

ZMIANY STĘŻENIA FOSFORU OGÓLNEGO W ŚCIEKACH OCZYSZCZONYCH ODPŁYWAJĄCYCH Z OCZYSZCZALNI ROŚLINNO-GLEBOWEJ PO NAWODNIENIU

Katarzyna PAWĘSKA, Krzysztof KUCZEWSKI

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Budownictwa i Infrastruktury

Słowa kluczowe: fosfor ogólny, oczyszczalnia roślinno-glebowa, odpływ, ścieki oczyszczone, ścieki surowe

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w małej oczyszczalni roślinno-glebowej. Obserwowano zmiany natężenia odpływu oraz stężeń i ładunków fosforu ogólnego odprowadzanych z odciekem po nawodnieniu powierzchni kwatery dawką surowych ścieków. Badania przeprowadzono w różnych fazach pracy oczyszczalni – na etapie wpracowywania się złoża (1997 r.), właściwej eksploatacji (1999 r.) oraz po kilkuletniej pracy, na przeciążonej kwaterze (2005 r.). Doświadczenia przeprowadzono w miesiącach zimowych i letnich.

Cechą charakterystyczną odpływu były maksymalne wartości obserwowane w pierwszych godzinach od pojawienia się odcieku. W większości przypadków maksymalne wartości stężenia fosforu ogólnego oraz jego ładunku odprowadzanego z odciekem występowały wraz z pojawieniem się największego natężeniem odpływu.

WSTĘP

Skuteczne oczyszczanie ścieków na terenach niezurbanizowanych jest zagadnieniem niezwykle skomplikowanym. Jest to spowodowane bardzo nierównomiernym dopływem ścieków do oczyszczalni. Małym oczyszczalniom szczególnie trudno jest efektywnie usunąć ze ścieków biogeny (związki azotu i fosforu). Często brak kanalizacji powoduje, że do

Adres do korespondencji: dr inż. K. Pawęska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Budownictwa i Infrastruktury, pl. Grunwaldzki 24, 50–363 Wrocław; tel. +48 (71) 320-05-26, e-mail: kpaweska@gmail.com

odbiorników są odprowadzane nieoczyszczone lub tylko podczyszczone mechanicznie ścieki, co skutkuje zanieczyszczeniem wód powierzchniowych i ich degradacją. Trudno jest również określić ilość związków azotu i fosforu odprowadzanych do odbiornika wraz z oczyszczonymi ściekami, dlatego istotna jest ocena pracy małych obiektów oczyszczających ścieki i określenie zmian stężeń biogenów w odpływie oraz ładunku zanieczyszczeń znajdującego się w odcieku.

W województwie dolnośląskim, we wsi Brzeźno, od 1996 r. eksploatowana jest oczyszczalnia roślinno-glebowa, przyjmująca ścieki bytowe wytwarzane przez 360 mieszkańców. Oczyszcza ona ścieki przez cały rok, jednak nie należy jej zaliczać do obiektów rolniczego wykorzystania ścieków. Efektywność oczyszczania ścieków w tej oczyszczalni (niezależnie od pory roku) jest duża. Średnia skuteczność oczyszczania w przypadku azotu ogólnego wyniosła 87,5%, a fosforu ogólnego – 98,2% [PAWĘSKA, 2006]. Tak duża skuteczność spełnia wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [Rozporządzenie ..., 2006].

CEL I METODY BADAŃ

Celem badań przeprowadzonych na nawadnianej ściekami surowymi kwaterze oczyszczalni była ocena zmian stężenia fosforu ogólnego w odcieku, jak również ilościowa charakterystyka ładunku fosforu odprowadzanego z powierzchni kwatery.

