



Porównanie efektywności procesów podczyszczania odcieków składowiskowych

*Rafał Nowak, Maria Włodarczyk-Makula,
Ewa Wiśniowska, Klaudia Grabczak
Politechnika Częstochowska*

1. Wstęp

Według danych statystycznych w Polsce składa się rocznie około 53% wytwarzanych odpadów komunalnych (Rocznik 2015).

W wyniku infiltracji wód opadowych przez odpady powstają odcieki składowiskowe (Rosik-Dulewska 2007, Czop & Pieniążek 2010). Odcieki charakteryzują się wysokimi stężeniami zanieczyszczeń organicznych takich jak związki azotu, kwasy organiczne, węglowodory oraz nieorganicznych występujących głównie w postaci anionów, kationów alkalicznych, azotu amonowego oraz metali ciężkich (Długosz 2012). Ponadto w odciekach oznaczane są wysokie stężenia mikrozanieczyszczeń organicznych, takich jak WWA czy PCB (Nowak i in. 2001, Rosik-Dulewska & Karwaczyńska 2007). Skład odcieków i podatność na proces biodegradacji zależy głównie od czasu deponowania odpadów czyli tzw. wieku składowiska (Koc-Jurczyk & Jurczyk 2007, Staszewska & Pawłowska 2011, Stępniewski & Pawłowska 1996). Odcieki ze składowisk młodych (do 5 lat) charakteryzują się niską wartością pH (3,7-6,4), wysokim wskaźnikiem BZT₅/ChZT (powyżej 0,7), wysokim stężeniem azotu amonowego sięgającym 2000 mg/dm³, a wartość BZT₅ może sięgać 13 000 mg/dm³. Ponadto w odciekach obecne są bakterie, wśród których dominują *Escherichia coli* i *Streptococcus*. Odcieki powstające na 5-10 letnich składowiskach charakteryzują się wyższym odczynem (pH od 6,5 do 7,5), zawierają mniejszą ilość związków łatwo biodegradowalnych, a iloraz BZT₅/ChZT zmienia się w przedziale od 0,6 do 0,1. Stęże-

nie azotu amonowego jest znacznie większe niż w odciekach z tzw. „młodych” składowisk. Ocieki ze starych składowisk, tzn. powstające na składowiskach funkcjonujących powyżej dziesięciu lat, mają alkaliczny odczyn ($\text{pH} > 8,0$) oraz niski wskaźnik BZT_5/ChZT ($< 0,1$) (Szyc 2003, Koc-Jurczyk & Różak 2011).

Zgodnie z obowiązującą Ustawą Prawo Wodne wody odciekowe zaliczane są do ścieków przemysłowych, w związku z tym konieczne jest ich oczyszczanie (Ustawa 2001). Dopuszczalne wartości zależą od rodzaju odbiornika i podane są w odpowiednich aktach prawnych (Rozporządzenie Dz. U., poz. 1800, 2014, Rozporządzenie Dz. U. Nr 136, poz. 964, 2006).

Ze względu na zmienny skład oczyszczanie odcieków wymaga nie tylko stosowania wielu procesów jednostkowych, lecz także ich połączenia (Leszczyński 2011, Kurniawan 2006, Bohdziewicz 2001, Silva 2004, Surmacz-Górska 2000). Wybór metody zależy od składu chemicznego, podatności na rozkład biologiczny oraz rodzaju odbiornika czy sposobu zagospodarowania. Podczyszczanie odcieków jest zabiegiem niezbędnym przed właściwym procesem ich unieszkodliwiania lub odprowadzeniem do kanalizacji lub bezpośrednio do zewnętrznej oczyszczalni ścieków. Uważa się, że do oczyszczania odcieków z „młodych” składowisk konieczne jest zastosowanie procesów zintegrowanych (fizyczno-chemiczne, biologiczne), natomiast ze starszych obiektów – wystarczające są metody fizyczno-chemiczne (Neczaj 2010, Szyc 2003, Leszczyński 2011, Trebouet 2011).

2. Cel badań

Celem pracy było porównanie skuteczności podczyszczania odcieków składowiskowych z wykorzystaniem procesów: prefiltracji na złożu piaskowo-żwirowym, ultrafiltracji na module membranowym, koagulacji, sorpcji/strącania w zestalonej masie popiołowo-wodnej.

