

KSZTAŁTOWANIE SIĘ ODPŁYWU ŚCIEKÓW OCZYSZCZONYCH ORAZ STĘŻEŃ AZOTU AMONOWEGO I OGÓLNEGO PO NAWODNIENIU KWATERY W OCZYSZCZALNI ROŚLINNO-GLEBOWEJ

Krzysztof KUCZEWSKI, Katarzyna PAWĘSKA

Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu

Słowa kluczowe: azot amonowy, azot ogólny, ładunki zanieczyszczeń, natężenie odpływu, wskaźnik odpływu

Streszczenie

W artykule przedstawiono zmiany natężenia odpływu ścieków oczyszczonych oraz stężeń azotu amonowego i ogólnego, a także wielkość ładunków tych zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych po nawodnieniu kwatery w oczyszczalni roślinno-glebowej. Badania przeprowadzono w różnych porach roku. Z badań wynika, że maksymalne natężenie odpływających ścieków oczyszczonych następuje już po 3-4 godzinach po nawodnieniu kwatery ściekami. Kształt krzywej obrazującej natężenie odpływu w zależności od czasu zależy między innymi od pory roku. Wskaźnik odpływu w okresie letnim nie przekraczał wartości 0,41. Sprawność oczyszczania ścieków liczona w stosunku do ładunku zanieczyszczeń wynosiła w przypadku azotu amonowego od 98,92 do 99,9%, a w przypadku azotu ogólnego – od 97,03 do 99,9%.

WSTĘP

W ostatnich latach w literaturze naukowej pojawiło się wiele artykułów opisujących pracę oczyszczalni roślinno-glebowych oraz skuteczność oczyszczania ścieków w różnych porach roku. Z analizy wyników badań terenowych, przedsta-

wionych w tych artykułach wynika, że tego typu oczyszczalnie niezwykle skutecznie oczyszczają ścieki przez cały rok [KUCZEWSKI, PALUCH, 1997; KUCZEWSKI, KWIECIŃSKA, 2003; 2004; KUCZEWSKI, KWIECIŃSKA, KOZDRAŚ, 2004].

Oczyszczalnie te w zasadniczy sposób różnią się budową i zasadą pracy od powszechnie stosowanych oczyszczalni roślinno-gruntowych (nazywanych też oczyszczalniami bagiennymi, trzcinowymi, wierzbowymi, hydrobotanicznymi lub filtrami roślinno-glebowymi). Oczyszczalnia roślinno-glebowa składa się z kilkunastu kwater, na które są wprowadzane ścieki. Codziennie nawadniana jest ściekami inna kwatera. Nawadnianie ściekami tej samej kwatery następuje więc co kilka dni. Okres po jakim powtórnie wprowadza się ścieki nieoczyszczone na daną kwaterę zależy od liczby kwater w danej oczyszczalni roślinno-glebowej. Zaleca się aby nawadnianie tej samej kwatery nie następowało częściej niż co 14 dni. Ścieki oczyszczone są zbierane systemem drenażowym usytuowanym na głębokości około 1,0 m pod powierzchnią kwatery. Poszczególne ciągi drenarskie odprowadzają ścieki oczyszczone do głównego kolektora, a ten z kolei odprowadza je do odbiornika. Tak więc ścieki oczyszczone odprowadzane do odbiornika są mieszaniną ścieków oczyszczonych pochodzących z kwater nawadnianych w różnych okresach. Wyniki badań przedstawione w literaturze [KUCZEWSKI, KWIECIŃSKA, 2003; KUCZEWSKI, KWIECIŃSKA, KOZDRAŚ, 2004; NOWAK, KUCZEWSKI, 2002], świadczące o bardzo dużej skuteczności oczyszczania ścieków w oczyszczalniach roślinno-glebowych, odnoszą się do ścieków odprowadzanych z całej oczyszczalni bezpośrednio do odbiornika. Badania opisujące kształtowanie się odpływu ścieków oczyszczonych z pojedynczej nawadnianej kwatery podano w pracy KUCZEWSKIEGO i PALUCHA [1997] i dotyczyły obiektu wykonanego w skali półtechnicznej.

