



## **Oczyszczanie odcieków z beztlenowej stabilizacji osadów z oczyszczalni ścieków mleczarskich przy zastosowaniu metody hydrofitowej**

*Wojciech Dąbrowski, Józefa Wiater, Dariusz Boruszko*  
*Politechnika Białostocka*

### **1. Wstęp**

Zawracanie odcieków z przeróbki osadów ściekowych do głównego ciągu oczyszczania jest rozwiązaniem powszechnie stosowanym w komunalnych i przemysłowych oczyszczalniach ścieków. Ich oddziaływanie na proces oczyszczania i parametry ścieków odprowadzanych do odbiornika zależy w znacznej mierze od wielkości oczyszczalni i stopnia obciążenia jej części biologicznej. Oddziaływanie odcieków na proces oczyszczania wynika z wysokiego stężenia azotu amonowego, które jest obserwowane w szczególności w oczyszczalniach stosujących beztlenową stabilizację osadów ściekowych [5]. W 2013 roku ukończono modernizację jednej z największych oczyszczalni ścieków mleczarskich w Polsce należącej do firmy Mlekovita. W miejsce tlenowej stabilizacji osadu w wydzielonych komorach zastosowano stabilizację beztlenową osadu nadmiernego i poflotacyjnego. Dodatkowo reaktor zasilany jest także serwatką. Zmiana sposobu stabilizacji z jednej strony umożliwiła pozyskanie energii z przetwarzania biogazu, z drugiej natomiast spowodowała znaczny wzrost obciążenia części biologicznej ładunkiem azotu amonowego zawartym w odciekach. Znanych jest szereg metod do wydzielonego oczyszczania odcieków, wśród których najbardziej znana to metoda SHARON wdrożona w szeregu obiektach [6,10]. Metoda ta charakteryzuje się wysoką efektywnością jednak wiąże się także z dużymi nakładami na budowę i eksploatację wydzielonego systemu do oczyszczania odcieków. Alternatywą jest zastosowanie niskonakładowej meto-

dy w postaci złóż hydrofitowych, które są w powszechnym użyciu nie tylko w przypadku ścieków bytowych, ale także komunalnych i przemysłowych [1,7–9,11].

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektywności oczyszczania odcieków z beztlenowej stabilizacji osadów w oczyszczalni ścieków mleczarskich z zastosowaniem modelowego układu złoża hydrofitowego o przepływie pionowym. Wyniki badań zostały wykorzystane do prowadzenia eksperymentu w skali rzeczywistej na terenie oczyszczalni ścieków mleczarskich firmy Mlekovita w Wysokiem Mazowieckiem z zastosowaniem złoża hydrofitowego z innowacyjnym systemem napowietrzania [12].

## 2. Charakterystyka oczyszczalni ścieków, ilość ścieków i odcieków oraz ich skład

Oczyszczalnia ścieków mleczarskich Spółdzielni Mleczarskiej Mlekovita w Wysokiem Mazowieckiem to jeden z największych tego typu obiektów w Polsce. Została ona zaprojektowana na RLM 350 000. W tabeli 1 podano podstawowe parametry oczyszczalni z lipca 2014 roku na podstawie danych uzyskanych od eksploatatora oraz z badań własnych.

**Tabela 1.** Podstawowe parametry oczyszczalni ścieków mleczarskich firmy Mlekovita w Wysokiem Mazowieckiem, wartości średnie, lipiec 2014 roku  
**Table 1.** Basic parameters of Mlekovita WWTP, average values, July 2014

Ilość ścieków [m <sup>3</sup> /d]	Ilość osy osy [ton s.m./d]	Ilość odcieków [m <sup>3</sup> /d]	Ładunek zanieczyszczeń w ściekach		Ładunek zanieczyszczeń w odciekach	
			kg BZT <sub>5</sub> /d	kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /d	kg BZT <sub>5</sub> /d	kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /d
6886	6,8	1400	16718	61,4	224	448

