



Skuteczność oczyszczania ścieków w oczyszczalni hydrofitowej typu VF-CW

Tomasz Warężak
Ecoverde, Zielona Góra

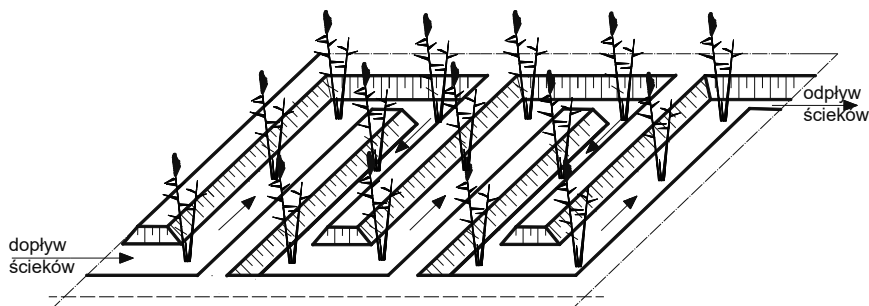
Zofia Sadecka, Sylwia Myszograj,
Monika Suchowska-Kisielewicz
Uniwersytet Zielonogórski

1. Wstęp

Hydrofitowa metoda oczyszczania ścieków polega na wykorzystaniu procesów sorpcji, chemicznych reakcji utleniania i redukcji, wymianie jonowej, sedymentacji i ewapotranspiracji oraz biologicznej aktywności roślin makrofitowych i mikroorganizmów, polegającej na bioakumulacji i biodegradacji związków organicznych i biogenych. Oczyszczalnie hydrofitowe zasilane w sposób ciągły dzieli się na dwa rodzaje: z powierzchniowym i podpowierzchniowym przepływem ścieków, oznaczane w literaturze jako FWS – *free water surface* lub SF – *water surface*, natomiast drugie określane jako VSB – *vegetated submerged beds* lub SFF – *subsurface flow system* [4, 18, 19, 27, 28, 38]. Dopływ ścieków na polećka hydrofitowe powinien być zawsze poprzedzony oczyszczeniem mechanicznym (np. w osadniku) [15, 28].

W systemach z powierzchniowym przepływem, poziom ścieków utrzymywany jest nad powierzchnią gruntu, a nasadzona roślinność wyniesiona ponad poziom ścieków. Systemy budowane są zazwyczaj w postaci rowów serpentynowych uszczelnionych od podłoża geomembraną i wypełnionych frakcją mineralną (żwir, tłuczeń, piasek) (rys. 1). Głębokość złoża wynosi zazwyczaj od 0,6 do 1,2 m, a spadek dna $\leq 0,5\%$. Ze względu na przemarzanie, stosowane są też złoża

o głębokości 2,0 m. Cechą charakterystyczną systemu jest stosunkowa duża powierzchnia jednostkowa, która wynosi min. 20 m²/M.

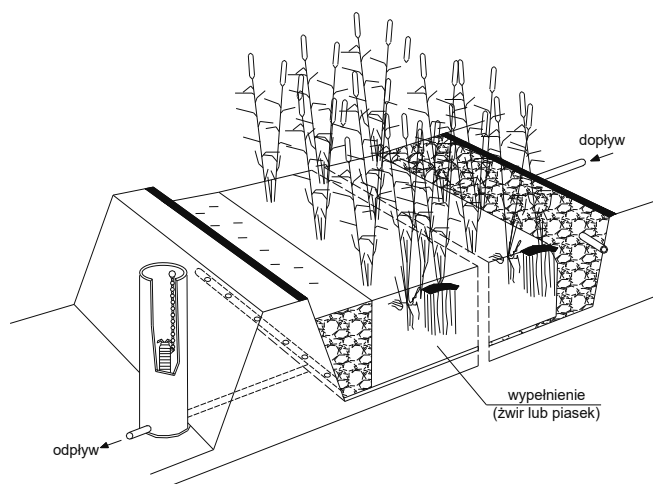


Rys. 1. System hydrofitowy z powierzchniowym przepływem ścieków [28]
Fig.1. Free water surface constructed wetland [28]

W systemach HF-CW (z podpowierzchniowym poziomym przepływem) poziom ścieków utrzymywany jest poniżej poziomu gruntu. Wypełnieniem złoża, podobnie jak w systemach z powierzchniowym przepływem, jest żwir, piasek lub grunt charakteryzujący się wysokim współczynnikiem przewodności hydraulicznej (rys. 2). Mięszczość złoża uzależniona od kierunku przepływu i rodzaju zastosowanej roślinności, wynosi zazwyczaj od 0,6 do 1,2 m, przy spadku dna od 1 do 3%. Obciążenie hydrauliczne złoża nie powinno być większe niż 40 mm/d, a jednostkowa powierzchnia rzutu poziomego ≥ 5 m²/M. Minimalna powierzchnia złoża wynosi 20–25 m², a uziarnienie frakcji mineralnych $d_{10} \geq 0,2$ mm, $d_{60}/d_{10} \leq 5$ mm [2, 5, 11, 28].