CEL BADAŃ

Głównym celem badawczym (naukowym) pracy jest określenie rzeczywistego rozkładu stężeń azotu amonowego i ogólnego w ściekach oczyszczonych oraz natężenia i wskaźnika ich odpływu po nawodnieniu pojedynczej kwatery w oczyszczalni roślinno-glebowej poddanej normalnej eksploatacji (skala techniczna). Do zrealizowania postawionego problemu naukowego posłużyła specjalnie zaprojektowana, nowo wybudowana wiejska oczyszczalnia roślinno-glebowa. Przeprowadzony eksperyment naukowy umożliwił określenie czasu trwania maksymalnych odpływów i kształtowania się wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń. Dotychczas tego typu badań nie prowadzono na obiektach w skali technicznej. Przedstawione wyniki, oprócz wartości czysto naukowych, mogą być wykorzystane w praktyce inżynierskiej, np. do zaprojektowania oczyszczalni roślinno-glebowej składającej się z pojedynczej kwatery.

METODY BADAŃ

Badania prowadzono w oczyszczalni roślinno-glebowej w Brzeźnie. Jednorazową dawkę ścieków surowych o objętości 110 m^3 (97 mm) wprowadzano na jedną z kwater oczyszczalni (o powierzchni 0,1 ha) przystosowaną do regularnego odbioru ścieków mechanicznie oczyszczonych. Powierzchnia kwatery jest wykonana ze spadkiem zapewniającym swobodny spływ ścieków z równoczesnym wsiąkaniem w glebę. Na głębokości około 1,0 m pod powierzchnią kwatery znajdują się ciągi drenarskie, które zbierają oczyszczone ścieki i odprowadzają je przez kolektor do odbiornika. Powierzchnia kwatery jest obsadzona sadzonkami topoli oraz obsiana mieszanką traw.

Po wprowadzeniu jednorazowej dawki ścieków mechanicznie oczyszczonych (w trójkomorowym osadniku przepływowym) na powierzchnię kwatery, mierzono pojawiający się odpływ oraz badano podstawowe wskaźniki zanieczyszczeń. Natężenie odpływu mierzono za pomocą podstawionego naczynia o znanej objętości. Odpływ ścieków oczyszczonych uznawano za zakończony przy odpływie kropłowym. W próbach ścieków oczyszczonych, odpływających z nawadnianej kwatery oznaczano: BZT₅, ChZT_{Cr}, azot: ogólny, amonowy, azotanowy, azotynowy oraz fosfor ogólny.

Na podstawie całkowitej objętości odpływających z nawadnianej kwatery ścieków oczyszczonych V_k (m^3) i objętości ścieków surowych wpływających na kwaterę V_p (m^3) obliczono współczynnik odpływu α .

$$\alpha = V_k / V_p$$

W celu określenia wpływu czasu eksploatacji oczyszczalni oraz pór roku (lato, zima) na oczyszczanie ścieków eksperyment rozpoczęto w czerwcu 1997 r., bezpośrednio po oddaniu oczyszczalni do eksploatacji, a kontynuowano w czerwcu 2004 i styczniu 2005 r. na obiekcie użytkowanym 8 lat. W tym okresie eksploatacja obiektu odbiegała od zaleceń przedstawionych przez projektantów w instrukcji. Błędy w gospodarowaniu roślinnością na terenie obiektu (brak odpowiedniej liczby pokosów traw oraz zbioru części wegetatywnych po skończonym okresie wegetacji) oraz wprowadzanie ścieków surowych bezpośrednio na kwaterę (z pominięciem zbiornika dozująco-akumulacyjnego) negatywnie wpływały na zdolność złoża do oczyszczania ścieków oraz na wielkość wskaźników zanieczyszczeń.