Bardzo duża ilość odcieków zawracanych do ciągu oczyszczania wynika z ładunku zanieczyszczeń w ściekach oraz z tego, iż do przepompowni odcieków trafiają też wody z osadników wtórnych odbierane wraz z częściami pływającymi przez zespół zgarniaczy powierzchniowych. Podstawowym problemem związanym z zawracaniem odcieków jest wysokie stężenie azotu amonowego. Według wyników pomiarów



osadu czynnego (7,8,9). Koagulant do strącania fosforu (10) dawkowany jest przed osadnikami wtórnymi (11). Osad nadmierny poddawany jest zagęszczaniu (13), a następnie trafia do reaktora beztlenowego (17) wraz z osadem poflotacyjnym i serwatką, która gromadzona jest w zbiorniku (18). Osad po odwodnieniu (19) wykorzystywany jest rolniczo do nawożenia gleb. Odcieki z przeróbki osadu kierowane są do przepompowni (14) a następnie do głównego ciągu oczyszczania. Z biogazu produkowana jest energia cieplna i elektryczna (21) na potrzeby własne oczyszczalni. W projekcie modernizacji oczyszczalni nie uwzględniono wydzielonego oczyszczania odcieków.

### 3. Materiał i metodyka badań

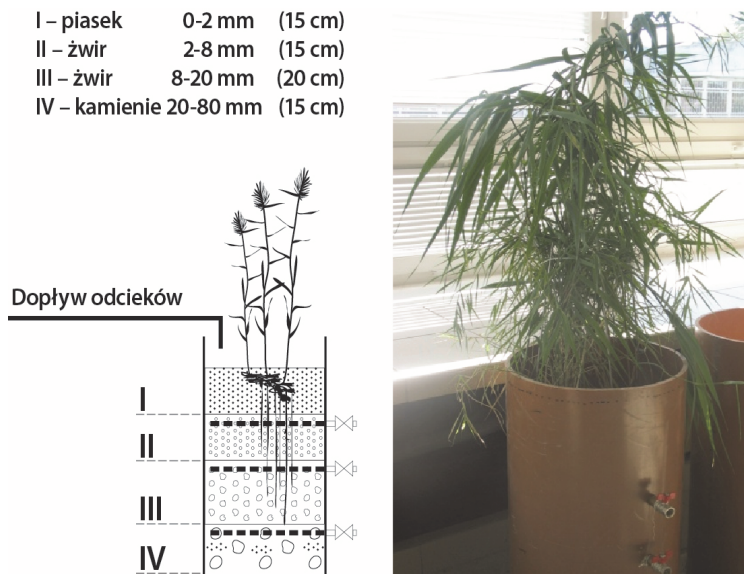
Badania dotyczące efektywności usuwania zanieczyszczeń z odcieków pochodzących z beztlenowej stabilizacji osadów prowadzono w okresie czerwiec-lipiec 2014 przy użyciu instalacji laboratoryjnej działającej w Katedrze Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej zaprojektowanej i wykonanej w ramach realizacji projektu dotyczącego oczyszczania odcieków z tlenowej stabilizacji odcieków w oczyszczalniach mleczarskich [4]. Widok na złożę oraz przekrój przez wypełnienie przedstawia rysunek 2. Całkowita wysokość złoża wynosi 0,65 m, wypełnienie wykonano ze żwiru, piasku i kamieni. Zastosowano dwa typowe obciążenia hydrauliczne złoża hydrofitowego stosowane między innymi do oczyszczania ścieków bytowych, komunalnych oraz z wybranych rodzajów przemysłu. Złożę zasilane jest okresowo przy użyciu pompy perystaltycznej dawkującej porcję odcieków. W celu uzyskania powtarzalnych wyników wykonano dziewięć serii pomiarowych. W próbkach odcieków przed i po procesie oczyszczania wykonano pomiary następujących wskaźników zanieczyszczeń:

- ilości substancji organicznej (BZT<sub>5</sub>, ChZT),
- form azotu: azot ogólny, azot amonowy NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, azotany V i III,
- fosforu ogólnego.

Badania prowadzono w laboratorium Katedry Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska zgodnie z procedurami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska, z dnia 24 lipca 2006 roku.

Ze względu na skalę badań i umiejscowienie instalacji, temperatura powietrza zmieniała się od 22,0 do 26,0°C. Wysoka temperatura jest istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków przy zastosowaniu metody hydrofitowej [4].