Systemy VF-CW (*vertical flow constructed wetland*) z podpowierzchniowym pionowym przepływem ścieków, w przeciwieństwie do systemów HF-CW, charakteryzują się mniejszym zapotrzebowaniem powierzchni. W zależności od poziomu wody gruntowej wykonane są w wykopie lub obudowane są skarpami ziemnymi wyniesionymi ponad teren. Dno złoża, uszczelnione jest geomembraną, na której umieszcza się układ drenażowy do odbioru ścieków oczyszczonych. Rury drenarskie obsypane są żwirem o frakcji $\Phi = 4\text{--}32$ mm. Kolejne warstwy w zależności od rozwiązań technologicznych, wykonane są ze: żwiru, piasku, kompostu, torfu, kory, trocin, słomy, a nawet opiłków żelaza [28]. Przykładowy system hydrofitowy z podpowierzchniowym pionowym

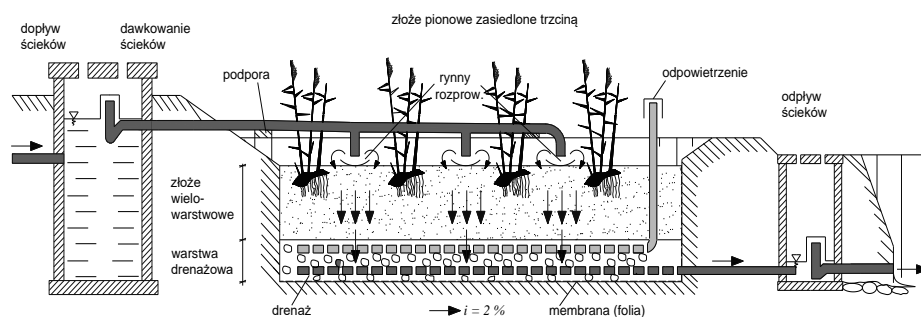
przepływem ścieków przedstawiono na rys.3. Podawana w literaturze niezbędna powierzchnia jednostkowa do prawidłowego przebiegu procesów oczyszczania ścieków jest różna. W Wielkiej Brytanii, przyjmuje się $1 \text{ m}^2/\text{M}$ dla oczyszczalni zapewniającej skuteczne usuwanie zanieczyszczeń organicznych oraz $2 \text{ m}^2/\text{M}$ wówczas, jeżeli ma być zapewniona nityfikacja [13]. Niemieckie wytyczne ATV określają, że minimalna powierzchnia złoża typu VF-CW powinna wynosić $3 \text{ m}^2/\text{M}$ [2].



Rys. 2. System hydrofitowy z podpowierzchniowym przepływem ścieków [28]
Fig. 2. Vegetated submerged beds constructed wetland (horizontal flow) [28]

W Austrii przyjmuje się $5 \text{ m}^2/\text{M}$ dla oczyszczalni z procesem nityfikacji. Od lat dziewięćdziesiątych, odkąd zaczęto szczegółowo zajmować się systemami tego typu, zaleca się przyjmować minimalną powierzchnię złoża na poziomie $8 \text{ m}^2/\text{M}$ [10, 16, 21, 29, 39].

W literaturze polskiej i zagranicznej dobrze udokumentowane są wyniki badań prowadzone na obiektach z powierzchniowym i podpowierzchniowym poziomym przepływem ścieków [27, 28]. Badania w zakresie funkcjonowania obiektów z pionowym przepływem ścieków, w Polsce były prowadzone przez Sorokę [37], Kowalika i in. [21], Magrela [26] oraz Wierzbickiego i in. [40]. Wyniki te dotyczą badań prowadzonych w cyklu rocznym lub w skali półtechnicznej.



Rys. 3. System hydrofitowy z podpowierzchniowym pionowym przepływem ścieków [28]

Fig. 3. Vegetated submerged beds constructed wetland (vertical flow) [28]

2. Cel badań

Ocena pracy oczyszczalni hydrofitowej z podpowierzchniowym pionowym przepływem ścieków w porównaniu do innych obiektów jest utrudniona, ponieważ obiekty VF-CW zaczęto budować w Polsce dopiero od 2004 r. [28], a w literaturze informacje dotyczące pracy rzeczywistych obiektów są ograniczone. Wcześniej prowadzono tylko badania pilotażowe w skali laboratoryjnej lub półtechnicznej. Jak podaje Krzanowski i in. [23] w literaturze naukowej niewiele jest wyników badań terenowych dotyczących kinetyki przemian zanieczyszczeń organicznych i biogenych w okresie niskich temperatur, jak również oceny pracy obiektów po latach eksploatacji. Zagraniczne dane literaturowe mogą być tylko bardzo ogólnym materiałem porównawczym, gdyż odnoszą się m.in. do innych obszarów klimatycznych.

W pracy przedstawiono ocenę funkcjonowania oczyszczalni "przydomowej" po 16 latach eksploatacji z wykazaniem efektywności pracy w zakresie usuwania zanieczyszczeń organicznych jak również związków biogenych w zależności od temperatury powietrza.

W badaniach nie uwzględniono bilansu wodnego obiektu obejmującego ilość ścieków, opady atmosferyczne i ewapotranspiracji ponieważ:

- Zamontowane przepływomierze w przepompowniach ulegały częstej awarii, co uniemożliwiało pomiary ilości ścieków dopływających do oczyszczalni.