3. Metodyka badań

3.1. Materiał badawczy

Badania prowadzono z wykorzystaniem surowych odcieków składowiskowych pobranych z dwóch składowisk (ponad 20 letnich): miejskiego składowiska odpadów stałych w Sobuczynie oraz gminnego składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Konopi-

skach. W każdym przypadku odcieki pobierano czterokrotnie w okresie od marca do czerwca ze zbiorników retencyjnych.

3.2. Badania technologiczne

Badania prowadzono w sześciu etapach dla każdego rodzaju odcieków. W etapie I odcieki surowe podczyszczano na złożu piaskowo-żwirowym. Średnica filtra wynosiła 315 mm, wysokość warstwy podtrzymującej (żwirowej) – 50 mm, a właściwej warstwy filtracyjnej (piaskowej) – 500 mm. W etapie II odcieki surowe kierowano do modułu ultrafiltracyjnego firmy Zenon Systems o typie membrany ZeeWeed-10. Zgodnie z deklaracją producenta średnica nominalna porów w warstwie naskórkowej membrany wynosiła 0,02 mm. Podciśnienie w czasie pracy membrany nie przekraczało 20 kPa. Etapy III-V obejmowały badania procesu koagulacji przy wykorzystaniu siarczanu glinu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ w ilości odpowiednio 20, 40 i 60 mg/dm^3 . Proces prowadzono przy wykorzystaniu koagulatora laboratoryjnego. Czas szybkiego mieszania wynosił 3 minuty (prędkość 200 obrotów/minutę), a wolnego – 15 minut (prędkość 40 obrotów/minutę). Po 45-minutowej sedymentacji i zlewarowaniu odcieki poddawano analizie. W etapie VI badań odcieki surowe podczyszczano w warstwie zestalonych popiołów lotnych. W tym celu wykorzystano kolumny lizymetryczne wykonane z rur PCV o średnicy wewnętrznej 105 mm i wysokości 1000 mm, w których umieszczono mieszaninę popiołowo-wodną. Mieszaninę sporządzono poprzez wymieszanie popiołów lotnych i wody destylowanej w stosunku wagowym 2:1. Po 28 dniach mieszanina umieszczona w lizymetrach uległa zestaleniu a wysokość wypełnienia wynosiła 100 mm. Przez tak przygotowane złożo filtrowano odcieki surowe, które następnie poddawano analizie.

3.3. Metodyka analityczna

W odciekach surowych (pobranych ze składowisk) oraz podczyszczonych w przyjętych procesach oznaczano: odczyn (pH) – potencjometrycznie zgodnie z PN-EN: ISO 10523:2012; przewodność – zgodnie z PN-EN: 27888:1999; barwę – metodą porównawczą według PN-EN ISO 7887:2012. Jakość wody – Badanie i oznaczanie barwy; mętność – nefelometrycznie według PN-EN: ISO 7027:2003; zapach – organoleptycznie zgodnie z PN-C-04557:1972; zasadowość, wolny CO_2 i kwasowość – potencjometrycznie zgodnie z PN-C-04540-02:1990; ChZT – metodą dwuchromianową według PN-ISO 6060:2006; twardość ogólną –

metodą wersenianową zgodnie z PN-C-04554-4:1999; wapń – metodą wersenianową zgodnie z PN-ISO 6058:1999; azot amonowy – według PN-ISO 5664:2002.

4. Wyniki badań i dyskusja wyników

4.1. Badania wstępne

W tabeli 1 przedstawiono wartości wybranych wskaźników chemicznych odcieków pochodzących ze składowisk w Konopiskach i Sobuczynie przeznaczonych do badań technologicznych.

Tabela 1. Wybrane wskaźniki jakości odcieków surowych

Table 1. Values of selected indicators of leachate

Oznaczenie	Jednostka	Zakresy wartości	
		Konopiska	Sobuczyna
Odczyn (pH)	–	7,8-8,3	8,4-8,6
Zasadowość P	mval/dm ³	0-0,2	0,8-2,4
Zasadowość M	mval/dm ³	5,0-7,6	57-61
Barwa	mg/dm ³ Pt	25-30	300
Zapach	–	z1S-z2S	z5S
Przewodność	μS/cm	1032-1126	9940-10070
Mętność	NTU	1,7-4,3	50-60
Twardość og.	mval/dm ³	7,2-8,0	28-42
ChZT	mg/dm ³	100-260	710-870
N-NH ₄ ⁺	mg/dm ³	1,1-6,0	33-42
Wapń	mval/dm ³	1,7-2,4	16-27