I – piasek	0-2 mm	(15 cm)
II – żwir	2-8 mm	(15 cm)
III – żwir	8-20 mm	(20 cm)
IV – kamienie	20-80 mm	(15 cm)



**Rys. 2.** Widok na instalację badawczą oraz przekrój przez złożo hydrofitowe  
**Fig. 2.** A view on installation and cross section of vertical flow constructed wetland

#### 4. Wyniki badań

W tabeli 2 podano wyniki pomiarów analizowanych odcieków po procesie oczyszczania w złożu hydrofitowym w zależności od obciążenia hydraulicznego.

Odcieki poddawane oczyszczaniu charakteryzowały się niskim stężeniem materii organicznej. Wartość BZT<sub>5</sub> zmieniała się od 132 do 185 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, natomiast ChZT od 154 do 224 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Stężenie azotu amonowego w odciekach poddawanych oczyszczaniu zmieniło się od 291 do 423 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>. Po procesie oczyszczania zaobserwowano obniżenie średniej wartości BZT<sub>5</sub> do 14,2 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> przy obciążeniu 0,1 m/d i 24,6 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> przy obciążeniu 0,2 m/d. Analogicznie w przypadku ChZT uzyskano 23,6 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> przy obciążeniu 0,1 m/d i 32,4 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> przy obciążeniu dwukrotnie wyższym. Analizując stę-

żenie azotu amonowego i azotu ogólnego można zauważyć, iż jego stężenie po procesie oczyszczania było znacznie niższe przy obciążeniu 0,1 m/d. W przypadku fosforu ogólnego zaobserwowano zbliżone stężenia w odciekach oczyszczonych niezależnie od obciążenia.

**Tabela 2.** Charakterystyka analizowanych odcieków po procesie oczyszczania w złożu hydrofitowym dla obciążenia hydraulicznego 0,1–0,2 m/d.

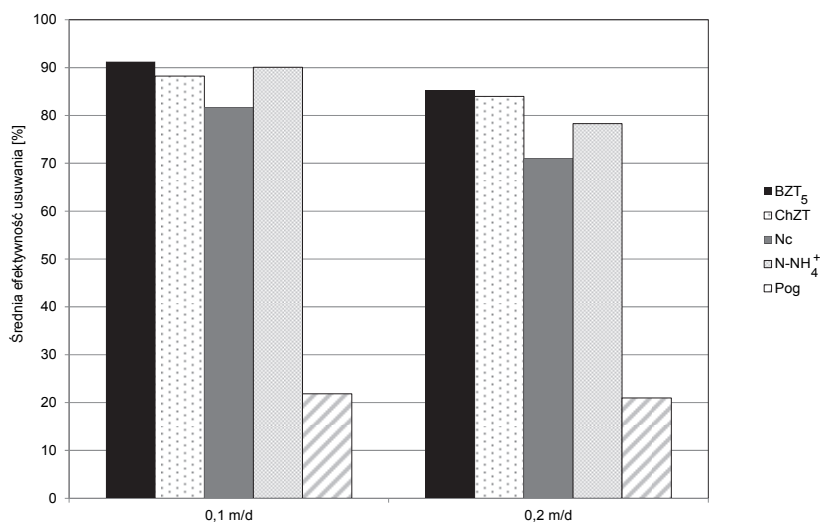
**Table 2.** Characteristic of reject water after treatment in CW, hydraulic load 0,1–0,2 m/d.

Parametry odcieków oczyszczonych	BZT <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	ChZT mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	Azot całkowity mg N/dm <sup>3</sup>	Azot amonowy mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /dm <sup>3</sup>	Fosfor ogólny mg P dm <sup>3</sup>
Obciążenie hydrauliczne złoża hydrofitowego 0,1 m/d					
Wartość minimalna	9,0	15,0	60,0	27,0	24,0
Wartość maksymalna	18,0	28,0	86,0	44,0	39,0
Wartość średnia	14,2	23,7	68,4	31,9	33,4
Mediana	16,0	25,0	65,0	31,0	36,0
Obciążenie hydrauliczne złoża hydrofitowego 0,2 m/d					
Wartość minimalna	20,0	30,0	103,0	50,0	24,0
Wartość maksymalna	31,0	39,0	120,0	99,0	37,0
Wartość średnia	24,6	32,4	110,0	71,4	31,0
Mediana	24,0	31,0	108,0	69,0	32,0

Na rysunku 3 przedstawiono procentowy efekt obniżenia podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w odciekach obliczony na podstawie wartości średnich w zakresie przebadanych obciążeń hydraulicznych.