Oczyszczalnia ścieków bytowo-gospodarczych w Brzeźnie działa na zasadzie zamykania obiegu materii. Ścieki surowe (wstępnie mechanicznie oczyszczone w osadnikach) są wprowadzane na kwatery obsiane mieszkanką traw i obsadzone topolami. Płynąc po powierzchni kwatery wsiąkają w nią. Na głębokości około 1m pod powierzchnią terenu znajduje się drenaż, który ujmuje przesączające się oczyszczone ścieki i odprowadza je do odbiornika. Złoże roślinno-glebowe w Brzeźnie składa się z 4 segmentów. Powierzchnia każdego segmentu zawiera samodzielne kwatery przystosowane do nawadniania ściekami. Łączna liczba kwater wynosi 21. Według wytycznych projektowych nawadnianie kwatery (dawka 110 m³) powinno odbywać się co 21 dni [NOWAK, KUCZEWSKI, 2000; PAWĘSKA, 2006].

W badaniach uwzględniono różne etapy pracy złoża roślinno-glebowego. Badania przeprowadzono w czerwcu 1997 r. (etap wpracowywania się złoża) w maju 1999 r. (etap właściwej eksploatacji) oraz w styczniu i lutym 2005 r. (po kilkuletniej eksploatacji złoża na przeciążonej kwaterze). Wybraną kwaterę (nr 6), przystosowaną do całorocznego odbioru ścieków surowych, nawadniano dawką ścieków surowych równą 97 mm (co odpowiadało całkowitej pojemności zbiornika dozująco-akumulacyjnego – 110 m³) oraz dawką 48 mm (zbiornik w połowie napełniony – 55 m³). Po nawodnieniu kwatery obserwowano zmiany natężenia odpływających ścieków oczyszczonych oraz stężenia fosforu ogólnego i jego ładunku odprowadzanego z odciekiem. Zawartość fosforu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych oznaczano spektrofotometrycznie po mineralizacji próbki w termoreaktorze. Współczynnik odpływu ścieków oczyszczonych obliczono wg wzoru:

$$\alpha = \frac{V_k}{V_p}$$

V_p – objętość ścieków surowych wprowadzanych na kwaterę, m^3 ;
 V_k – objętość ścieków oczyszczonych odpływających z kwatery, m^3 .

Natężenie przepływu oraz objętość ścieków oczyszczonych mierzono za pomocą podstawionego naczynia o znanej objętości. Eksperyment uznawano za zakończony przy niemierzalnym natężeniu odpływu (odpływ kropłowy). Skuteczność pracy badanej oczyszczalni określano porównując stężenie fosforu ogólnego w ściekach surowych wpływających na powierzchnię kwatery do średniego ważonego stężenia fosforu ogólnego w odcieku ścieków oczyszczonych. Ładunek fosforu wynoszony z odciekiem określano na podstawie rozkładu stężenia fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych odpływających z powierzchni kwatery oraz natężenia ich odpływu. Na podstawie natężenia odpływu ścieków oczyszczonych oraz stężeń fosforu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych określano rzeczywistą sprawność oczyszczania w odniesieniu do ładunku fosforu.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

W czerwcu 1997 r. (dawka nawodnieniowa 97 mm – 110 m^3) zaobserwowano największy chwilowy odpływ ścieków oczyszczonych, który wynosił $1,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 1a). Maksymalne natężenie odpływu nastąpiło w drugiej godzinie od pojawienia się odcieku. Następnie natężenie odpływu stopniowo malało, aż do całkowitego ustania, które nastąpiło po 54 godzinach od chwili jego pojawienia się. Łącznie z powierzchni nawadnianej kwatery odciekło $44,3 \text{ m}^3$ ścieków oczyszczonych (tab. 1).

W badaniach przeprowadzonych w maju 1999 r. (dawka nawodnieniowa 48 mm – 55 m^3) uzyskano podobny kształt krzywej odpływu, lecz z mniejszym chwilowym maksymalnym natężeniem. W przypadku dawki nawodnieniowej zmniejszonej o połowę, maksymalny zanotowany odpływ wystąpił w trzeciej godzinie od chwili pojawienia się odcieku i wynosił $0,66 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 1b).