Odcieki pobrane ze składowisk miały odczyn lekko zasadowy co wskazuje, że nie można zaliczyć tych składowisk do „młodych”. Większość pozostałych wskaźników była znacznie wyższa w odciekach z miejskiego składowiska odpadów. Szczególnie wysokie, w porównaniu z odciekami ze składowiska gminnego, było zasolenie, zawartość związków organicznych wyrażonych wskaźnikiem ChZT oraz azotu amonowego. Dziesięciokrotnie też większą barwę odnotowano w odciekach ze składowiska w Sobuczynie w porównaniu z odciekami ze składowiska w Konopiskach. Wyniki badań wstępnych świadczą o dużym obciążeniu odcieków z miejskiego większego obszarowo i tonażowo składowiska związkami organicznymi i nieorganicznymi.

4.2. Badania technologiczne

W wyniku przefiltrowania odcieków przez złożę piaskowe (etap I) zaobserwowano, że pH odcieków z Konopisk zmieniło się od 7,9 do 8,1, natomiast odcieków z Sobuczyny od 8,5 do 8,6 (tab. 2 i 3). Zasadowość ogólna uległa zmianie z 5,0 do 5,6 oraz z 56,8 do 50,4 mval/dm³ odpowiednio dla odcieków z Konopisk i Sobuczyny.

Tabela 2. Średnie wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń w oczyszczonych odciekach ze składowiska w Konopiskach

Table 2. Values of selected indicators of leachate from Konopiska landfill

Wskaźnik	Jednostka	Etap badań					
		I	II	III	IV	V	VI
Odczyn (pH)	–	8,1	8,1	8,0	7,9	7,9	8,3
Zasadowość P	mval/dm ³	0	0	0	0	0	0
Zasadowość M	mval/dm ³	5,6	4,4	6,4	6,0	5,6	6,2
Barwa	mg/dm ³ Pt	25	50	25	20	20	10
Zapach	–	z1S	z1s	z1S	z1S	z1S	z1S
Przewodność	μS/cm	399	1274	1108	1120	1124	3480
Mętność	NTU	2,4	1,0	1,9	1,7	1,6	6,0
Twardość og.	mval/dm ³	10,8	7,6	8,2	8,4	8,2	31,2
ChZT	mg/dm ³	80	130	160	150	110	70
N-NH ₄ ⁺	mg/dm ³	3,0	13,1	2,0	2,4	2,6	0,8
Wapń	mval/dm ³	3,4	2,6	1,9	1,9	1,8	5,6

Wolny dwutlenek węgla w odciekach z Konopisk zmienił się od 0,3 do 0,2 mval/dm³, natomiast w odciekach z Sobuczyny nie występował. Zapach odcieków z Konopisk zmienił się z z2S na z1S a odcieków z Sobuczyny z z5S na z4S.

Zastosowanie procesu ultrafiltracji w II etapie badań nie spowodowało znaczących zmian wartości pH, które pozostały w zakresie od 7,8 do 8,1 oraz 8,5 do 8,7, odpowiednio dla odcieków z Konopisk i Sobuczyny. Zasadowość ogólna odcieków z Konopisk zmalała z 5,0 do 4,4 mval/dm³, a odcieków z Sobuczyny z 56,8 do 39,0 mval/dm³. W odciekach z Konopisk stężenie wolnego dwutlenku węgla zmieniło się od 0,4 do 0,3 mval/dm³ a w odciekach z Sobuczyny nie był oznaczalny. W przypadku zapachu odnotowano zmianę z z2S na z1S oraz z5S na z2S odpowiednio dla odcieków z Konopisk i Sobuczyny.

W etapach III, IV i V odcieki podczyszczano z wykorzystaniem siarczanu glinu w ilości odpowiadającej 20, 40 i 60 mg/dm³.