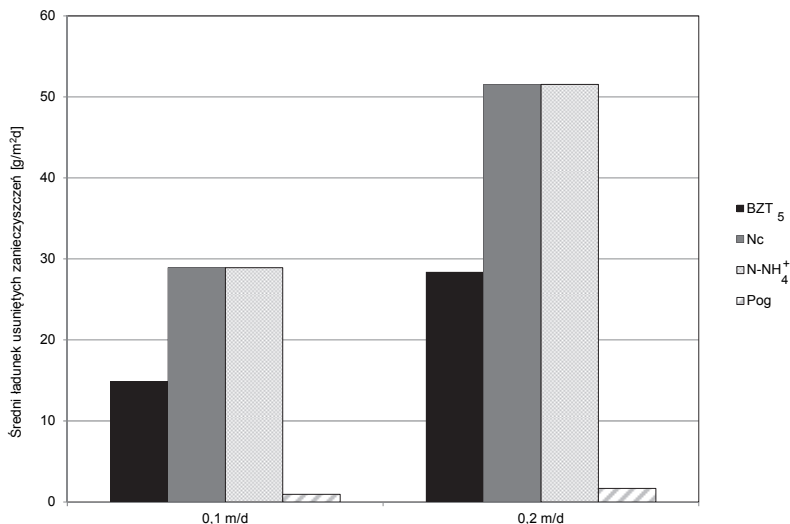
Efektywność usuwania substancji organicznej mierzonej wartością BZT<sub>5</sub> wynosiła od 85,2 do 91,2%, ChZT od 83,9 do 88,2%, azotu amonowego od 78,3 do 90,0%, azotu ogólnego od 80,0 do 81,7% i fosforu ogólnego od 20,9 do 21,8% (rysunek 2). W badaniach Obarskiej-Pemkowiak i Gajewskiej przeprowadzonych w 2010 roku, dotyczących oczyszczania odcieków ze stabilizacji beztlenowej osadów metodą hydrofitową osiągnięto efektywność na poziomie 80% dla ChZT i 95,8% dla BZT<sub>5</sub>. Układ

do oczyszczania odcieków składał się z dwóch złożeń o przepływie pionowym i złoża o przepływie poziomym. Efektywność usuwania azotu amonowego wynosiła w całym układzie 82,0%, natomiast azotu ogólnego 78,6% [5]. Odcieki, które oczyszczano w układzie hybrydowym pochodziły z oczyszczalni komunalnej i charakteryzowały się znacznie wyższymi wartościami BZT<sub>5</sub> i ChZT w stosunku do odcieków z przeróbki osadów mleczarskich. Podobnie było w przypadku stężenia azotu amonowego i ogólnego. Otrzymane rezultaty dotyczące efektywności usuwania zanieczyszczeń były zbliżone do osiągniętych w przypadku oczyszczania odcieków z procesu stabilizacji tlenowej osadu mleczarskiego. Na podstawie badań z wykorzystaniem różnego rodzaju złożeń o przepływie pionowym efektywność usuwania substancji organicznej mierzonej wartością BZT<sub>5</sub> wynosiła od 90,4 do 93,3%, natomiast dla azotu amonowego od wynosiła od 82,0 do 89,4%. Odcieki ze stabilizacji tlenowej osadów mleczarskich charakteryzowały się znacznie niższymi stężeniami zanieczyszczeń w stosunku do odcieków ze stabilizacji beztlenowej [4]. Zbliżone rezultaty usuwania azotu amonowego w złożach hydrofitowych wykazali Warężak i in. (2013). Efektywności usuwania azotu amonowego wynosiła od 79,6 do 91,0% [11].



**Rys. 3.** Efektywność usuwania zanieczyszczeń w instalacji laboratoryjnej  
**Fig. 3.** Efficiency removal of contaminations in laboratory scale installation

Na rysunku 4 przedstawiono efektywność oczyszczania mierzoną ładunkiem zanieczyszczeń usuniętym na jednostkę powierzchni złoża.



