

OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW Z MAŁEJ PRZETWÓRNI OWOCOWO-WARZYWNEJ W ZŁOŻACH GRUNTOWO-ROŚLINNYCH Z PRZEPLYWEM PIONOWYM

Marek SOROKO

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu

Słowa kluczowe: BZT₅, ChZT, oczyszczalnia hydrofitowa, substancja organiczna, ścieki z przetworni owocowo-warzywnej

Streszczenie

Badano skuteczność oczyszczania ścieków z małej przetworni owocowo-warzywnej w 4 złożach gruntowo-roślinnych z przepływem pionowym, porośniętych trzcina. W ściekach tych, ubogich w azot i fosfor, głównym zanieczyszczeniem była substancja organiczna. Jej zawartość, wyrażona w BZT₅ i ChZT, wynosiła odpowiednio 1 500–8 000 i 2 000–13 000 g O₂·m⁻³. Największą skuteczność oczyszczania osiągnięto na wpracowanym złożu piaskowym, znoszącym zadowalająco obciążenia tą substancją wyrażone w BZT₅ do ok. 90 g O₂·m⁻²·d⁻¹ i w ChZT – do ok. 110 g O₂·m⁻²·d⁻¹. W przypadku wpracowującego się złoża piaskowo-żwirowego, wskaźniki te wyniosły tylko około 50 i 70 g O₂·m⁻²·d⁻¹. Zastosowanie na takim samym złożu wzbogacania ścieków azotem, zmniejszającego stosunek BZT₅ : N z około 200 do 70 powodowało zwiększenie wartości tych wskaźników odpowiednio do około 70 i 90 g O₂·m⁻²·d⁻¹. Wyniki te osiągnięto, gdy temperatura odpływów ze złoża była większa niż 5°C. W przypadku temperatury 4–4,5°C wystarczającą skuteczność zapewniło zmniejszenie obciążenia złoża wyrażonego w BZT₅ do ok. 50 g O₂·m⁻²·d⁻¹ i w ChZT – do ok. 70 g O₂·m⁻²·d⁻¹.

WSTĘP

Przetwórstwem owocowo-warzywnym zajmuje się w kraju łącznie 1300–1400 zakładów, z czego 70–80% stanowią małe przetwornie o rocznej produkcji do 1000 t [TALIK, CHUDZIK, 2000]. Według danych GUS [Ochrona ..., 2002–2005] wszystkie one wytwarza-

Adres do korespondencji: dr inż. M. Soroko, Dolnośląski Ośrodek Badawczy IMUZ, ul. Berlinga 7, 51-209 Wrocław; tel. +48 (71) 367-80-92, e-mail: mso@dob-imuz.pl

ją rocznie średnio około 10 hm³ ścieków wymagających oczyszczenia. 0,5 hm³ jest oczyszczane tylko mechanicznie, a 0,25 hm³ stanowią ścieki nieoczyszczone. Jakość ścieków z przetwórstwa owocowo-warzywnego jest bardzo różna, w zależności od takich czynników jak rodzaj przerabianych owoców i warzyw, rodzaj produktu oraz gospodarka wodą w zakładzie. Są to ścieki ubogie w azot, a ich głównym zanieczyszczeniem jest substancja organiczna. Jej zawartość wyrażona w BZT₅ osiąga na ogół od około 500 do 5000 g O₂·m⁻³ [KOZIOROWSKI, 1980, RUFNER, ROSENWINKEL, 1998]. W małych przetwórnich największe wartości BZT₅ występują w ściekach z przerobu owoców – bogatych w kwasy organiczne. Okresowo przekraczają one znacznie 5000 g O₂·m⁻³ [TALIK, CHUDZIK, 2000; SOROKO, 2003]. Z przedstawionych danych wynika, że BZT₅ tego rodzaju ścieków osiąga średnio wartość około 10-krotnie, a maksymalnie ponad 20-krotnie większą niż w typowych ściekach bytowych.