Tabela 3. Średnie wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń w oczyszczonych odciekach ze składowiska w Sobuczynie

Table 3. Values of selected indicators of leachate from Sobuczyna landfill

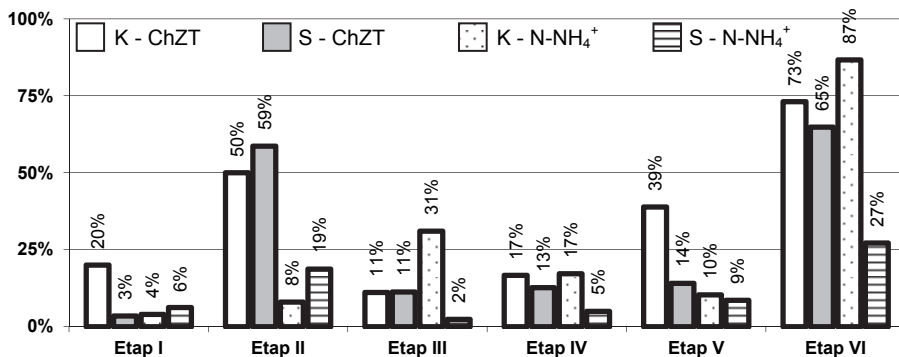
Wskaźnik	Jednostka	Etap badań					
		I	II	III	IV	V	VI
Odczyn (pH)	–	8,6	8,7	8,5	8,5	8,5	8,5
Zasadowość P	mval/dm ³	1,6	4,6	4,6	3,8	3,2	2,6
Zasadowość M	mval/dm ³	50,4	39,0	55,2	50,0	48,6	68,0
Barwa	mg/dm ³ Pt	200	150	300	250	200	50
Zapach	–	z4S	z2S	z3S	z3S	z3S	z1S
Przewodność	μS/cm	9500	9930	9610	9500	9460	1314
Mętność	NTU	20,3	7,2	50,7	48,3	50,4	4,0
Twardość og.	mval/dm ³	24	22	48	56	62	86
ChZT	mg/dm ³	840	360	630	620	610	250
N-NH ₄ ⁺	mg/dm ³	31	27	41	40	38	31
Wapń	mval/dm ³	7,2	4,8	8,0	9,6	11,2	32,1

W procesie koagulacji zmiany odczynu były niewielkie i w przypadku odcieków z Konopisk odnotowano obniżenie pH z wartości 8,3 do 7,9-8,0, a odcieków z Sobuczyny z 8,6 do 8,5. W przypadku zasadowości ogólnej odnotowano spadek wartości tego wskaźnika w odciekach z Konopisk z 7,6 do 6,4, 6,0 i 5,6 mval/dm³ odpowiednio dla III, IV i V etapu oraz analogicznie w odciekach z Sobuczyny z 61,0 do 55,2, 50,0 i 48,6 mval/dm³. Stężenie wolnego dwutlenku węgla w odciekach z Konopisk wykorzystanych w tych etapach zmieniało się od 0 do 0,2, 0,3 i 0,3 mval/dm³ odpowiednio w III, IV i V etapie. W odciekach surowych z Sobuczyny oraz po procesie koagulacji wolny CO₂ nie występował. Zapach po procesie koagulacji zmieniał się w odciekach z Konopisk od wartości z2S do z1S, niezależnie od dawki koagulantu, podobnie jak w przypadku odcieków z Sobuczyny (z5S do z3S).

W VI etapie odcieki wykorzystane w badaniach przesączało przez warstwę zestalonych popiołów lotnych. Odnotowano tendencję wzrostową wartości pH odcieków: z Konopisk od 7,9 do 8,3, natomiast odcieków z Sobuczyny od 8,4 do 8,5. Zasadowość ogólna zmieniła się

z 5,1 do 6,2 oraz 44,0 do 68,0 mval/dm³ odpowiednio dla odcieków z Konopisk i Sobuczyny. W odciekach z obu składowisk wolny dwutlenek węgla malał do zera. W przypadku odcieków z Konopisk zapach nie ulegał zmianie i zarówno przed, jak i po procesie był na poziomie z1S. Znaczące było natomiast obniżenie zapachu w przypadku odcieków z Sobuczyny (z z5S do z1S).

Na rysunku 1 przedstawiono procentowe usunięcie związków organicznych wyrażonych wskaźnikiem ChZT oraz azotu amonowego w wybranych procesach podczyszczania. Analizując te wyniki można stwierdzić, że największe obniżenie wartości ChZT tzn. o 73% i 65% odpowiednio dla odcieków z Konopisk (K) i Sobuczyny (S) nastąpiło w etapie VI przy zastosowaniu zestalonych popiołów lotnych. Ubytek wartości ChZT w procesie ultrafiltracji był mniejszy i kształtował się na poziomie 50-59%.