- Średnia wielkość opadu atmosferycznego dla rejonu posadowienia oczyszczalni [6, 41], to ok. $500 \text{ mm/m}^2\text{rok}$, co przy średniej powierzchni oczyszczalni hydrofitowej (złóże VF, staw doczyszczający) wynoszącej ok. 20 m^2 , daje ok. $10 \text{ m}^3/\text{rok}$ opadu, który trafia na powierzchnię oczyszczalni. Ilość ścieków kierowana w skali roku do oczyszczalni przydomowej to ok. 270 m^3 , w związku z powyższym, opad atmosferyczny stanowi mniej niż 4% w ogólnym bilansie.
- Parowanie z powierzchni wody jest bardzo zróżnicowane w zależności o regionu Polski oraz temperatury. W literaturze [6, 41] podaje się zakresy od $500 \text{ mm/m}^2\text{rok}$ do nawet $1000 \text{ mm/m}^2\text{rok}$. Natomiast parowanie z powierzchni pokrytej hydrofitami przyjmuje wartości od $1000 \text{ mm/m}^2\text{rok}$ do nawet $2000 \text{ mm/m}^2\text{rok}$ [41]. Zatem przyjmując średnie wartości ewapotranspiracji (750 oraz $1500 \text{ mm/m}^2\text{rok}$), wyznaczona dla przydomowej oczyszczalni hydrofitowej ewapotranspiracja wynosi ponad $20 \text{ m}^3/\text{rok}$.

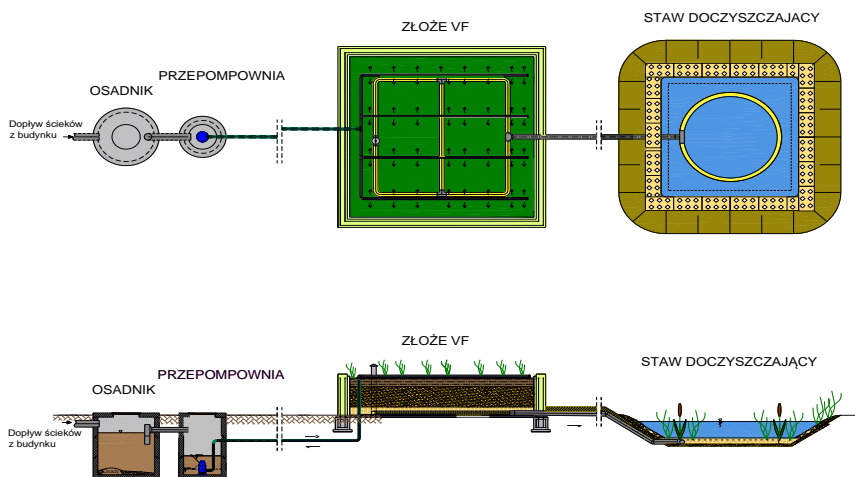
3. Charakterystyka obiektu badań

Obiektem badań była przydomowa hydrofitowa oczyszczalnia ścieków pracująca w układzie z podpowierzchniowym pionowym przepływem ścieków typu VF-CW. Ogólny schemat technologiczny oczyszczalni przedstawiono na rys. 4.

Obiekt badań został wybudowany i oddany do eksploatacji w 1996 r. Oczyszczalnia obsługuje jeden budynek mieszkalny, a jej dobową wydajność wynosi $Q_{\text{dsr}} = 0,8 \text{ m}^3/\text{d}$. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do gruntu poprzez staw doczyszczający. Osady z osadnika wywożone są na gminną oczyszczalnię ścieków raz na 5 lat.

Oczyszczalnia składa się z:

- jednokomorowego osadnika przepływowego o pojemności $V = 4 \text{ m}^3$, wykonanego z kręgów żelbetowych,
- przepompowni z kręgów betonowych o pojemności $V = 0,8 \text{ m}^3$,
- złoża o wymiarach $3,3 \text{ m} \times 3,0$ i powierzchni $P = 10,0 \text{ m}^2$ obudowanego murkiem oporowym,
- stawu doczyszczającego o wymiarach $3,4 \times 3,0$ i powierzchni $P = 10,2 \text{ m}^2$.



Rys. 4. Układ technologiczny oczyszczalni hydrofitowej (VF-CW)
Fig. 4. Technological system of a constructed wetland (vertical flow)

Złoże VF-CW ma wysokość 1,0 m i składa się z 3 warstw (mineralnych i organicznych). Określona w Patencie nr 198680 [38] powierzchnia jednostkowa złoża wynosi $2 \text{ m}^2/\text{M}$. Złoże odizolowane jest od podłoża geomembraną PE o grubości 1 mm. Pierwsza warstwa od dołu to żwir ($\Phi = 4\text{--}32 \text{ mm}$), następnie piasek średni ($\Phi = 0,5\text{--}2 \text{ mm}$). Ostatnia warstwa zbudowana jest z mieszanki kory drzewnej, trocin i zrębków drzewnych. Powierzchnia złoża obsadzona jest roślinnością makrofitową: manną mielec (*Glyceria maxima*) oraz turzycą sztywną (*Carex elata*). Ostatnim elementem oczyszczalni jest staw tzw. doczyszczający, zagłębiony w terenie na głębokość 0,7 m i częściowo odizolowany od podłoża geomembraną PE o grubości 1 mm. Odpływ ze stawu doczyszczającego następuje w wyniku infiltracji przez skarpy brzegowe, które obsypane są piaskiem średnim ($\Phi = 0,5\text{--}2 \text{ mm}$), wzbogaconym w wióry żelazne. W stawie doczyszczającym zasadzona jest także roślinność makrofitowa: pałka wąsko – (*Typha angustifolia*) i szerokolistna (*Typha latifolia*).