Ścieki z małych przetwórni owocowo-warzywnych charakteryzują się też bardzo dużą sezonową zmiennością ilości i jakości, co utrudnia ich oczyszczanie metodami konwencjonalnymi. W latach 90. XX wieku zaczęto w Polsce wykorzystywać do ich unieszkodliwiania systemy hydrofitowe, oparte na złożach gruntowo-roślinnych z poziomym przepływem podpowierzchniowym. Badania przeprowadzone przez autora na przykładowej oczyszczalni hydrofitowej, a także na oczyszczalni doświadczalnej [SOROKO, 2003] wykazały, że zastosowanie do oczyszczania tych ścieków podtopionych i słabo natleniających się złóż z poziomym przepływem podpowierzchniowym daje efekty dalece niewystarczające w odniesieniu do zmniejszenia ich BZT₅ i ChZT, nawet w warunkach małego obciążenia złóż ściekami. Uzyskane wyniki stały się inspiracją do podjęcia badań nad skutecznością oczyszczania tych ścieków w złożach z przepływem pionowym, pracujących w warunkach nienasyconienia i dzięki temu znacznie lepiej natleniających. Celem badań było określenie skuteczności tych złóż w oczyszczaniu ścieków z przetwórstwa owocowo-warzywnego w zależności od ich obciążenia substancją organiczną zawartą w ściekach oraz od rodzaju materiału użytego do ich budowy. Przetestowano też wpływ suplementacji tych ubogich w azot ścieków na efekty ich oczyszczania na pracujących się złożach piaskowo-żwirowych.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Miejszem badań była Stacja Doświadczalna IMUZ we Wrocławiu. Zastosowano 4 pilotowe złoża hydrofitowe uszczelnione folią i porośnięte trzcina pospolitą (*Phragmites australis* C. Trin ex Steudel). Powierzchnia każdego ze złóż wynosiła 5 m², a miąższość 0,9 m. Trzy z nich (1., 2. i 3.) były zbudowane z warstwy grubego piasku ($d_{10} = 0,30$ mm) o miąższości 25 cm (warstwa górna) i trzech warstw żwiru o rosnącej z głębokością granulacji. Złoże 4. składało się z 2 warstw piasku – górnej ($d_{10} = 0,30$ mm) i dolnej ($d_{10} = 0,22$ mm). Złoża 1., 2. i 3. były zbudowane w roku 2004 i pracowały się w trakcie badań. Złoże 4., zbudowane w roku 2002, było od początku badań porośnięte trzcina z rozwiniętym w pełni systemem korzeniowym. Badania prowadzono od czerwca 2005 r. do lutego 2007 r. Na złożach 1.–3., ze względu na słaby rozwój roślin, rozpoczęto je we wrześniu 2005 r. Od połowy stycznia do kwietnia 2006 r. trwała przerwa w pracy złóż, spowodowana bardzo mroźną zimą.

Ścieki były dostarczane z małej przetwórnicy owocowo-warzywniczej w Karwińcu koło Bierutowa. Pobierano je co 3–4 tygodnie ze zbiornika bezodpływowego i po przywiezieniu magazynowano w sąsiedztwie badanych złóż. Następnie rozdeszczowywano je równomiernie na powierzchnię złóż dwa razy na dobę. Ścieki, po przesączeniu się przez złoża, były odprowadzane na zewnątrz drenażem wyposażonym w pionowe rury napowietrzające. Obciążenie hydrauliczne złóż było okresowo zmieniane od 6 do 16 mm·d⁻¹. Zakres obciążeń złóż substancją organiczną wyrażoną w BZT₅ wynosił od 20 do 120 g O₂·m⁻²·d⁻¹, a wyrażoną w ChZT – od 40 do 140 g O₂·m⁻²·d⁻¹. Ścieki doprowadzane na złoża żwirowe 2. i 3. były poddawane suplementowaniu azotem, a stosunek BZT₅:N wynosił w nich odpowiednio około 110:1 i 70:1. Na złożach 1. i 4. ścieki nie były wzbogacane w azot, a stosunek BZT₅:N wynosił tam ponad 200:1.

Badaniami objęto ścieki pobierane ze zbiornika magazynowego oraz odpływy z poszczególnych złóż. Próbkę ścieków były pobierane co 1–2 tygodnie, jako średnie dobowe. Oznaczano w nich:

- pH – potencjometrycznie,
- BZT₅ – metodą rozcieńczeń,
- ChZT – metodą dwuchromianową,
- azot ogólny Kjeldahla, N-NH₄, N-NO₃ i P_{og} – metodą kolorymetryczną,
- zawiesinę ogólną – wagowo.