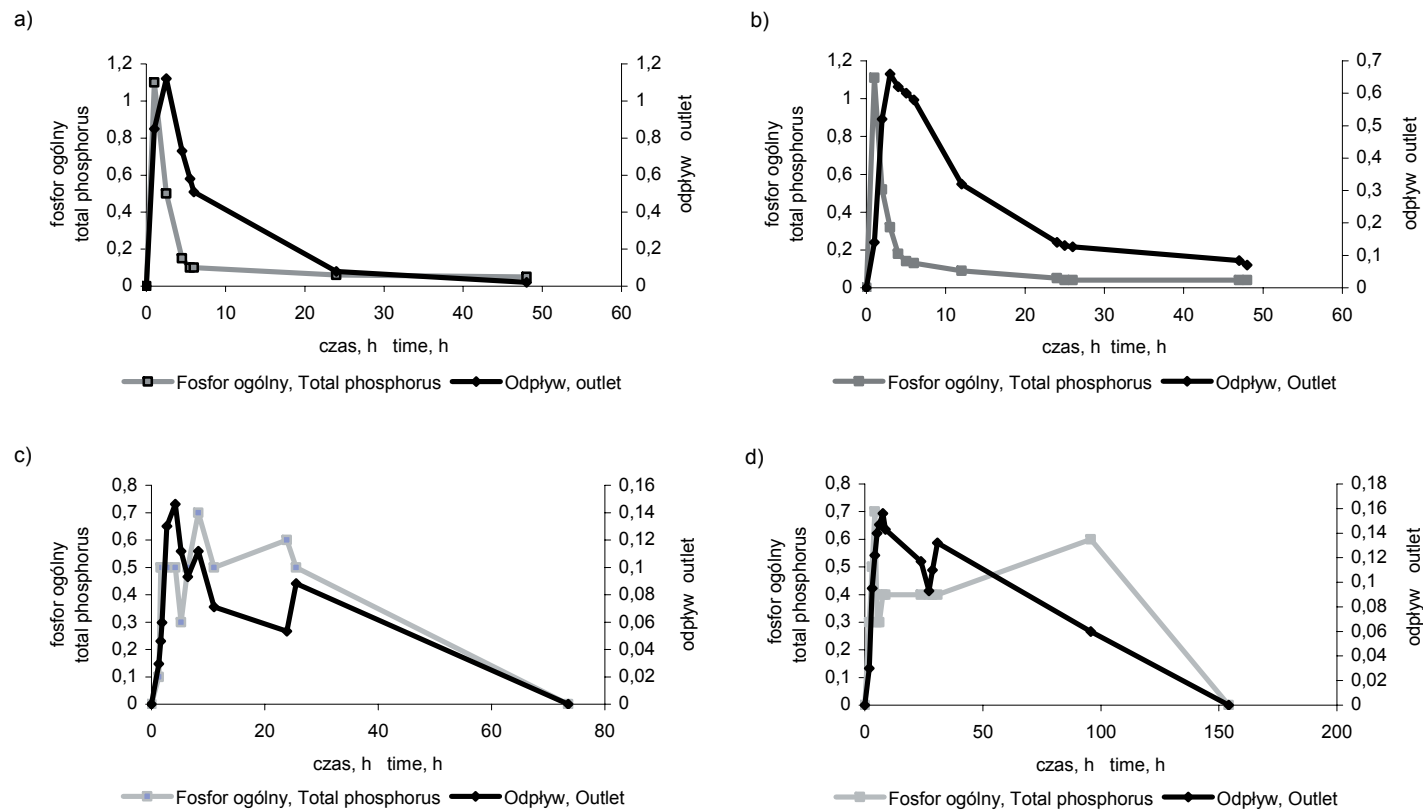
Temperatura powietrza podczas tych badań wynosiła 15°C w czerwcu 1997 r. i $16,5^\circ\text{C}$ w maju 1999 r.