Rys.1. Procentowe usunięcie związków organicznych oznaczonych (ChZT) i azotu amonowego

Fig. 1. Percentage changes of COD and ammonium nitrogen

Analizując przydatność wybranych metod podczyszczania odcieków w odniesieniu do azotu amonowego można zaobserwować, że również w tym przypadku najlepsze efekty odnotowano w etapie VI (obniżenie stężenia N-NH₄⁺ odpowiednio o 87% i 27% dla odcieków z Konopisk i Sobuczyny).

Przy usuwaniu związków wchodzących w skład wskaźnika jakim jest mętność zaobserwowano, że dla odcieków z Konopisk porównywalną efektywność (w granicach 41-53%) uzyskano w procesach prefiltracji (etap I), ultrafiltracji (etap II) i strącaniu/sorpcji w warstwie popiołów

lotnych (etap VI). Również w przypadku odcieków z Sobuczyny w/w procesy okazały się najskuteczniejsze w zatrzymywaniu substancji powodujących mętność (usunięcie w zakresie od 60 do 93%).

Przeprowadzone doświadczenia w ramach etapów I-VI wykazały, że skutecznymi procesami w tym zakresie są ultrafiltracja (etap II) oraz zastosowanie zestalonych popiołów lotnych (etap VI).

Skuteczność usuwania barwy w etapie II i VI wynosiła 67% dla odcieków z Konopisk a dla odcieków z Sobuczyny wahała się od 50 do 83%. Odmienne wyniki badań uzyskano w przypadku oznaczania stężenia jonów wapnia, twardości i przewodności. Analiza odcieków prefiltrowanych przez warstwę popiołów lotnych wykazała, że stężenia jonów wapnia jak i związków wchodzących w skład twardości a także związków rozpuszczonych były większe niż w odciekach surowych.

Podobne wyniki odnotowano zarówno w przypadku odcieków z Konopisk jak i z Sobuczyny (wzrost stężenia wapnia odpowiednio o 67 i 18% oraz twardości o 133 i 105%). Wzrost wartości przewodności był rzędu 112% dla odcieków z Konopisk i 87% dla odcieków z Sobuczyny w porównaniu do odcieków surowych. Analogiczne rezultaty uzyskano już we wcześniejszych badaniach, gdzie po procesie strącania/sorpcji w warstwie popiołów lotnych wartości tych wskaźników były większe, niż w odciekach pobranych do badań (Nowak i in. 2004). Można to tłumaczyć uwalnianiem rozpuszczalnych związków wapnia i magnezu oraz wymywaniem rozpuszczalnych chlorków i siarczanów z popiołów lotnych w warunkach dynamicznych. Pomimo tego efektywność usuwania związków organicznych (ChZT) oraz udokumentowana w literaturze zdolność do zatrzymywania jonów metali ciężkich (Dąbrowska 2005) w warstwie zestalonych popiołów lotnych przemawiają za możliwością ich wykorzystania do podczyszczania odcieków składowiskach. Na podstawie literatury można stwierdzić, że prefiltracja na złożu piaskowo-zwirowym jest jedną z najprostszych i najtańszych metod poprawy jakości odcieków przed właściwym procesem ich oczyszczania. W przestrzeniach międzyziarnowych złoża filtracyjnego zachodzą procesy takie jak cedzenie i sedymentacja (Kowal & Świdorska-Bróż 2007), dlatego złożo jest stosowane w celu usunięcia makrocząstek i zawiesin z odcieków. Przykładowo, we wcześniejszych badaniach współautorskich efektywność usunięcia zawiesin na takim złożu była w granicach 47-52%. W przypadku połączenia prefiltracji z metodami membranowymi skuteczność usuwania zawiesin wzrastała do 98%. W układach zintegrowa-

nych z procesami membranowymi prefiltracja stanowi często etap wstępny, co w konsekwencji wydłuża czas pracy modułów membranowych i poprawia całkowitą efektywność oczyszczania. Zastosowanie koagulacji jako etapu wstępnego oczyszczania odcieków pozwala na usunięcie zawiesin w 35%-ach. Połączenie jej natomiast z procesami membranowymi skutkuje wzrostem usunięcia zawiesin ogólnych do 72-99% (Smol 2014).