W artykule przedstawiono dwa wybrane wskaźniki zanieczyszczeń ścieków oczyszczonych odprowadzanych z pojedynczej kwatery oczyszczalni: azot ogólny i amonowy w ujęciu stężeń oraz ładunków.

WYNIKI BADAŃ

W czerwcu 1997 r. zaobserwowano największe natężenie odpływających ścieków oczyszczonych w analizowanych latach. Maksymalne natężenie odpływających ścieków osiągnęło wartość $1,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Odpływ ten nastąpił już w drugiej godzinie obserwacji (rys. 1a). Najmniejszy maksymalny odpływ ścieków stwierdzono w czerwcu 2004 r. ($0,024 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) i nastąpił on 3,5 godziny po rozpoczęciu odpływu ścieków oczyszczonych (rys. 1b). Kształty krzywych odpływu ścieków oczyszczonych z czerwca 1997 r. oraz czerwca 2004 r. są podobne (rys. 1a, 1b).

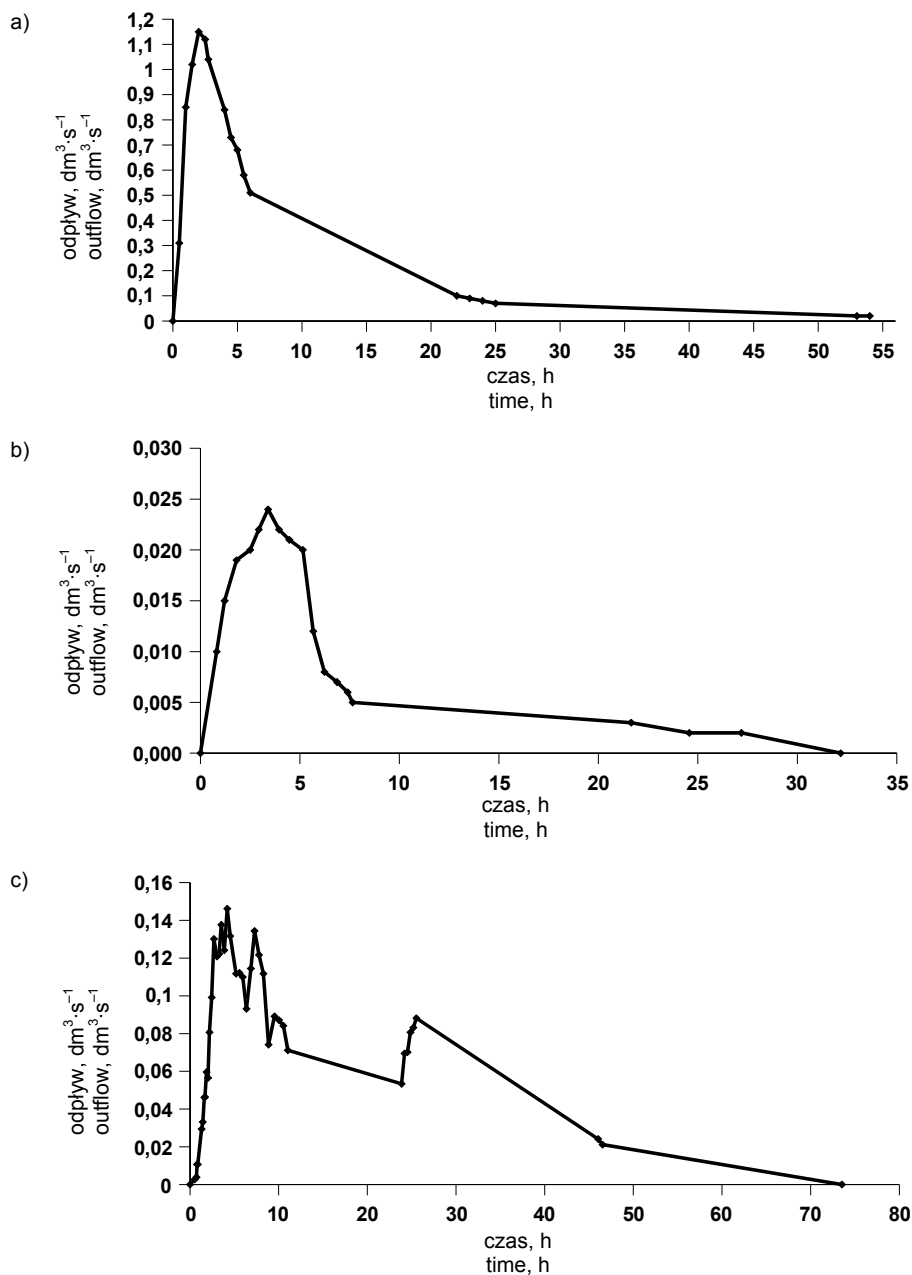
Nieco inny był przebieg odpływu z nawadnianej kwatery w styczniu 2005 r. (rys. 1c). Ciąg natężeń odpływu zbliżonych do maksymalnego wystąpił między 2 a 8 godziną obserwacji. W tym okresie maksymalny zanotowany odpływ wyniósł $0,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i wystąpił po 4,2 godzinnej obserwacji. Maksymalne odpływy o charakterze pulsacyjnym trwały około 4 godzin. Było to prawdopodobnie związane z warunkami atmosferycznymi panującymi podczas badań. Powierzchnia kwatery, na którą wprowadzano ścieki była zamrożona. Ścieki surowe o temperaturze $3,7^\circ\text{C}$, wsiąkając w złożo powodowały stopniowe odmarzanie gleby, lecz po pewnym czasie, wraz ze spadkiem temperatury powietrza, ścieki na powierzchni kwatery zaczynały zamarzać co powodowało obniżenie natężenia odpływu.

