORYL A., KAJEWSKI I., KOWALSKI J. 1992. *Model decyzyjny sterowania obiegiem wody w zlewni rolniczej – wody podziemne.* Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XL, Nr 211: 297–310.

ROZPORZĄDZENIE 1991. *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód powierzchniowych oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi.* Dz. U. Nr 116, poz. 503.

SOIL QUALITY – CHARACTERISATION OF SOIL WITH RESPECT TO HUMAN EXPOSURE. 1999. ISO/TC 190/SC 7 N 97-ISO/CD 15800: 23 ss.

STANIEWICZ-DUBOIS H. 1995. *Wskazówki metodyczne dotyczące tworzenia regionalnych i lokalnych monitoringów wód podziemnych.* PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 19 ss.

Słowa kluczowe: woda gruntowa, ścieki przemysłowe, oczyszczanie, deszczowanie

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań składu chemicznego wód gruntowych na obiektach nawadnianych ściekami z cukrowni i drożdżowni. Ścieki z cukrowni, po podczyszczeniu w zbiorniku akumulacyjnym, rozdeszczowywane były na użytkach zielonych. Ścieki z drożdżowni, po rozcieńczeniu wodą, rozdeszczowywane były na gruntach ornych. Oba obiekty nawadniane ściekami pełnią funkcję naturalnych oczyszczalni glebowo-roślinnych.

Stan czystości badanych wód gruntowych porównany był z jakością wód

spoza terenów oczyszczania ścieków (tła obiektów) oraz z wartościami nieformalnej klasyfikacji jakości wód podziemnych. Z porównania wynika, że oczyszczanie ścieków w warunkach naturalnych nie stwarza zagrożenia zanieczyszczenia wód gruntowych związkami biogennymi. Istotnie wyższe wartości w stosunku do wód w tle wykazywał tylko $N\text{-}NO_3$, jednak jego ilości odpowiadały umownym wartościom z Ib i II klasy jakości wód podziemnych. Wpływ eksploatacji obu obiektów na stan czystości wód gruntowych odzwierciedlały jedynie stężenia potasu, które istotnie wyższe były w wodach na obiektach niż w tle i w obu przypadkach przekraczały umowne wartości z klasyfikacji jakości wód podziemnych.

CHEMICAL COMPOSITION OF GROUND WATERS ON THE OBJECTS IRRIGATED WITH INDUSTRIAL WASTEWATER

Adam Paruch, Krzysztof Pulikowski, Julian Paluch, Stanisław Kostrzewa
Institute of Environmental Development and Protection,
Agricultural University, Wrocław

Key words: ground water, industrial wastewater, treatment, sprinkle-irrigation

Summary

Paper presents the results of investigations on chemical composition of ground waters on the objects irrigated with wastewater from sugar and yeast factories. Wastewater from sugar factory was pre-treated in a storage tank before it was sprinkle-irrigated on the grassland. Wastewater from the yeast factory was diluted with water before it was sprinkle-irrigated on the arable land. Both objects irrigated with the wastewater functioned as natural soil-vegetation wastewater treatment plants.

The purity of tested ground water was compared with the quality of water from outside of wastewater treatment areas (objects' background) as well as with the values of informal underground water quality classification. The comparison showed that the treatment of wastewater in natural environment did not cause any risk of ground water pollution with biogenic compounds. The significantly higher, in relation to waters in the background, was only $N\text{-}NO_3$ concentration, however, these values corresponded with conventional values for Ib and II ground water quality classes. An impact of both treatment objects on the purity of ground waters showed only potassium concentrations – significantly higher than in the background and exceeding in both cases the conventional classification values of underground water quality.

Dr inż. Adam **Paruch**
Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska
Akademia Rolnicza
pl. Grunwaldzki 24
50–363 WROCŁAW
e-mail: paruch@miks.ar.wroc.pl