Kolejne badania przeprowadzono w miesiącach zimowych (styczeń i luty) w 2005 r., w obu przypadkach nawadniając kwaterę dawką 97 mm surowych ścieków. Odpływ ścieków oczyszczonych z nawadnianej kwatery w styczniu 2005 r. trwał nieco ponad 3 doby, natomiast w lutym utrzymywał się przez 5 dni.

Maksymalne natężenie odpływu w badaniach prowadzonych w styczniu 2005 r. wystąpiło w pierwszej dobie od jego pojawienia się i wyniosło $0,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Odpływ miał charakter pulsacyjny, co mogło być związane z warunkami atmosferycznymi (ujemną temperaturą powietrza, która wyniosła w dzień $-0,5^\circ\text{C}$). Odciek ustąpił po 74 godzinach (rys. 1c).

W lutym 2005 r. wystąpił najdłuższy z obserwowanych odpływów (155 godzin). Czynnikiem wpływającym na wydłużenie odpływu była zalegająca na powierzchni kwatery 17 cm warstwa śniegu. Temperatura powietrza podczas przeprowadzanych badań wynosiła $-2,4^\circ\text{C}$. Maksymalne natężenie odpływu, o wartości $0,167 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, zanotowano w pierwszej dobie (rys. 1d).

Największy zaobserwowany współczynnik odpływu zanotowano w czerwcu 1997 roku (tab. 1), na etapie wpracowywania się złoża, a najmniejszy – w styczniu 2005 r. (po kilkuletniej eksploatacji oczyszczalni). Znaczne zmniejszenie wartości współczynnika odpływu



Rys. 1. Zmiany natężenia odpływu ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) oraz stężenia fosforu ogólnego ($\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$) w ściekach oczyszczonych odpływających z kwatery po nawodnieniu dawką ścieków; a) 97 mm, czerwiec 1997 r., b) 48 mm, maj 1999 r., c) 97 mm, styczeń 2005 r., d) 97 mm, luty 2005 r.

Fig. 1. Changes of the outflow intensity ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) and total phosphorus concentrations ($\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$) in treated sewage flowing out of the quarter after irrigation with raw sewage at a dose of; a) 97 mm, June 1997, b) 48 mm, May 1999, c) 97 mm, January 2005, d) 97 mm, February 2005

Tabela 1. Charakterystyka odpływu ścieków oczyszczonych z nawadnianej kwatery oczyszczalni roślinno-glebowej w Brzeźnie.

Table 1. Characteristic of the outlet of treated sewage from irrigated quarter of the artificial wetland in Brzeźno

Okres badań Study period	Objętość ścieków, m ³ Sewage volume, m ³		Współczynnik odpływu Outlet coefficient	Czas trwanie odpływu Time h
	surowych raw	oczyszczonych treated		
Czerwiec June 1997	110	44,3	0,403	54
Maj May 1999	55	35,1	0,64	48
Styczeń January 2005	110	12,2	0,11	74
Luty February 2005	110	42,9	0,39	155

było spowodowane najprawdopodobniej warunkami pracy oczyszczalni. W trakcie eksploatacji oczyszczalni zaobserwowano wielokrotne przeciążanie powierzchni kwater, jak również punktowe zrzuty ścieków surowych, które mogły przyczynić się do znacznej kolmatacji materiału złoża.