Najkrótszy czas odpływu ścieków oczyszczonych zaobserwowano w czerwcu 2004 r. (33 godziny), w czerwcu 1997 r. wynosił on 55 godzin, a najdłuższy był w miesiącu zimowym (styczeń 2005 r.) i trwał 75 godzin. Niewątpliwie na czas trwania odpływu miały wpływ warunki atmosferyczne panujące w okresie badawczym.

Miesięczne sumy opadów w okresach badawczych były zbliżone do siebie (tab. 1). Najmniejszy współczynnik odpływu wystąpił w czerwcu 2004 r. (tab. 2). Na tak mały współczynnik w czerwcu 2004 r. miał wpływ brak opadów (4 dni bezdeszczowe przed rozpoczęciem badań). Największy współczynnik odpływu $\alpha = 0,41$ wystąpił w czerwcu 1997 r. po oddaniu oczyszczalni do eksploatacji.

Zwartości azotu ogólnego i amonowego w ściekach surowych w poszczególnych okresach badawczych znacznie różniły się między sobą, odbiegały też od średnich zawartości tego składnika w typowych ściekach bytowo-gospodarczych (tab. 3). Największe stężenie azotu w ściekach surowych zanotowano w styczniu 2005 r. W styczniu 2005 r. wprowadzono również na powierzchnię kwatery wraz ze ściekami surowymi największy jego ładunek.

Zmiany stężenia badanych form azotu w ściekach oczyszczonych odpływających z nawadnianej kwatery były podobne we wszystkich okresach badawczych (rys. 2–3). Stężenia azotu amonowego i ogólnego zwiększały się aż do osiągnięcia wartości maksymalnej, a następnie sukcesywnie malały, spadek aż do ustania odcieku. Podobną tendencję zaobserwowano w przypadku ładunku tych zanieczyszczeń odpływającego wraz ze ściekami oczyszczonymi.



Rys. 1. Zmiany natężenia odpływu ścieków oczyszczonych z kwatery nawadnianej dawką ścieków 97 mm, a – czerwiec 1997 r., b – czerwiec 2004 r., c – styczeń 2005 r.