Mierzono też temperaturę i objętości ścieków odpływających ze złóż. Wartości BZT₅ w odpływach z 3 złóż piaskowo-żwirowych w kilku okresach badań porównywano za pomocą testu nieparametrycznego U-Manna-Whitneya. Testu tego użyto ze względu na małą liczbę powtórzeń w poszczególnych okresach, co uniemożliwiło zastosowanie testu *t*-Studenta.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Zakład, z którego przywożono ścieki, prowadził oszczędną gospodarkę wodną. Było to przyczyną dużej zawartości substancji organicznej w badanych ściekach – głównego ich zanieczyszczenia. Zawartość ta, wyrażona w BZT₅ i ChZT, wynosiła odpowiednio 1 800–8 000 oraz 2 500–13 000 g O₂·m⁻³. pH ścieków zmieniało się od 3,6 do 4,7, a stężenie zawiesiny ogólnej – od 100 do 500 g·m⁻³.

Stężenia zanieczyszczeń eutroficznymi były małe i wynosiły: N_{og} – 15–35 g·m⁻³, a P_{og} – 0,9–7,0 g·m⁻³. Średni stosunek BZT₅ : N w ściekach doprowadzonych na złoża (ponad 200:1) nie był korzystny dla budowy masy bakteryjnej heterotrofów, odgrywających główną rolę w biologicznym oczyszczaniu ścieków. Ocenia się, że w przypadku oczyszczania ich metodą osadu czynnego stosunek BZT₅ : N powinien wynosić najwyżej 32 : 1 [CYWIŃSKI i in., 1972].

Na złożu 1., na którym nie stosowano suplementacji ścieków azotem, a także na złożu 2. z mniejszą suplementacją, wystarczającą skuteczność usuwania substancji organicznej ze ścieków osiągnięto w warunkach obciążenia ich jej ładunkiem odpowiadającym BZT₅ od 40 do 60 g O₂·m⁻²·d⁻¹ i ChZT od 60 do 80 g O₂·m⁻²·d⁻¹ (tab. 1). Wzbogacanie ścieków na złożu 3., zmniejszające stosunek BZT₅ : N z ponad 200 do około 70, poprawiło efekty oczyszczania – były zbliżone do zadowolających w warunkach obciążenia odpowiadające-

go BZT₅ od 60 do 80 g O₂·m⁻²·d⁻¹ i ChZT od 80 do 100 g O₂·m⁻²·d⁻¹. Znaczne pogorszenie skuteczności pracy złóż 1.–3. zaobserwowano w lipcu 2006 roku. W miesiącu tym, wyjątkowo upalnym i suchym – w warunkach wysokiej ewapotranspiracji, dochodzącej do 10 mm·d⁻¹, nastąpił w odpływach z nich wzrost wartości BZT₅ i ChZT dochodzący odpowiednio do 460 i 750 g O₂·m⁻³ na złożu 1. oraz do 230 i 368 g O₂·m⁻³ na złożu 3. (tab. 1).

Korzystny wpływ wzbogacania ścieków azotem na skuteczność ich oczyszczania na pracujących się złożach piaskowo-żwirowych potwierdzono testem statystycznym (tab. 2). Skuteczność usuwania ze ścieków substancji organicznej na złożach 2. i 3., na których stosowano suplementację, była we wcześniejszym okresie badań istotnie większa niż na złożu 1. Wpływ suplementacji utrzymywał się do końca sierpnia 2006 r. Później zaobserwowano tendencję do wyrównywania się efektywności pracy złóż. Efektem suplementacji był też znacznie szybszy i bujniejszy rozwój trzciny na złożach 2. i 3. Suplemen-

Tabela 2. Istotność różnic między wartościami BZT₅ dla $\alpha = 0,05$ w odpływach ze złóż hydrofitowych 1.–3. w okresach stosowania suplementacji ścieków azotem na złożach 2. i 3.