5. Wnioski

Badania wykazały, że skuteczność usuwania zanieczyszczeń w przyjętych warunkach procesowych była zróżnicowana. Największą skuteczność usuwania zanieczyszczeń niezależnie od charakterystyki odcieków surowych otrzymano w przypadku złoża filtracyjnego z mieszaniny popiołów lotnych. Procentowy ubytek wartości badanych wskaźników, sięgający 86%, uzyskano w procesie ultrafiltracji. Na niższym poziomie była efektywność usuwania badanych zanieczyszczeń w procesie prefiltracji i koagulacji. W przypadku popiołów lotnych należy liczyć się jednak z wymywaniem substancji rozpuszczalnych w wodzie (głównie chlorków i siarczanów) oraz związków stanowiących o twardości odcieków. Zatem mimo stosunkowo wysokiej skuteczności usuwania innych zanieczyszczeń stosowanie popiołów lotnych jako procesu jednostkowego nie byłoby korzystne do podczyszczania odcieków. Dlatego proponuje się rozwiązanie polegające na zintegrowaniu procesów filtracji/koagulacji z ultrafiltracją w układzie 2- lub 3-stopniowym. W połączeniu procesów w układzie 3-stopniowym etapem wstępnym mogłaby być filtracja na złożu piaskowo-zwirowym, następnym – podczyszczanie w warstwie popiołów lotnych, a końcowym – ultrafiltracja. W alternatywnym rozwiązaniu, etap wstępny polegałby na zastosowaniu procesu koagulacji.

Pracę zrealizowano w ramach BS-PB-402-301/11

Literatura

- Bohdziewicz, J., Bodzek, M., Górka, J. (2001). Application of pressure-driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate. *Process Biochemistry*, 36(7), 641-646.
- Czop, M., Pieniążek, K. (2010). Analiza jakościowa odcieków ze składowisk miejskich w czasie ich eksploatacji. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 12(3), 19-28.

- Długosz, J. (2012). Characteristics of the composition and quantity of leachate from municipal landfills – a review, *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 14(4), 19-30.
- Hermanowicz, W., Dojlido, J., Dożańska, W. (2010), *Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków*. Warszawa: Arkady.
- Koc-Jurczyk, J., Jurczyk, L. (2007). Efficiency of removal of heavy metals from municipal landfill leachate. *Journal of Elementology*, 12(4), 327-334.
- Koc-Jurczyk, J., Różak, J. (2011). Skład odcieków pochodzących z rekultywowanego składowiska odpadów komunalnych. *Inżynieria Ekologiczna*, 27, 72-80.
- Kurniawan, T. A., Lo, W., Chan, G. Y. (2006). Physico-chemical treatment for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate, *Journal of Hazardous Materials*, B129, 80-100.
- Leszczyński, J. (2011). Podczyszczanie odcieków ze składowiska odpadów stałych metodą koagulacji. *Inżynieria Ekologiczna*, 25, 242-250.
- Neczaj, E. (2010). *Ultradźwiękowe wspomaganie biologicznego oczyszczania odcieków wysypiskowych*. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- Dąbrowska, L. (2005). Ocena przydatności odpadów elektrowniowych do immobilizacji jonów metali ciężkich. *II Kongres Inżynierii Środowiska, Lublin: Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 2, 1091-1099.
- Nowak, R., Janosz-Rajczyk, M., Wiśniowska, E., Popiołek, M. (2001). *Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i polichlorowane bifenylole w odciekach z wysypiska odpadów komunalnych*. Materiały konferencyjne Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka, Częstochowa, 177-181.
- Nowak, R., Janosz-Rajczyk, M., Dąbrowska, L. (2004). *Usuwanie azotu amonowego i związków organicznych z odcieków składowiskowych w warstwie popiołów fluidalnych*. Materiały konferencyjne Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka, Częstochowa, 319-323.
- Rocznik GUS (2015), *Ochrona Środowiska*. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- Rosik-Dulewska, C. (2007). *Podstawy gospodarki odpadami*. Warszawa: PWN.
- Rosik-Dulewska, C., Karwaczyńska, U., Ciesielczuk, T. (2007). Migracja WWA z nieuszczelnionego składowiska odpadów do wód podziemnych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 9, 335-343.
- Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (Dz. U. Nr 136, poz. 964, 2006).