Fig. 1. Changes in the outflow intensity of treated sewage from area irrigated with 97 mm dose of untreated sewage, a – June 1997, b – June 2004, c – January 2005

Tabela 1. Warunki atmosferyczne w okresach badawczych na terenie oczyszczalni roślinno-glebowej w Brzeźnie**Table 1.** Atmospheric conditions in study periods in plant-soil treatment plant in Brzeżno

Parametr Parameter	Czerwiec 1997 June 1997	Czerwiec 2004 June 2004	Styczeń 2005 January 2005
Suma opadów, mm Total rainfall, mm	40,9	43,5	42,9
Liczba dni z opadem atmosferycznym The number of days with precipitation	9	14	13
Średnia miesięczna temperatura, °C Mean monthly temperature, °C	17,0	16,7	1,7

Tabela 2. Wartości i wskaźniki odpływu ścieków oczyszczonych**Table 2.** The outflow values and outflow coefficients of treated sewage

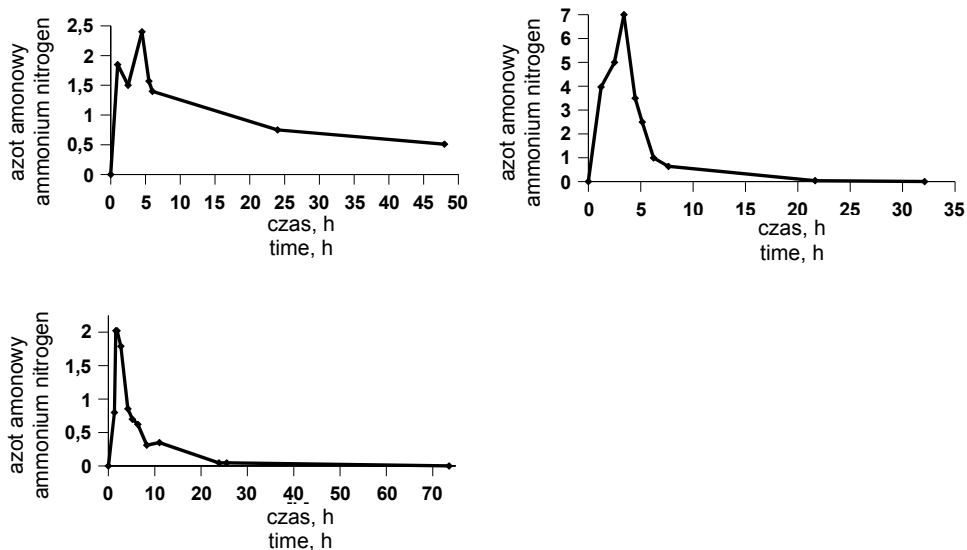
Charakterystyka odpływu The outflow characteristic	Czerwiec 1997 June 1997	Czerwiec 2004 June 2004	Styczeń 2005 January 2005
Całkowita objętość odcieku, m ³ Total outflow capacity, m ³	44,3	0,66	12,2
Wskaźnik odpływu The outflow coefficient	0,41	0,007	0,11

Dawka nawodnienia – 97,0 mm. Objętość wprowadzonych ścieków – 110,0 m³.

The irrigation dose – 97.0 mm. The volume of untreated sewage – 110.0 m³.