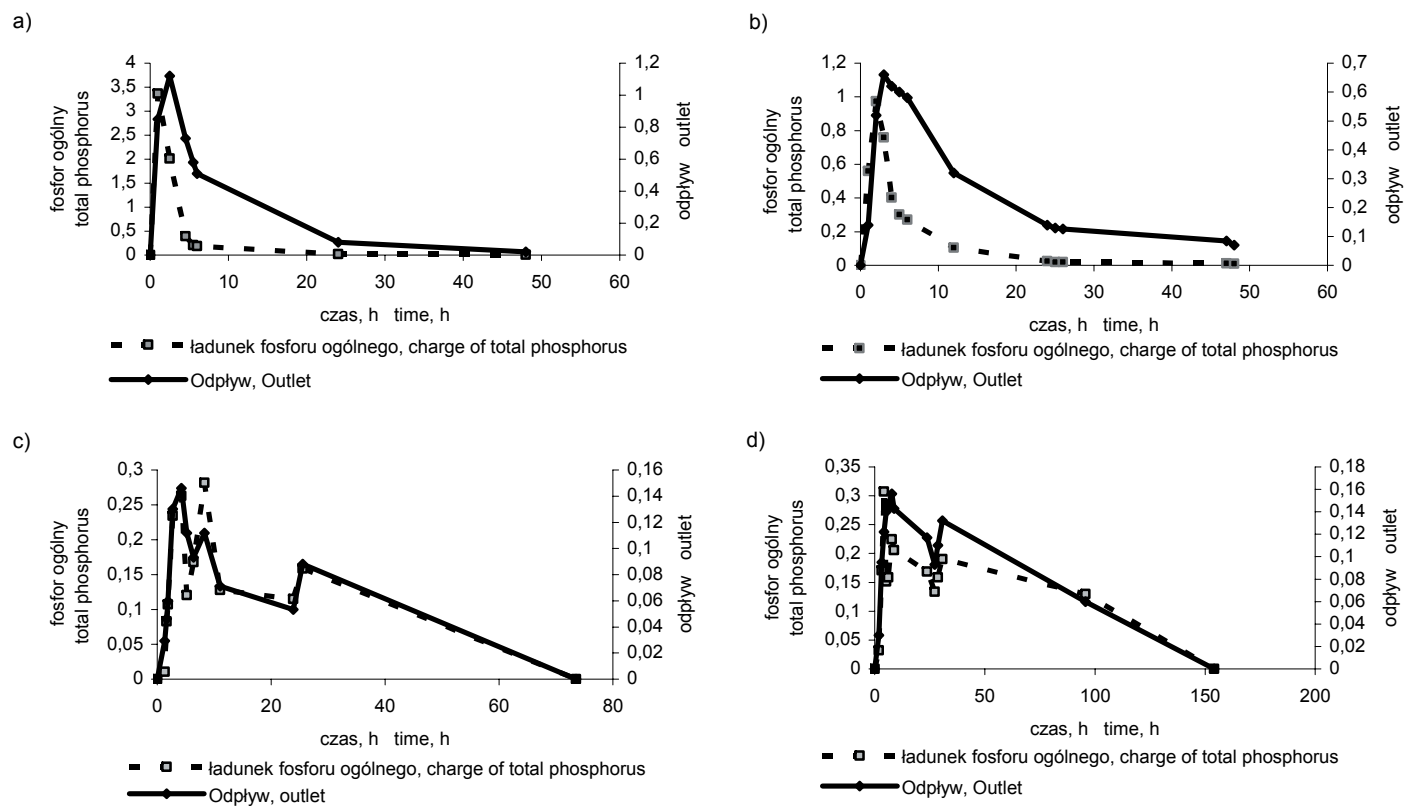
W badaniach przeprowadzonych w czerwcu 1997 i maju 1999 r., maksymalne stężenie fosforu ogólnego w oczyszczonych ściekach stwierdzono przed wystąpieniem maksymalnego natężenia ich odpływu (rys. 1a, b). W czerwcu 1997 r. maksymalne stężenie fosforu wyniosło 1,1 mg P·dm⁻³, natomiast w maju 1999 r. – 1,11 mg P·dm⁻³ (tab. 2).