**Rys. 4.** Zdolność do usuwania zanieczyszczeń z odcieków w złożu typu VF-CW  
**Fig. 4.** Ability of removal contaminations in VF-CW

W przypadku BZT<sub>5</sub> osiągnięto rezultat od 14,1 g/m<sup>2</sup>d dla obciążenia 0,1 m/d i 28,4 g/m<sup>2</sup>d dla obciążenia 0,2 m/d. Na podstawie badań dotyczących oczyszczania odcieków z tlenowej stabilizacji osadów mleczarskich uzyskano wartości zmieniające się od 11,1 g/m<sup>2</sup>d do 12,3 g/m<sup>2</sup>d przy zastosowaniu złóż czterowarstwowych i obciążeniu hydraulicznym wynoszącym 0,1 m/d [5]. W przypadku azotu amonowego zaobserwowano bardzo wysoką efektywność usuwania na jednostkę powierzchni złoża, co było spowodowane wysokim stężeniem azotu w odciekach poddawanych oczyszczaniu. Osiągnięto rezultat na poziomie 28,9 g/m<sup>2</sup>d przy obciążeniu hydraulicznym wynoszącym 0,1 m/d (rysunek 3). Efektywność usuwania fosforu była niska i wynosiła w zależności od obciążenia od 0,93 g/m<sup>2</sup>d do 1,64 g/m<sup>2</sup>d. W przypadku badań dotyczących oczyszczania odcieków z procesu stabilizacji tlenowej zaobserwowano efektywność usuwania fosforu w złożu o przepływie pionowym od 32,9% do 46,0% [3]. Udział roślin w procesie oczyszczania jest znacznie niższy w porównaniu z usuwaniem azotu. Efektywność usuwania fosforu ogólnego może po dłuższym czasie eksploatacji złóż ulec



obniżeniu, gdyż pojemność sorpcyjna złoża hydrofitowego jest ograniczona [8].

## 5. Wnioski

Na podstawie badań własnych i zebranych wyników związanych z eksploatacją oczyszczalni ścieków mleczarskich firmy S.M. Mlekovita w Wysokiem Mazowieckiem sformułowano następujące wnioski:

1. Ocieki z beztlenowej stabilizacji osadów mleczarskich charakteryzują się wysokim stężeniem azotu amonowego. W trakcie badań zaobserwowano iż jego stężenie w odciekach zmieniało się od 291 do 423 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>. W przypadku substancji organicznej zawartej w odciekach stwierdzono, że jej udział był mały w ładunku zanieczyszczeń zawartym w ściekach mleczarskich. Wartość BZT<sub>5</sub> w odciekach wynosiła od 132 do 185 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.
2. Efektywność oczyszczania w złożu hydrofitowym była wysoka i zależała od obciążenia hydraulicznego, a tym samym od jednostkowego obciążenia złoża ładunkiem zanieczyszczeń. W przypadku azotu amonowego efektywność jego usuwania wynosiła od 78,3% do 90,0%.
3. Zwiększenie efektywności oczyszczania odcieków z beztlenowej stabilizacji osadu w złożu hydrofitowym wymaga niższych obciążeń hydraulicznych, na poziomie od 0,05 m/d.
4. Złoże hydrofitowe o przepływie pionowym może być zastosowane do obniżenia obciążenia oczyszczalni ścieków mleczarskich ładunkiem zanieczyszczeń zawartym w odciekach z przeróbki osadów.

## Podziękowania

*Badania zaprezentowane w artykule wykonano w ramach pracy statutowej S/WBiIŚ4/2011 realizowanej w Katedrze Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej w ramach współpracy naukowo technicznej pomiędzy Politechniką Białostocką i Spółdzielnią Mleczarską „Mlekovita” w Wysokiem Mazowieckiem.*

## Literatura

1. **Cooper P.:** *The performance of Vertical Flow Constructed Wetland systems with special reference to the significance of Oxygen Transfer and Hydraulic Loading Rates*, 9<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Avignon(France), 153–163 (2004).