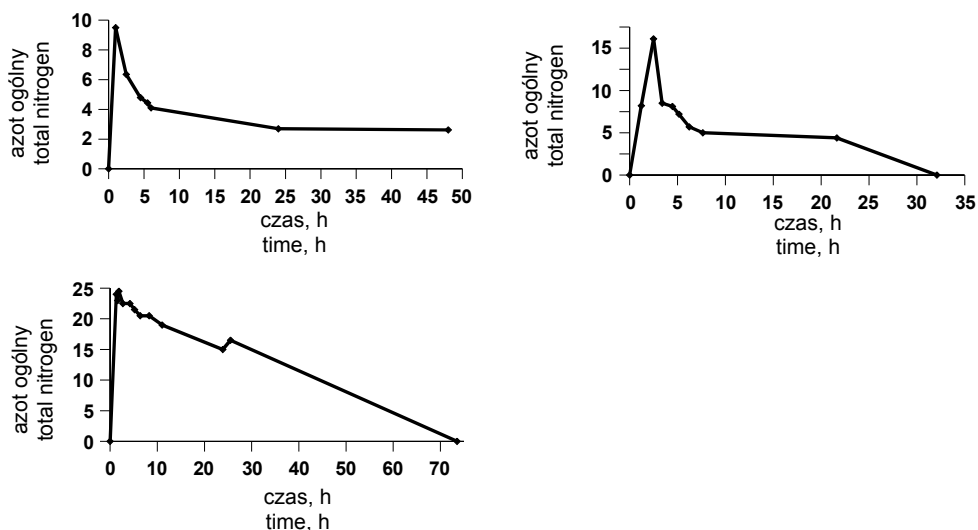
Tabela 3. Stężenie azotu amonowego i ogólnego w ściekach doprowadzonych na oczyszczalnię roślinno-glebową w czerwcu 1997 r. i 2004 r. oraz styczniu 2005 r.**Table 3.** Concentrations of ammonium nitrogen and total nitrogen in raw sewage in June 1997, June 2004 and January 2005

Wskaźnik zanieczyszczeń The index of pollution	Czerwiec 1997 June 1997	Czerwiec 2004 June 2004	Styczeń 2005 January 2005
Azot amonowy, mg N-NH ₄ ·dm ⁻³ Ammonium nitrogen, mg N-NH ₄ ·dm ⁻³	48,9	70,0	120,0
Azot ogólny, mg N·dm ⁻³ Total nitrogen, mg N·dm ⁻³	59,7	96,0	152,0



Rys. 2. Zmiany stężenia azotu amonowego ($\text{mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$) w ściekach oczyszczonych odpływających z nawadnianej kwatery; a – czerwiec 1997 r., b – czerwiec 2004 r., c – styczeń 2005 r.

Fig. 2. Changes in ammonium nitrogen concentrations ($\text{mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$) in treated sewage; a – June 1997, b – June 2004, c – January 2005



Rys. 3. Zmiany stężenia azotu ogólnego ($\text{mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) w ściekach oczyszczonych odpływających z nawadnianej kwatery; a – czerwiec 1997 r., b – czerwiec 2004 r., c – styczeń 2005 r.

Fig. 3. Changes in total nitrogen concentrations ($\text{mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) in treated sewage; a – June 1997, b – June 2004, c – January 2005

DYSKUSJA WYNIKÓW

Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach roślinno-glebowych powinno zapewnić usunięcie takiej ilości zanieczyszczeń, ażeby na odpływie uzyskać odciek niestanowiący zagrożenia dla wód odbiornika [Rozporządzenie MŚ..., 2004]. Największe średnie stężenie azotu amonowego w ściekach oczyszczonych wystąpiło w czerwcu 2004 r. (tab. 4). Natomiast ładunek odprowadzany ze ściekami w tym okresie był najmniejszy (tab. 5). Największe średnie stężenia azotu ogólnego równe $24,5 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ zanotowano w styczniu 2005 r. (tab. 4), natomiast największe wartości ładunku tego zanieczyszczenia odprowadzanego ze ściekami oczyszczonymi zanotowano w czerwcu 1997 r., zaraz po oddaniu obiektu do pełnej eksploatacji (tab. 5).