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 20014 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., poz. 1800, 2014).
- Silva, A.C., Dezotti, M., Jr Sant'Anna, G.L. (2004). Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. *Chemosphere*, 55, 207-214.
- Smol, M., Włodarczyk-Makuła M., Bohdziewicz J., Mielczarek K. (2014). Comparison of the retention of selected PAHs from municipal landfill leachate by RO and UF processes. *Desalination and Water Treatment*, 52(19-21), 3889-3897.
- Staszewska, E., Pawłowska, M. (2011). Characteristic of Emissions from municipal waste landfills. *Environment Protection Engineering*, 37(4), 119-130
- Stępniewski, W., Pawłowska, M. (1996). A possibility to reduce methane emission from landfills by its oxidation in the soil cover. *Chemistry for the protection of the Environment 2 in: Environmental Science Research*, 51, 75-92.
- Surmacz-Górska, J. (2000). *Usuwanie zanieczyszczeń organicznych oraz azotu z odcieków powstających w składowiskach odpadów komunalnych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Inżynieria Środowiska, z. 44, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Szyc, J. (2003). *Odcieki ze składowisk odpadów komunalnych*. Monografie. Warszawa: Dział Wydawnictw Instytutu Ochrony Środowiska.
- Kowal, A.L., Świdarska-Bróż, M. (2007). *Oczyszczanie wody*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Trebouet, D., Schlumpf, J. P., Jaouen, P., Quemeneur, F. (2001). Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration processes. *Water Research*, 35(12), 2935-2942.
- Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz. U. Nr 62, poz. 628, 2001).

The Comparison of the Effectiveness of Pre-treatment Processes of Landfill Leachate

Abstract

Dumping is the most frequently used method of municipal waste management. According to the data of Central Statistical Office of Poland at present there are over 390 municipal landfills in our country. Dumping of municipal waste is connected with generation of leachates. Treatment of leachates is difficult because of the variability of their composition. Leachates are generated as a result of penetration of rainwater through the waste layer. Rainwater leaches

organic and inorganic compounds from waste material. Treatment method of leachate depends on its physicochemical properties, susceptibility for biodegradation and further management. Pretreatment of leachate is necessary before their treatment in wastewater treatment plant (WWTP). WWTP can be a part of dumping place infrastructure. Pretreated leachate can also be discharged into sewerage system. The most effective methods of leachate treatment are reverse osmosis and evaporation. The methods mentioned above are, however, not energy-efficient and as a result expensive. Frequently used method is also leachate recirculation onto waste pile. This method is not a good solution. Because of this it is expedient to examine effective and cheap methods of leachate pretreatment.

The aim of the investigation was to compare the effectiveness of pretreatment of landfill leachate using the processes of pre-filtration on the sand and gravel bed, ultrafiltration membrane module, coagulation, or sorption/precipitation in the solidified mixture of ash and water. These studies were carried out using effluent from two municipal landfills. The leachate was collected from the afore-mentioned landfills four times in the period from March to June. The efficiency of contaminants removal in the adopted process conditions were varied. The pH value, conductivity, color, turbidity, odor, alkalinity, acidity, free CO₂, COD, total hardness, calcium and ammonium nitrogen in the raw leachate (collected from landfills) and after pre-treated processes were determined. The effectiveness of the removal of organic and inorganic compounds does not depend on the characteristics of the raw leachate. The highest effectiveness of contaminants removal was obtained in the filter bed of fly ash (27-93%). The percentage losses of the values of indicators, reaching 86% in the ultrafiltration process were achieved. The efficiency of treatment leachate in the coagulation or pre-filtration process was at a lower level. It is proposed to integrate the processes of filtration or coagulation with ultrafiltration process in a 2- or 3-stage system. In an integrated 3-stage system for the leachate treatment, the preliminary stage could be filtration on a bed of sand and gravel, the next step - pretreatment in a bed of fly ash, and the final step – ultrafiltration process. In an alternative arrangement of leachate treatment system, a preliminary step would be using coagulation process.

Słowa kluczowe:

odcieki składowiskowe, prefiltracja, ultrafiltracja, koagulacja, popioły lotne

Keywords:

leachate, prefiltration, ultrafiltration, coagulation, fly ashes