Tabela 2. Stężenia fosforu ogólnego w ściekach surowych wprowadzanych na kwaterę i oczyszczonych odpływających z oczyszczalni roślinno-glebowej w Brzeźnie oraz skuteczność oczyszczania

Table 2. Total phosphorus concentration in raw sewage delivered to the quarter of the artificial wetland in Brzeźno and the efficiency of treatment

Okres badań Study period	Stężenie w ściekach Concentration in sewage mg P·dm ⁻³			Sprawność Efficiency %
	surowych raw	oczyszczonych treated		
		maksymalne maximum	średnie mean	
Czerwiec June 1997	19,1	1,1	0,26	98,6
Maj May 1999	11,5	1,11	0,21	98,2
Styczeń January 2005	14,7	0,7	0,40	97,3
Luty February 2005	8,2	0,7	0,36	95,6

W badaniach przeprowadzonych zimą (styczeń 2005 r.) maksymalne stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych wystąpiło po okresie maksymalnych odpływów i wyniosło 0,7 mg P·dm⁻³ (rys. 1c). W lutym 2005 r. maksymalne stężenie fosforu ogólnego wystąpiło w pierwszej dobie trwania odpływu i wyniosło 0,7 mg P·dm⁻³ (rys. 1d), następnie uległo zmniejszeniu o połowę i na takim poziomie utrzymywało się przez dwie doby trwania odpływu.



Rys. 2. Zmiany natężenia odpływu ($\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$) oraz zmiany ładunku fosforu ogólnego ($\text{g P}\cdot\text{h}^{-1}$) w ściekach oczyszczonych odpływających z kwatery po nawodnieniu dawką ścieków; a) 97 mm, czerwiec 1997 r., b) 48 mm, maj 1999 r., c) 97 mm, styczeń 2005 r., d) 97 mm, luty 2005 r.

Fig. 2. Changes of the outlet intensity ($\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$) and total phosphorus load ($\text{g P}\cdot\text{h}^{-1}$) in treated sewage flowing out of the quarter after irrigation with raw sewage at a dose of: a) 97 mm, June 1997, b) 48 mm, May 1999, c) 97 mm, January 2005, d) 97 mm, February 2005

Przeprowadzone badania wykazały, że na etapie wpracowywania się złoża, maksymalne stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych odpływających z nawadnianej kwatery występowało w 2.–3. godzinie odpływu, a następnie gwałtownie malało. W latach późniejszych odpływ z wyższymi wartościami stężeń fosforu ogólnego trwał dłużej.

Skuteczność usuwania fosforu w badanej oczyszczalni roślinno-glebowej była bardzo duża. Największą obserwowano podczas badań wykonanych w czerwcu 1997 r. (tab. 2). Nieznacznie mniejszą uzyskano w 2005 r. w miesiącach zimowych. Oznacza to, że badana oczyszczalnia po ośmiu latach nieprzerwanej eksploatacji nie zatraciła dużej skuteczności usuwania fosforu.

W czerwcu 1997 r. maksymalny godzinowy ładunek fosforu ogólnego odprowadzany z powierzchni kwatery wyniósł $3,37 \text{ g P}\cdot\text{h}^{-1}$ i wystąpił w pierwszej godzinie trwania odpływu, by następnie systematycznie zmniejszać się (rys. 2a). W maju 1999 r. maksymalny zaobserwowany godzinowy ładunek fosforu był nieco mniejszy od ładunku obserwowanego w 1997 r. i wyniósł $0,97 \text{ g P}\cdot\text{h}^{-1}$ (rys. 2b). W 2005 r. w styczniu, największy godzinowy ładunek fosforu równy $0,28 \text{ g P}\cdot\text{h}^{-1}$ (rys. 2c) odprowadzany ze ściekami surowymi obserwowano po wystąpieniu maksymalnego odpływu. W badaniach przeprowadzonych w lutym 2005 r., maksymalny godzinowy ładunek wystąpił w czasie trwania maksymalnego odpływu i wyniósł $0,31 \text{ g P}\cdot\text{h}^{-1}$ (rys. 2d).