Tabela 4. Stężenia azotu amonowego i ogólnego w ściekach oczyszczonych odpływających z nawadnianej kwatery

Table 4. Concentrations of ammonium nitrogen and total nitrogen in treated sewage discharged from irrigated area

Wskaźnik zanieczyszczeń The index of pollution		Czerwiec 1997 June 1997	Czerwiec 2004 June 2004	Styczeń 2005 January 2005
Azot amonowy, $\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$	średni mean	1,43	2,95	0,87
Ammonium nitrogen,	min.	0,51	0,04	0,05
$\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$	max	2,40	7,00	2,02
Azot ogólny, $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$	średni mean	4,93	7,90	20,86
Total nitrogen, $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$	min.	2,62	4,40	15,00
	max	9,50	16,10	24,50

Tabela 5. Ładunki azotu amonowego i ogólnego w ściekach oczyszczonych odpływających z nawadnianej kwatery

Table 5. The loads of ammonium nitrogen and total nitrogen in treated sewage discharged from irrigated area

Ładunek zanieczyszczeń The load of pollutants		Czerwiec 1997 June 1997	Czerwiec 2004 June 2004	Styczeń 2005 January 2005
Azot amonowy, $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$	średni mean	3,45	0,21	0,26
Ammonium nitrogen, $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$	min.	0,04	0,0004	0,01
	max	6,31	0,60	0,84
Azot ogólny, $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$	średni mean	12,15	0,47	6,43
Total nitrogen, $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$	min.	0,19	0,05	2,54
	max	29,07	1,16	11,84

Zastrzeżenia i sprzeczne opinie wielu badaczy budzi oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych w środowisku glebowym w okresie zimowym. Badania przeprowadzone na obiekcie w Brzeźnie w miesiącach letnich i zimowych nie potwierdzają tych obaw. Skuteczność oczyszczania ścieków obliczona na przykładzie ładunku azotu amonowego i ogólnego była niezwykle wysoka – niezależnie od pory roku i wynosiła 98,9–99,9% dla azotu amonowego i 96,7%–99,9% dla azotu ogólnego (tab. 6).

Tabela 6. Ładunki azotu amonowego i ogólnego wprowadzane ze ściekami bytowo-gospodarczymi na nawadnianą kwaterę i odpływające oraz sprawność oczyszczania (%)

Table 6. The loads of ammonium nitrogen and total nitrogen in the input to and output from irrigated area and the efficiency treatment (%)

Ładunek zanieczyszczeń The load of pollutants		Rok Year		
		1997	2004	2005
Azot amonowy Ammonium nitrogen	wprowadzony, g input, g	5379	7700	13200
	odprowadzony, g output, g	63,35	1,95	10,6
	sprawność, % efficiency, %	98,8	99,9	99,9
Azot ogólny Total nitrogen	wprowadzony, g input, g	6567	10560	16720
	odprowadzony, g output, g	218,4	5,21	254,3
	sprawność, % efficiency, %	96,7	99,9	98,5

Bardzo istotną cechą oczyszczalni roślinno-glebowych jest to, że ilość ścieków wprowadzana na oczyszczalnię jest większa od ilości ścieków odpływających z niej. Wskaźnik odpływu oczyszczonych ścieków z badanej oczyszczalni wynosił 0,007–0,41. W okresie zimowym (styczeń 2005 r.) wyniósł on 0,11. Nie oznacza to, że zawsze w okresie zimowym będzie przyjmował wartości zbliżone do podanej. Ilość ścieków oczyszczonych odpływających z oczyszczalni roślinno-glebowej zależy od wielu czynników, między innymi od wilgotności gleby, ewapotranspiracji, temperatury powietrza, a także opadów atmosferycznych.

Niezmiernie istotną rolę w procesie oczyszczania ścieków w oczyszczalni roślinno-glebowej odgrywają rośliny porastające jej powierzchnię. Badania przeprowadzone przez KUCZEWSKIEGO i NOWAK [2002] wykazały, że suma poszczególnych makroelementów zawartych w masie roślinnej usuwanej z terenu oczyszczal-

ni (w tym biogenów azotu i fosforu) pochodzi ze ścieków wprowadzanych na oczyszczalnię.

Bardzo ważną rolę w procesie oczyszczania odgrywa też gleba. W górnej jej warstwie gromadzi się próchnica, która jest głównym siedliskiem drobnoustrojów.