4. Metodyka badań

Próbki ścieków pobrano w okresie późnojesiennym (grudzień 2011), przy średniej temperaturze powietrza w tym okresie na poziomie ok. 5°C . Druga seria badań wykonana została zimą (luty 2012), w okresie

temperatur powietrza ok. (-)5°C, po okresie kilkutygodniowych temperatur poniżej (-)18°C. Próbkę w ostatniej serii badań, pobrano wiosną (czerwiec 2012), przy temperaturach powietrza sięgających 20°C.

Próbki ścieków surowych pobierano w przepompowni zlokalizowanej przed dopływem do złoża hydrofitowego, a ścieków oczyszczonych w stawie doczyszczającym zgodnie z PN-ISO 5667-10:1997: „*Jaakość wody. Pobieranie próbek. Wytyczne do pobierania próbek ścieków*”. Próbkę złożone (uśrednione) tj. zmieszane w odpowiednich proporcjach (proporcjonalne do czasu) pobierano w ilości 300 ml każda. Próbkę pobierano czerpakiem z obojętnego materiału, nie wpływającego na wyniki wykonywanych analiz (zgodnie z ISO 5667-2). Przed rozpoczęciem poboru próbek, sprzęt przepłukiwano ściekami. W uśrednionych próbkach ścieków surowych i oczyszczonych w minimum trzech powtórzeniach oznaczono:

- Chemiczne zapotrzebowanie na tlen ChZT – metodą z dwuchromianem potasu [31],
- Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen BZT₅ – metodą manometryczną za pomocą systemu pomiarowego OxiTop Control OC110 firmy WTW [32],
- Azot amonowy – metodą miareczkową po destylacji amoniaku w środowisku silnie alkalicznym w aparacie Vapodest 30 firmy C. Gerhardt [30],
- Azot azotanowy – metodą kolorymetryczną z kwasem sulfanilowym w połączeniu z 0naftyloaminą [29],
- Azot azotynowy – metodą absorpcyjnej spektrometrii cząsteczkowej [34],
- Azot ogólny Kjeldahla – metodą miareczkową z mianowanym roztworem zasady sodowej (po mineralizacji próbek ścieków metodą z kwasem siarkowym i selenem oraz po oddzieleniu amoniaku z próbki na drodze destylacji z parą wodną w środowisku silnie alkalicznym w aparacie Vapodest 30 firmy C. Gerhardt [33],
- Azot całkowity – suma wszystkich oznaczanych form azotu,
- Fosforany – metodą spektrometryczną z molibdenianem amonu za pomocą spektrofotometru Marcel Media,
- Fosfor ogólny – metodą spektrometryczną z molibdenianem amonu przy użyciu spektrofotometru Marcel Media [35].

Efektywność usuwania zanieczyszczeń obliczano jako iloraz różnicy stężeń na dopływie (C_0) i odpływie (C) z oczyszczalni do stężenia na dopływie (C) ze wzoru:

$$\eta = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

5. Wyniki badań

Charakterystykę ścieków surowych i oczyszczonych z oczyszczalni hydrofitowej w Przyborowie po 16 latach eksploatacji w zależności od pory roku przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka ścieków surowych i oczyszczonych w oczyszczalni w Przyborowie po 16 latach eksploatacji

Table 1. The pollutant concentration in influent and effluent from constructed wetland in Przyborów, after 16 years working

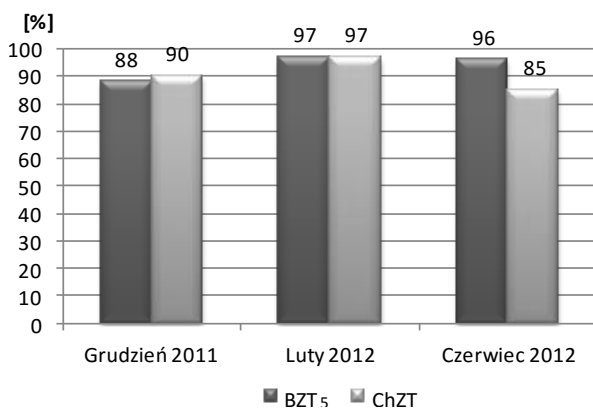
Okres poboru próbek	Miejsce poboru	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	N-Nc	P-PO ₄ ³⁻	P-Pog	ChZT	BZT ₅	ChZT/BZT ₅
		mgN-NH ₄ ⁺ /dm ³	mgN-NO ₂ ⁻ /dm ³	mgN-NO ₃ ⁻ /dm ³	mgNc/dm ³	mgP-PO ₄ ³⁻ /dm ³	mgPog/dm ³	mgO ₂ /dm ³	mgO ₂ /dm ³	
Grudzień 2011	Dopływ	59,50	0,07	0,24	66,11	3,57	5,25	381	231	1,65
	Odpływ	7,32	0,20	37,85	46,45	1,67	2,35	37	28	1,30
Luty 2012	Dopływ	74,40	0,06	0,37	85,83	7,76	9,85	353	264	1,34
	Odpływ	15,17	0,07	2,24	18,41	0,72	1,68	11	7	1,47
Czerwiec 2012	Dopływ	47,60	0,00	0,33	75,93	10,20	12,40	364	173	2,10
	Odpływ	4,20	0,16	4,13	12,69	1,55	1,98	55	8	7,14

Ścieki surowe w rozpatrywanym okresie badań charakteryzowały się BZT₅ od 173 do 264 mg O₂/dm³, oraz ChZT od 353 do 381 mg O₂/dm³. Średnie wartości stężeń azotu amonowego były na poziomie 60,50 mg/dm³, azotu azotynowego – 0,04 mg/dm³, azotu azotanowego – 0,31 mg/dm³ oraz azotu całkowitego 75,96 mg/dm³.