W czerwcu 1997 r. na powierzchnię nawadnianej kwatery wprowadzono największy ładunek fosforu ogólnego, mimo to skuteczność jego usuwania była największa i wyniosła 99,5% (tab. 3). Maksymalny ładunek fosforu, który został odprowadzony ze ściekami oczyszczonymi zaobserwowano w lutym 2005 roku. Pomimo tego, że w miesiącach zimowych 2005 r. uwidoczniło się zwiększenie ładunku wynoszonego ze ściekami odpływającymi, sprawność oczyszczania ścieków z fosforu ogólnego pozostawała bardzo duża, powyżej 97%.

Tabela 3. Ładunek fosforu ogólnego wprowadzany na kwaterę i odprowadzany ze ściekami oczyszczonymi, oraz rzeczywista sprawność oczyszczania w oczyszczalni roślinno-glebowej w Brzeźnie

Table 3. Total phosphorus load delivered to the quarter and flowing out of the artificial wetland in Brzeźno and actual treatment efficiency

Okres badań Study period	Ładunek fosforu, g Total phosphorus load, g		Sprawność Efficiency %
	wprowadzony na kwaterę delivered to the quarter	odprowadzany z kwatery flowing out of the quarter	
Czerwiec June 1997	2 024,0	10,6	99,5
Maj May 1999	827,7	5,4	99,3
Styczeń January 2005	1 620,0	7,5	99,4
Luty February 2005	902,0	19,4	97,8

WNIOSKI

1. Współczynnik odpływu ścieków oczyszczonych z nawadnianej kwatery oczyszczalni roślinno-glebowej zmieniał się w granicach od 0,11 do 0,64. Można przypuszczać, że wielkość zmian zależy od wielu czynników, m.in. pory roku, temperatury, ewapotranspira-

cji, wilgotności gleby itp. Największe współczynniki odpływu notowano w początkowej fazie eksploatacji oczyszczalni.

2. Maksymalne chwilowe stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych po nawodnieniu kwatery trwało bardzo krótko (niezależnie od dawki nawodnieniowej). Prawdopodobnie związane to było z gwałtownym wypełnieniem złoża ściekami surowymi, oraz większym w początkowych fazach trwania odpływu natężeniem odcieku ścieków oczyszczonych.

3. Sprawność oczyszczania ścieków na pojedynczej kwaterze oczyszczalni roślinno-glebowej dla fosforu ogólnego jest wysoka (powyżej 97%) i niezależna od pory roku.

LITERATURA

- NOWAK I., KUCZEWSKI K., 2000. Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalni roślinno-glebowej. Zesz. Nauk. AR Wroc. nr 453 Monogr. 29 ss. 92.
- PAWĘSKA K., 2006. Ocena skuteczności oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach roślinno-glebowych o różnej eksploatacji. Wrocław: AR pr. dokt. maszyn. ss. 156.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. 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. 2006 nr 137 poz. 984.

Katarzyna PAWĘSKA, Krzysztof KUCZEWSKI

CHANGES OF TOTAL PHOSPHORUS CONCENTRATIONS IN TREATED SEWAGE FLOWING OUT OF ARTIFICIAL WETLAND AFTER IRRIGATION

Key words: outflow, plant-soil treatment facility, raw sewage, total phosphorus, treated sewage

S u m m a r y

This article shows results of a study on domestic sewage treatment in a small artificial wetland irrigated with domestic raw sewage. Changes of flow intensity, concentrations and loads of total phosphorus in the outflow were observed. The study was conducted in different periods of the treatment plant operation: at the beginning (1997), during proper operation (1999) and after several years of bed functioning in overloaded quarter (2005). The experiment was carried out in winter and summer months. Maximum flow intensity was typically observed in the first hours. In most cases, maximum phosphorus concentration and load discharged with the outflow accompanied maximum flow intensity.

Recenzenci:

prof. dr hab. Andrzej Sapek

dr hab. inż. Mikołaj Sikorski – prof. PŚk

Praca wpłynęła do Redakcji 25.07.2007 r.