2. **Dąbrowski W., Wiater J., Boruszko D.:** *Bilans ścieków, osadów i odcieków w zmodernizowanej oczyszczalni ścieków mleczarskich*, Engineering and Protection of the Environment, 17(3), 483–491 (2014).
3. **Dąbrowski W., Wiater J.:** *Określenie możliwości zmniejszenia obciążenia oczyszczalni ścieków mleczarskich przez zastosowanie wydzielonego oczyszczania odcieków z przeróbki osadów*, Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 15, 901–913 (2013).
4. **Dąbrowski W.:** *Oczyszczanie odcieków z oczyszczalni mleczarskich w systemach hydrofitowych*, Rozprawy Naukowe nr 262, Biblioteka Nauk o Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka (2014).
5. **Gajewska M., Obarska Pempkowiak H.:** *The role of SSVF and SSVF beds for design recommendation*, Water Science and Technology. 64.2, 431–439 (2011)
6. **Kempen R., Mulder J.W., Uijetrlinde C.A., Loosdrecht M.C.M.:** *Overview: full scale experience of the SHARON process for treatment rejection water of digested sludge dewatering*, Water Science and Technology, IWA Publishing, 44(1), 145–152 (2001).
7. **Langergraber G., Prandtstetten C., Pressll A., Rorhrhfer R., Haberl R.:** *Removal efficiency of subsurface vertical flow constructed wetland for different organic loads*, 10<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control: 587–599 (2006).
8. **Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E.:** *Application of vertical flow constructed wetland for highly contaminated wastewater treatment: preliminary results*. Water and Nutrient Management in Natural and Constructed Wetlands J. Vymazal (Ed), Springer Science+Busines Media B.V. Chapter 4, 37–45 (2010).
9. **Obarska – Pempkowiak H, Gajewska M., Wojciechowska E.:** *Efficiency of wastewater treatment in win Kaszuby Lake District*, Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 15, 81–95 (2013).
10. **Ryzińska J.:** Problem wód osadowych i możliwości ich oczyszczania w Polsce, Gaz Woda i Technika Sanitarna, 7–8, 58–62 (2006).
11. **Wareżak T., Sadecka Z., Myszograj S.** Skuteczność oczyszczania ścieków w oczyszczalni hydrofitowej typu VF-CW, Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 15, 1243–1259 (2013).
12. Zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu do Urzędu Patentowego Rzeczpospolitej Polskiej na wynalazek pt.: „Układ i sposób do wspomaganie napowietrzania złoża hydrofitowego o przepływie pionowym”, Politechnika Białostocka (2014).

## **Treatment of Reject Water from Anaerobic Sewage Sludge Stabilization in Constructed Wetland**

### **Abstract**

The paper presents author's experience related to reject water treatment with constructed wetland (CW). CW technology is well known worldwide to treat municipal wastewater, rainwater and also industrial wastewater. The problem with reject water is mainly concerning high concentration of ammonia nitrogen. It is observed mainly in municipal WWTPs utilizing anaerobic sewage sludge stabilization. Dairy WWTP belonging to Mlekovita was modernized in 2013 with implementation of flotation process in wastewater line and anaerobic stabilization of excess and flotation sludge. Probably this is the biggest dairy WWTP in Poland. It is operating (July 2014) with 6886 m<sup>3</sup>/d and personal equivalent about 278 000 (project was done for PE 35 0000 and maximum flow 75000 m<sup>3</sup>/d). Reject water as a byproduct like sewage sludge is returned to the beginning of wastewater line. During own research with reject water it was found that concentration of ammonia nitrogen was varied from 291 N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> to 423 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>, while value of BOD<sub>5</sub> from 132 to 185 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Laboratory scale investigation was carried out with vertical flow CW model with total depth 0,65 m, filled with gravel and sand. Two hydraulic loads were applied during investigations – 0,1 and 0,2 m/d. The temperature during two series was changing from 22,0 to 26,0°C. High efficiency of BOD<sub>5</sub> removal (up to 91%) from reject water produced in dairy WWTP was observed. The efficiency of ammonia nitrogen removal was varied from 78,3% to 90,0%. The efficiency of total phosphorus removal was low in both series. Vertical flow constructed wetland can be used as a low cost method to decrease load of dairy WWTP utilizing anaerobic sewage sludge utilization. To increase efficiency of reject water treatment lower hydraulic load (from 0,05 m/d) should be applied. Future researches will be carried out with real scale installation in Wysokie Mazowieckie equipped with special aeration system to supply vertical flow CW with oxygen.

### **Słowa kluczowe:**

odcieki, stabilizacja osadów ściekowych, złoża hydrofitowe

### **Keywords:**

reject water, sewage sludge stabilization, constructed wetland