Średnie stężenia fosforanów wynosiły 7,18 mg/dm³, a fosforu ogólnego 9,17 mg/dm³. Średnie wartości wskaźników zanieczyszczeń

organicznych w ściekach oczyszczonych wyniosły: $BZT_5 = 14,4 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$, a $ChZT = 34,2 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$.

W ściekach oczyszczonych średnie stężenie azotu amonowego było na poziomie $8,89 \text{ mg}/\text{dm}^3$, azotu azotynowego $0,14 \text{ mg}/\text{dm}^3$, azotu azotanowego $14,74 \text{ mg}/\text{dm}^3$, azotu całkowitego $25,85 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Średnie stężenie fosforanów wynosiło $1,31 \text{ mg}/\text{dm}^3$, a fosforu ogólnego $2,00 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń organicznych (rys. 5) w okresie badań była wysoka i dla BZT_5 wynosiła od 88 do 97%, a $ChZT$ od 85 do 97%.

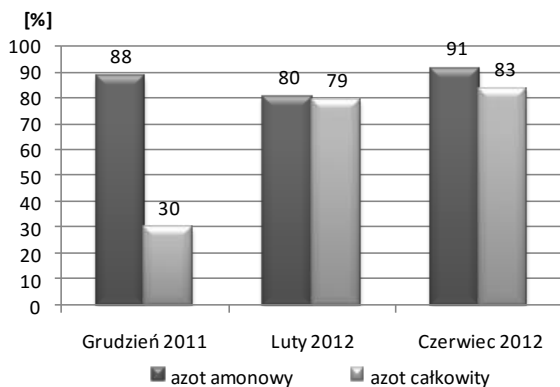


Rys. 5. Efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych w BZT_5 i $ChZT$

Fig. 5. Pollutants efficiency removal of BOD_5 and COD

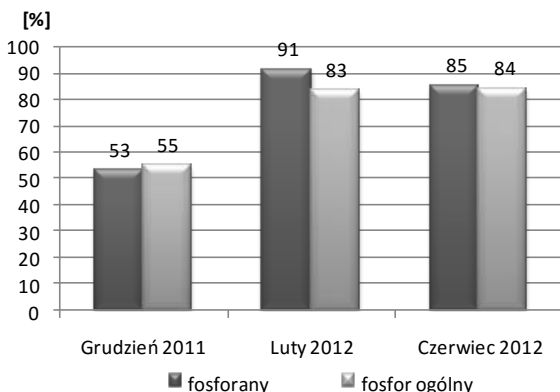
W analizowanej oczyszczalni stwierdzono zachodzący proces nityfikacji, o czym świadczy od 80 do 91 % obniżenie stężenia azotu amonowego. Azot całkowity usuwany był ze ścieków z efektywnością od 30 do 83% (rys. 6).

Związki fosforu usuwane były ze ścieków ze zmienną efektywnością w zależności od pory roku. W okresie późnojesiennym usuwanie fosforanów kształtowało się na poziomie ok. 53%, podczas gdy w okresie zimy i lata efektywność wzrosła do 91–85%. Na porównywalnym poziomie stwierdzono efektywność usuwania fosforu ogólnego (rys. 7).



Rys. 6. Efektywność usuwania związków azotu

Fig. 6. Pollutants efficiency removal of nitrogen compounds



Rys. 7. Efektywność usuwania związków fosforu

Fig. 7. Pollutants efficiency removal of phosphorus compounds

6. Dyskusja

Stabilna skuteczność pracy obiektów hydrofitowych uwarunkowana jest obciążeniem ładunkiem zanieczyszczeń. Ścieki surowe dopływające do oczyszczalni charakteryzowały się bardzo nierównomiernym składem szczególnie w zakresie stężeń związków biogennych. Stężenia azotu całkowitego wynosiły od 66 do 85 mg/dm³, a stężenia fosforu ogólnego od 5 do 12 mg/dm³. Uzyskane wyniki odbiegają od danych literaturowych, w których podaje się stężenia tych związków na poziomie: azot całkowity 120 mg/dm³, fosfor ogólny 20 mg/dm³ [6, 7, 23].

Okresowe zmiany stężeń azotu całkowitego i fosforu ogólnego są jednak typowe dla tak małych obiektów jakimi są oczyszczalnie przydomowe. Wg Błażejewskiego [6] i Krzanowskiego [15] okresowy wzrost ilości osób zamieszkujących gospodarstwo, zwiększona ilość odpływów kuchennych oraz oszczędne lub zwiększone gospodarowanie wodą, ma istotny wpływ na wzrost lub spadek wartości stężeń poszczególnych zanieczyszczeń na dopływie do oczyszczalni.