Table 2. Significance of differences between mean values of BOD₅ at $\alpha = 0.05$ in the effluents from investigated beds no. 1–3 in the periods when wastewater was supplemented with nitrogen in beds no. 2 and 3

Okres badań Period	Złoże nr Bed no.	Średnie obciążenie złoża wyrażone w BZT ₅ Mean loading ex- pressed in BOD ₅ g O ₂ ·m ⁻² ·d ⁻¹	Średnie BZT ₅ odpływu Mean BOD ₅ of the effluent g O ₂ ·m ⁻³	Istotność różnic Significance of differences		
				złoże nr bed no.		
				1	2	3
05.10–	1		10,3	–	n.i.	*
–11.11.	2	34	9,0	n.i.	–	n.i.
2005	3		6,2	*	n.i.	–
12.11–	1		1 350,7	–	*	*
–29.12.	2	46	316,8	*	–	n.i.
2005	3		350,5	*	n.i.	–
01.05–	1		18,0	–	*	*
–07.07.	2	46	4,0	*	–	n.i.
2006	3		4,0	*	n.i.	–
08.07–	1		305,0	–	n.i.	*
–03.08.	2	75	265,0	n.i.	–	*
2006	3		94,3	*	*	–
18.08–	1		5,2	–	n.i.	n.i.
–19.10.	2	56	4,4	n.i.	–	n.i.
2006	3		3,3	n.i.	n.i.	–
20.10–	1		3,5	–	n.i.	n.i.
–15.12.	2	36	2,9	n.i.	–	n.i.
2006	3		2,3	n.i.	n.i.	–

* Różnica istotna, n.i. – różnica nieistotna * Significant difference., n.i. – insignificant difference.

tacja azotem, zwiększająca jego stężenie w ściekach doprowadzanych na złoża do ponad $100 \text{ g N}\cdot\text{m}^{-3}$ okazała się nadmierna w okresie pozawegetacyjnym, powodując znaczne zwiększenie jego koncentracji w odpływach ze złoża i przekroczenia wartości dopuszczalnych.

Najlepsze wyniki, mimo niestosowania suplementacji, osiągnięto na wpracowanym złożu piaskowym 4. Zadowalające efekty uzyskano na nim w warunkach obciążenia odpowiadającego BZT_5 od 80 do $100 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ i ChZT od 100 do $120 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (tab. 1). Złoże to, w przeciwieństwie do złóż piaskowo-żwirowych, było skuteczne w lipcu 2006 r., a wartości BZT_5 i ChZT w odpływach nie przekraczały dopuszczalnych (25 i $125 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-3}$). Czynnikiem sprzyjającym dużej skuteczności tego złoża, oprócz jego pełnego wpracowania, było prawdopodobnie zastosowanie w całym jego profilu piasku o znacznie większej pojemności wodnej niż materiał żwirowy. Umożliwiło to dłuższe zatrzymanie w nim ścieków, a więc dłuższy czas ich kontaktu z błoną bakteryjną złoża.

Wskaźniki obciążeń badanych złóż substancją organiczną (BZT_5 i ChZT), przy których uzyskiwano zadowalające rezultaty, były w większości znacznie większe niż zalecane na ogół do przyjmowania za bezpieczne dla tego typu złóż w przypadku oczyszczania ścieków bytowych, które wynoszą przeważnie od około 20 do $40 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ [PLATZER 1998, BRIX, 2004; LANGERGRABER i in., 2006]. Główną przyczyną tych rozbieżności są prawdopodobnie znaczne różnice stężenia substancji organicznych w porównywanych ściekach i wynikające z tego różnice obciążenia hydraulicznego złóż. W przypadku małych dawek ścieków owocowo-warzywnych, okresy nasycenia nimi złóż były krótsze i radsze, co sprzyjało intensywniejszemu ich natlenianiu drogą dyfuzji.

Wszystkie złoża bardzo skutecznie neutralizowały małe pH ścieków. Jego wartość w odpływach wynosiła od 7,2 do 8,2. Stężenia azotu i fosforu ogólnego były o wiele mniejsze niż dopuszczalne i nie przekraczały $8 \text{ g N}\cdot\text{m}^{-3}$ i $0,9 \text{ g P}\cdot\text{m}^{-3}$. Okresowe przekroczenia dotyczyły stężenia zawiesiny ogólnej, którego średnie wartości w odpływach osiągały poziom $44\text{--}51 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ przy dopuszczalnym $35 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ i były niezależne od jej stężenia w dopływach.