Przeprowadzone badania wykazały, że w okresie letnim, maksymalne natężenie odpływających ścieków oczyszczonych jest krótkotrwałe i w sąsiedztwie tego szczytu obserwuje się występowanie maksymalnych wartości stężeń azotu amonowego i ogólnego. W okresie zimowym maksymalne odpływy są bardziej rozciągnięte w czasie. Może występować odpływ pulsacyjny, na co ma wpływ ujemna temperatura powietrza powodująca zamrażanie przypowierzchniowej warstwy ścieków i odmarzanie jej w warunkach wzrostu temperatury powietrza ponad 0°C.

WNIOSKI

1. Wskaźnik odpływu ścieków oczyszczonych z nawadnianej kwatery może zmieniać się w szerokich granicach – w przeprowadzonych badaniach wynosił od 0,007 do 0,41.

2. Maksymalne natężenie odpływających oczyszczonych ścieków w okresie letnim następowało po 3–4 godzinach od wprowadzenia ścieków na kwaterę.

3. W okresie zimowym czas odpływu ścieków oczyszczonych z nawadnianej kwatery był znacznie dłuższy niż w okresie letnim i trwał ponad 75 godzin.

4. Maksymalne wartości stężeń azotu amonowego i ogólnego w ściekach oczyszczonych i maksymalne natężenia odpływu tych ścieków występowały prawie jednocześnie. Po wystąpieniu maksymalnego stężenia azotu amonowego i ogólnego w ściekach oczyszczonych następuje gwałtowne zmniejszenie stężenia badanych zanieczyszczeń.

5. Skuteczność eliminacji azotu amonowego i ogólnego była niezwykle duża, niezależnie od pory roku. Azot amonowy usuwany był w 99,5%, a azot ogólny – w ponad 96%.

LITERATURA

- KUCZEWSKI K., PALUCH J., 1997. Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych na terenach wiejskich w oczyszczalniach roślinno-glebowych. Zesz. Nauk. AR Wroc. nr 309 Monogr. 9 ss. 114.
- KUCZEWSKI K., KWIECIŃSKA K., 2003. Primary assessment of efficiency of a modified plant-soil treatment plant. Civil Engineering '03, Proceedings, Latvia University of Agriculture, Jelgava s. 102–104.
- KUCZEWSKI K., KWIECIŃSKA K., 2004. Ocena skuteczności usuwania fosforu ze ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach roślinno-glebowych. Pr. Nauk. AE Wroc. nr 1017 s. 210–220.

- KUCZEWSKI K., KWIECIŃSKA K., KOZDRAŚ M., 2004. Zmiany w usuwaniu biogenów ze ścieków bytowo-gospodarczych po wieloletniej eksploatacji oczyszczalni roślinno-glebowej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* t. 4 z. 2a (11) s. 547–557.
- NOWAK I., KUCZEWSKI K., 2002. Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalni roślinno-glebowej. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* nr 453 Monogr. 39 ss. 92.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. *Dz.U.* 2004 nr 168 poz.1763.

Krzysztof KUCZEWSKI, Katarzyna PAWĘSKA

**OUTFLOW OF TREATED SEWAGE AND CONCENTRATIONS
OF AMMONIUM AND TOTAL NITROGEN
AFTER IRRIGATING THE PLOT IN A PLANT-SOIL TREATMENT PLANT**

Key words: ammonium nitrogen, loads of pollutants, outflow coefficient, outflow intensity, total nitrogen

S u m m a r y

Discharge of treated sewage, concentrations and loads of total nitrogen and ammonium nitrogen after irrigating the plot in a treatment plant are given in the paper. The study was carried out in various seasons. The results show that the maximum outflow of treated sewage took place 3–4 hours after the beginning of irrigation. The shape of the outflow curve depended on season. In summer the coefficient of outflow didn't exceed 0.41. The treatment efficiency amounted 98.92–99.9% for ammonium nitrogen, and 97.03–99.9% for total nitrogen.

Recenzenci:

prof. dr hab. Edmund Kaca

prof. dr hab. Julian Paluch

Praca wpłynęła do Redakcji 22.08.2005 r.