Wyniki badań wykazały prawidłową pracę oczyszczalni w zakresie usuwania związków organicznych, wyrażonych w BZT₅ i ChZT. Średnia skuteczność usuwania związków organicznych wyniosła 94% dla BZT₅ oraz 91% dla ChZT. Podobną skuteczność w usuwaniu związków organicznych osiągają obiekty VF-CW opisywane w literaturze. Wg danych Soroki [37] i Kowalika [22] obniżenie wartości BZT₅ w ściekach wynosi kolejno 97,4% i 93,8 %. Obarska-Pempkowiak [28, 12] podaje efektywność pracy tego typu oczyszczalni w zakresie dla BZT₅ od 86 do 98%, a dla ChZT od 79 do 94%. W podanych zakresach mieszczą się informacje Magrela [26], który podaje obniżenie wartości BZT₅ i ChZT w ściekach na poziomie kolejno 96,5 i 87,9%.

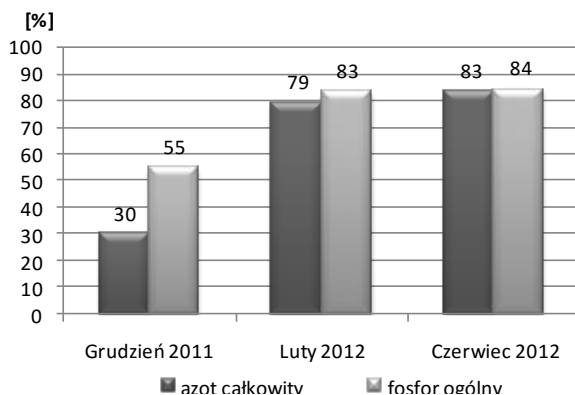
Ocenę pracy oczyszczalni w zakresie usuwania związków organicznych dokonano również na podstawie analizy ilorazu ChZT/BZT₅ określającego podatność ścieków na rozkład biologiczny. Wartość tego ilorazu dla ścieków dopływających do oczyszczalni wynosiła od 1,3 do 2,1 co wskazuje, że ścieki są podatne na rozkład biologiczny. Uzyskane wartości ilorazu ChZT/BZT₅ są porównywalne z wartościami podawanymi w literaturze, według których wartość ilorazu dla ścieków wstępnie oczyszczonych jest w przybliżeniu stała i wynosi od 1,8 do 2,0 [30]. Niska wartość ilorazu < 1,8 wskazuje na podatność zanieczyszczeń na rozkład biologiczny. W ściekach oczyszczonych wg danych literaturowych wartość ilorazu ChZT/BZT₅ zwiększa się do około 4–6, a nawet 10–12 [20, 24]. Wysoka wartość ilorazu wyznaczona dla ścieków oczyszczonych informuje o tym, że ścieki oczyszczone zawierają głównie substancje organiczne odporne na procesy biologicznego rozkładu. W badanym obiekcie w okresie jesiennym i zimowym wartość ilorazu dla ścieków oczyszczonych mieściła się w przedziale 1,30–1,47, natomiast w okresie letnim wzrosła do 7,0.

Średnia efektywność utleniania azotu amonowego wynosiła 87%. Tak wysoką skuteczność nityfikacji potwierdzają także dane literaturowe.

Badania prowadzone w 2007 i 2008 r. przez Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa [40] na tego typu obiektach pracujących 3–4 lata w woj. podlaskim, wykazały ponad 90% obniżenie stężenia azotu amonowego. Badania Sadeckiej [36] i Józwiakowskiego [17] wykazują, że w przypadku wzrostu obciążenia efektywność obiektów hydrofitowych w zakresie usuwania azotu amonowego maleje do 15–50%.

Wysoka skuteczność obniżenia stężeń azotu amonowego, okresowo obserwowane wysokie stężenia N-NO_3^- w ściekach oczyszczonych oraz bardzo zróżnicowana skuteczność usuwania azotu całkowitego świadczą o prawidłowym przebiegu nityfikacji, ale nie wskazują na przebieg procesu denityfikacji. Potwierdzają to badania Haberla i in. [14], a podobne wyniki badań na złożach z przepływem pionowym otrzymał Börner [8] i Jaohansen i Brix [16]. Wg Luederitza i in. [25] warunkiem uzyskania nityfikacji i denityfikacji jest zastosowanie dodatkowego złoża.

W analizowanym okresie badań średnia skuteczność usuwania azotu całkowitego ze ścieków wyniosła 64% (rys. 8).



Rys. 8. Efektywność usuwania związków azotu i fosforu ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej typu VF-CW

Fig. 8. Pollutants efficiency removal of phosphorus and nitrogen compounds in constructed wetland (vertical flow)

Zdolność oczyszczalni hydrofitowych VF-CW do usuwania azotu całkowitego na poziomie 76% podaje Kowalik i in. [22], natomiast skuteczność na poziomie 41,6% podaje Soroko [21].

W czasie badań odnotowano nietypowy wzrost skuteczności usuwania azotu całkowitego w okresie zimowym (rys. 8). Wzrost skuteczności usuwania azotu całkowitego w oczyszczalniach hydrofitowych VF-CW ze stawem doczyszczającym, związany jest prawdopodobnie z faktem, że w okresie zimowym warstwa lodu znacznie ogranicza dopływ tlenu w procesie dyfuzji. Okresowe braki tlenu to warunki do przebiegu procesu denitryfikacji, w wyniku czego spada stężenie $N-NO_3^-$ w odpływie z oczyszczalni.

Efektywność pracy badanego obiektu w usuwaniu fosforu ogólnego ze ścieków wynosiła od 55% do 84%, średnio 74%. W porównaniu do danych literaturowych jest to bardzo wysoka skuteczność. Badania prowadzone przez Magrela [26] na 2 obiektach w woj. podlaskim wykazały usuwanie fosforu ogólnego w przedziale od 11,6% do 41,9%.