Przedstawione w tabeli 1. wyniki nie dotyczą pracy złóż w okresie od połowy listopada 2005 r. do stycznia 2006 r., w którym temperatura odpływów obniżała się stopniowo z 5 do 1°C . Zastosowane w listopadzie duże obciążenia złóż ściekami, dochodzące w przeliczeniu na ChZT do $130 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ na złożach 1.–3. i $213 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ na złożu 4., spowodowały znaczny spadek ich skuteczności. Szczególnie duży był on na nie w pełni jeszcze wpracowanych złożach 1.–3., ze słabo rozwiniętą warstwą detrytus. Przekroczenia dopuszczalnych wartości BZT_5 i ChZT w odpływach ze złóż były tam odpowiednio co najmniej 14- i 3-krotne. Na wpracowanym złożu 4. średnie przekroczenia wartości BZT_5 i ChZT w odpływach, pomimo znacznie większych obciążeń, były mniejsze – odpowiednio 8- i 2,5-krotne.

Wyniki z następnej zimy, z okresu od stycznia do lutego 2007 r., osiągnięte na wszystkich 4 złożach, gdy temperatura odpływów ze złóż wynosiła od $4,0$ do $4,5^\circ\text{C}$, a obciążenia były umiarkowane, okazały się zupełnie zadowalające. W warunkach obciążeń odpowiadających BZT_5 do 50 i ChZT do $70 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ zawartość substancji organicznej w odpływach, wyrażona w BZT_5 i ChZT , nie przekraczała odpowiednio 7 i $70 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-3}$ – znacznie mniejszych niż dopuszczalne.

Ilość ścieków odprowadzanych z przetwórnicy owocowo-warzywnych poza sezonem jest znacznie mniejsza niż w czasie kilkumiesięcznej kampanii letnio-jesiennej. Według KOZIOROWSKIEGO [1980] zmniejszenie to wynosi co najmniej 50% i towarzyszy temu na ogół spadek stężenia zanieczyszczeń w ściekach. Oznacza to, że złoża w okresie zimowych spadków temperatur byłyby parokrotnie mniej obciążane ładunkami substancji organicznej niż w pełni sezonu, co prawdopodobnie umożliwiłoby osiągnięcie na nich w tym czasie zadowalających efektów.

Stabilna i efektywna praca złóż z przepływem pionowym w okresach zimowych wymaga zabezpieczenia instalacji rozprowadzającej ścieki i powierzchni złóż przed tworzeniem się lodu. Według badań austriackich [REGELSBERGER, REGELSBERGER, 2006], podczas których średnia temperatura powietrza wynosiła -2°C , zapewni to, w odniesieniu do rurociągów, stały ich spadek i gładkość ścian wewnętrznych, a w odniesieniu do złóż – warstwa żwiru na ich powierzchni, umożliwiająca szybkie wnikanie do niej ścieków. Według BRIXA [2004] wystarczającym zabezpieczeniem dla rurociągów rozprowadzających jest okrycie ich warstwą żrębków. Skutecznym, ale utrudniającym kontrolę systemu zabezpieczeniem może też być wprowadzenie ich pod powierzchnię złóż [LABER, HABERL, PERZLER, 2003].

WNIOSKI

1. Skuteczność usuwania substancji organicznej z silnie nią zanieczyszczonych ścieków z małej przetwórnicy owocowo-warzywniej na złożach hydrofitowych z przepływem pionowym jest duża.

2. Złoże piaskowe okazało się wystarczająco skuteczne w warunkach obciążania go substancją organiczną wyrażoną w BZT_5 do ok. $90 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ i w ChZT - do ok. $110 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, gdy temperatura odpływu ze złoża wynosiła powyżej 5°C .

3. W przypadku wpracowujących się złóż piaskowo-żwirowych dopuszczalne obciążenie było w tych warunkach mniejsze i zależnie od stopnia suplementacji ścieków azotem odpowiadało BZT_5 od 50 do $70 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ i ChZT od 70 do $90 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

4. Gdy temperatura odpływów była niższa ($4-5^{\circ}\text{C}$), zadowalającą skuteczność złóż osiągnięto przez zastosowanie mniejszego ich obciążenia substancją organiczną.

Praca wykonana na podstawie wyników badań finansowanych przez MNiSW – Projekt badawczy nr 2P06S04426.

LITERATURA

- BRIX H., 2004. Danish guidelines for small-scale constructed wetland syst. for onsite treatment of domestic sewage. 9th Intern. Conf. Wetland Syst. Water Pollution Contr. Avignon, France: Inter. Water Assoc.
- CYWIŃSKI B., GDULA S., KEMPA E., KURBIEL J., H., PŁOSZAŃSKI H., 1972. Oczyszczanie ścieków miejskich. Warszawa: Arkady ss. 631.
- KOZIOROWSKI B., 1980. Oczyszczanie ścieków przemysłowych. Warszawa: WTN ss. 622.

- LABER J., HABERL R., PERFLER R., 2003. Enhanced nitrogen elimination in vertical flow constructed wetlands in cold climates. *Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates*. Southamton, Boston: WIT Press s. 107–122.
- LANGERGRABER G., PRANDTSTETTEN C., PRESSL A., ROHRHOFER R., HABERL R., 2006. Removal efficiency of subsurface vertical flow constructed wetlands for different organic loads. 10th Intern. Conf. Wetland Syst. Water Pollution Contr. Lisbon, Portugal: Inter. Water Assoc. s. 587–598.
- PLATZER C., 1998. Design recommendation for subsurface flow constructed wetland for nitrification and denitrification. 6th Intern. Conf. Wetland Syst. Water Pollution Contr. Sao Pedro, Brazil: Inter. Water Assoc. s. 90–100.
- REGELSBERGER M., REGELSBERGER B., 2006. Subsurface vertical reed beds in cold climates. 10th Intern. Conf. Wetland Syst. Water Pollution Contr. Lisbon, Portugal: Inter. Water Assoc. s. 869–876.
- RÜFFER H., ROSENWINKEL K.H., 1998. *Oczyszczanie ścieków przemysłowych*. Poradnik. Bydgoszcz: Ofic. Wydaw. Projprzem–Eko. ss. 560.
- SOROKO M., 2003. *Oczyszczanie ścieków z małych przetwórní owocowo-warzywnych w oczyszczalniach hydrofitowych*. Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 3 z. 2 s. 119–128.
- TALIK B., CHUDZIK B., 2000. *Oczyszczanie ścieków z małych przetwórní zlokalizowanych na wsi*. Wiad. IMUZ t. 20 z. 3 s. 199–212.
- Ochrona Środowska, 2002–2005. *Informacje i opracowania statystyczne*. Warszawa: GUS.

Marek SOROKO

**TREATMENT OF WASTEWATERS
FROM SMALL FRUIT AND VEGETABLE PROCESSING PLANT
IN THE REED BED SYSTEMS WITH VERTICAL FLOW**

Key words: BOD₅, COD, organic matter, reed bed system, wastewater from fruit and vegetable processing plant

S u m m a r y

Efficiency of 4 reed beds with vertical flow in the treatment of wastewaters from small fruits and vegetable processing plant has been studied. The main contaminant in these wastewaters, otherwise poor in N and P, was organic matter. Its concentration as BOD₅ was 3000 to 8000 and as COD 4000 to 130000 g O₂·m⁻³. The highest effectiveness was obtained in a sand bed with fully developed plant system which satisfactorily tolerated loads of 90 g 110 g O₂·m⁻²·d⁻¹ as BOD₅ and 110 g O₂·m⁻²·d⁻¹ as COD. For sand and gravel bed with plant system in the initial growth phase, these indices were 50 g and 70 g O₂·m⁻²·d⁻¹, respectively. Supplementing of wastewaters with nitrogen in a similar bed in order to reduce BOD₅ : N ratio from about 200 to 70 increased these indices to about 70 g O₂·m⁻²·d⁻¹ as BOD₅ and 90 g O₂·m⁻²·d⁻¹ as COD. These results were obtained at bed temperatures above 5°C. At lower temperature (4–4.5°C) sufficient effectiveness was obtained by reducing BOD₅ and COD loads to 50 and 70 g O₂·m⁻²·d⁻¹, respectively.

Recenzenci:

prof. dr hab. Ryszard Błażejowski

dr inż. Marek Kalenik

Praca wpłynęła do Redakcji 21.09.2007 r.