Odnotowana wysoka sprawność oczyszczalni w usuwaniu fosforu ogólnego, spowodowana jest prawdopodobnie z jednej strony jakością ścieków surowych, a z drugiej wcześniejszym odładowaniem złoża ze zdeponowanego w nim fosforu. Wg Sadeckiej [36] w 3–5 roku pracy oczyszczalni hydrofitowych następuje tzw. „odładowanie” czyli wypłukiwanie wcześniej zdeponowanego fosforu ze złoża. Obserwowany wzrost skuteczności usuwania fosforu, może właśnie dotyczyć wcześniejszego odładowania złoża, a przez to powtórznego zwiększenia zdolności złoża do wiązania fosforu. Badania Ariasa i in. [3] oraz Brix i in. [9], potwierdzają konieczność stosowania w złożach o pionowych przepływie ścieków wypełnień z dużą ilością żelaza, celem zwiększenia skuteczności usuwania fosforu.

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Z danych literaturowych wynika, że skuteczność oczyszczania w systemach hydrofitowych VF-CW jest bardzo różna. Obiekty tego rodzaju charakteryzują się zazwyczaj wysoką efektywnością w usuwaniu związków organicznych oraz bardzo zróżnicowaną w zakresie związków biogenych. Wyniki badań potwierdziły wysoką skuteczność usuwania związków organicznych. Stwierdzono, że usuwanie związków biogenych, azotu i fosforu ze ścieków jest niestabilne w czasie i podlega wahaniom w skali roku i zależy głównie od składu ścieków surowych i warunków środowiskowych (m.in. ewapotranspiracji i temperatury). Badania wykazały, że pomimo bardzo zróżnicowanego składu ścieków suro-

wych, proces nityfikacji przebiegał prawidłowo. Okresowe braki tlenu w układzie prowadziły do denityfikacji. Badany obiekt charakteryzował się zaskakująco wysoką efektywnością usuwania fosforu ogólnego. Związane jest to prawdopodobnie z wcześniejszym „odładowaniem” złoża z fosforu, a przez to powtórnym zwiększeniem zdolności złoża do wiązania fosforu. Na podstawie wykonanych badań i otrzymanych wyników, można sformułować następujące wnioski:

Oczyszczalnia przydomowa typu VF-CW charakteryzuje się wysoką efektywnością w usuwaniu ze ścieków związków organicznych wyrażonych w BZT₅ i ChZT.

Usuwanie związków azotu jest niestabilne w czasie i podlega wahaniom w skali roku i zależy od składu ścieków surowych oraz warunków środowiskowych (m.in. temperatury).

W oczyszczalni zachodzi proces nityfikacji, a okresowe braki tlenu (warunki zimowe) zwiększają sprawność obiektu w zakresie usuwania azotu w procesie denityfikacji.

Obiekt charakteryzował się zaskakująco wysoką efektywnością usuwania fosforu ogólnego. Związane jest to prawdopodobnie z wcześniejszym „odładowaniem” złoża z fosforu, a przez to powtórnym zwiększeniem jego zdolności sorpcyjnych do wiązania fosforu.

Literatura

1. **Akratos Ch.S., Tsihrintzis V.A.:** *HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands*. Ecological Engineering, vol.29, 171–191 (2007).
2. **Arbeitsblatt ATV A262.:** *Oczyszczanie ścieków z gospodarstw domowych w oczyszczalniach roślinnych*. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa, 1998.
3. **Arias C.A., Brix H. and Johansen N.H.:** *Phosphorus removal from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system equipped with a calcite filter*. IWA Publishing, Water Science & Technology, Vol. 48, no 5, 51–58 (2003).
4. **Avsar et al.:** *Rehabilitation by constructed wetlands of available wastewater treatment plant in Sakhin*. Ecological Engineering, Vol. 29, 27–32 (2007).
5. **Birkedal K., Brix H., Johansen N.H.:** *Wastewater treatment in constructed wetlands systems. Designers manual*. Danish-Polish Post-Graduate Course on low technology wastewater treatment. Technical University of Gdańsk, Gdańsk, 1993.

6. **Błażejowski R.:** *Kanalizacja wsi*. PZiTS Oddział Wielkopolski, Poznań, 2003.
7. **Błażejowski R.:** *Wymiarowanie a eksploatacja osadników gnilnych*. Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Seria Inżynieria Środowiska, 16, Białystok, s. 98–103 (2003).
8. **Börner T.:** *Einflußfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen*. Schriftenreihe WAR, TH Darmstadt, 58, 1992.
9. **Brix H., Arias C. A., del. Bubba M.:** *Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands*. Water Science & Technology, Vol 44, No 11–12, 47–54 (2001).
10. **Cooper P.F., Hobson J.A., Jones S.:** *Sewage treatment by reed bed systems*. Journal of Institution of Water and Environmental Management, 3(1); 60 (1998).
11. **Cooper P.F.:** *European design and operation guidelines for reed bed treatment systems*. Prepared by EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group. Swindon, UK: Water Research Centre, 1990.
12. **Gajewska M., Obarska-Pempkowiak H., Kopec Ł.:** *Operation of small wastewater treatment facilities in a scattered settlement*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 13, (2011).
13. **Green M.B.:** *Experience with establishment and operation of reed bed treatment for small communities in the UK*. Wetland Ecology and Management, 4; 147–158 (1997).
14. **Haberl R., Perfler R., Mayer H.:** *Constructed wetlands in Europe*. Water Science & Technology. vol. 32. No. 3, 305–315 (1995).
15. **Jakubaszek A., Wojciech M.:** *Analiza statystyczna zawartości azotu ogólnego w złożu oczyszczalni hydrofitowej w Małyszynie*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego Nr 142. Inżynieria Środowiska – 22 (2011).
16. **Johansen N. H., Brix H.:** *Design criteria for a two-stage constructed wetland*. Proceedings of 5th International conference on wetland system for water pollution control. Universitaet fuer Bandenkutur Wien and International Association on Water Quality, Vienna, IX 1996, 3–7 (1996).
17. **Jóźwiakowski K.:** *Wpływ wycinki roślin na skuteczność usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni hydrofitowej z pionowym przepływem*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Nr 2/2010, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi. 143–153 (2010).
18. **Kadlec R. H., Knight R.L.:** *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA, 2004.
19. **Kadlec R. H., Wallace S.D.:** *Treatment Wetlands. Second edition*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca raton, London, New York, 2009.

20. **Klimiuk E., Lebkowska M.:** *Biotechnologia w ochronie środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
21. **Kowalik P., H. Obarska-Pempkowiak H.:** *Oczyszczalnie hydrofitowe w Polsce*. IX Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna z cyklu Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych, Rajgród, 32–44 (1997).
22. **Kowalik P., Mierzejewski M., Randerson P.F., Hogland W.:** *Performance of subsurface vertical flow constructed wetlands receiving municipal wastewater*. Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. 349–370 (2004).
23. **Krzanowski S., Jucherski A., Wałęga A.:** *Wpływ pory roku na niezawodność technologiczną wielostopniowej, gruntowo-roślinnej przydomowej oczyszczalni ścieków*. Infrastruktura I Ekologia Terenów Wiejskich., Nr 1/2005, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, 37–35 (2005).
24. **Kulakowski P.:** *Metody oznaczania wskaźników zanieczyszczeń organicznych w wodzie i ściekach*. Chemiczne zapotrzebowanie tlenu. Materiały seminaryjne. Politechnika Krakowska, Kraków, 2002.
25. **Luederitz V., Eckert E., Lange-Weber M., Lange A., Gersberg R.M.:** *Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands*. Ecological Engineering, no 18, 157–171 (2001).
26. **Magrel L.:** *Oczyszczalnie hydrofitowe w gminie Sokoły, woj. Podlaskie*. (maszynopis 2009), 2009.
27. **Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., Stosik M.:** *Constructed Wetland Systems for aerial runoff treatment in the gulf of Gdańsk region*. Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 13, (2011).
28. **Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E.:** *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010.
29. PN-82 C-04576.08
30. PN-C-04576-4:1994
31. PN-EN ISO 6876:2006
32. PN-EN 1899-1:2002
33. PN-EN 25663:2001
34. PN-EN 26777:1999
35. PN-ISO 6060:2006.
36. **Sadecka Z.:** *Ocena efektywności pracy wybranych oczyszczalni hydrobotanicznych*. Ochrona Środowiska, nr 25(1), 13–16 (2003).

37. **Soroko M.:** *Skuteczność usuwania substancji organicznej oraz związków biogenicznych w kilku oczyszczalniach hydrofitowych.* Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, IMUZ 2001, 1(1), 173–186 (2001).
38. **Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej,** 2008: Biologiczna oczyszczalnia ścieków. Patent nr 198680.
39. **Vymazal J.:** *Czech Republic. W: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe (Eds. J.Vymazal, H. Brix, P.F. Cooper, M.B. Green, R. Haberl).* The Netherlands, Leiden: Backhuys Publishers, 95–121 (1998).
40. **Wierzbicki K., Eymontt A., Gutry P.:** *Analiza i ocena różnych rozwiązań kanalizacji bytowej na terenach wiejskich.* IBMER, Warszawa, 2008.
41. **Źródło danych:** IMGW, <http://www.imgw.pl>

Efficiency of Wastewater Treatment in Constructed Wetland (Vertical Flow)

Abstract

In the scientific literature, there is no field test results for the removal of organic pollutants and nutrients in sewage-type VF-CW during low temperatures, as well as evaluation of buildings after years of service. This paper presents the results of the composition of the raw sewage and treated in a wastewater treatment "a household" after 16 years of service with an indication of the efficiency of the removal of organic pollutants and biogenic compounds depending on the season. The results showed high efficiency in the removal of organic compounds from wastewater expressed in BOD5 and COD. Average removal efficiency of organic compounds was 94% for BOD5 and 91% for COD. Removal of nitrogen compounds were unstable over time and subject to fluctuations in annual and depend on the composition of the raw sewage, and environmental conditions (such as temperature and evapotranspiration). It has been shown that the examined object nitrification occurs, a temporary lack of oxygen (winter conditions) to increase efficiency in the removal of nitrogen in the process of denitrification. In the period under study the average efficiency of total nitrogen removal from wastewater was 64%. The test object was characterized by a surprisingly high total phosphorus removal efficiency. Efficiency of removal of phosphorus from the waste water ranged from 55% to 84%, averaging 74%. The observed increase in the efficiency of phosphorus removal, it may relate to the previous lightening bed and thus increase its ability to re-bind to phosphate.