

Urszula MILLER, Izabela SÓWKA, Waldemar ADAMIAK*

WPLYW DAWKOWANIA TRITONU X-100 NA BIOFILTRACJĘ POWIETRZA ZANIECZYSZCZONEGO PARAMI TOLUENU

Częstym problemem związanym z usuwaniem niektórych zanieczyszczeń ze środowiska jest ich mała rozpuszczalność w wodzie, która w znaczącym stopniu ogranicza możliwość ich biodegradacji lub wymywania. Z tego względu rośnie zainteresowanie zastosowaniem środków powierzchniowo czynnych, które w znacznym stopniu mogą wpływać na usuwanie zanieczyszczeń ze środowiska. Nie tylko zwiększają rozpuszczalność związków hydrofobowych, ale także ułatwiają ich wymywanie i zwiększają biodostępność. W niniejszej publikacji zaprezentowano wstępne wyniki badań laboratoryjnych nad zastosowaniem Tritonu X-100 w oczyszczaniu powietrza zanieczyszczonego parami toluenu metodą biofiltracji. Porównano wyniki pomiarów szybkości biofiltracji dla trzech wariantów pracy biofiltra: bez dawkowania surfaktantu oraz z dodatkiem surfaktantu w stężeniach: mniejszym i większym od wartości krytycznego stężenia micelizacji. Lepsze wyniki oczyszczania (maksymalna szybkość biofiltracji równa $25,3 \text{ g/m}^3\text{h}$) uzyskano zwilżając złożę roztworem Tritonu X-100 w stężeniu powyżej wartości CMC równym 200 mg/dm^3 .

1. WPROWADZENIE

Zanieczyszczenia charakteryzują się często dużą toksycznością, a przy tym są powoli usuwane i mają tendencję do akumulowania się w środowisku. Wzrost świadomości w zakresie negatywnego oddziaływania ksenobiotyków na środowisko, a także zainteresowanie społeczeństwa tematyką związaną z uciążliwością zapachową oraz zaostrzenie przepisów dotyczących jakości powietrza, wpływają na rozwój technologii i metod ograniczania emisji zanieczyszczeń. Konwencjonalne metody, takie jak spalanie, adsorpcja, absorpcja, kondensacji, zapewniają duże skuteczności oczyszczania, jednak często mogą powodować powstawanie niepożądanych odpadów, a także wiązać się z dużym zużyciem energii. Metody biologiczne są alternatywą w oczyszczaniu gazów o małych wartościach stężeń

* Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50–370 Wrocław, urszula.miller@pwr.edu.pl.

zanieczyszczeń. Biofiltracja jest metodą dezodoryzacji stosowaną szeroko w oczyszczalniach ścieków, obiektach gospodarki odpadami oraz zakładach przemysłowych. W metodzie tej, gazy odlotowe zawierające biodegradowalne lotne związki organiczne (LZO) doprowadzane są na złoża filtracyjne, np. torf, włókno kokosowe, kora drzewna, bądź kompozyty mineralne, zasiedlone przez mikroorganizmy. Zanieczyszczenia, zawarte w strumieniu gazów, absorbowane są w fazie wodnej (wilgotność złoża może wynosić nawet 80–90%) lub adsorbują się na powierzchni materiału filtracyjnego, gdzie ulegają tlenowemu rozkładowi. Biofiltracja pozwala na usuwanie niektórych zanieczyszczeń ze skutecznością powyżej 99%, a przy tym jest praktycznie bezodpadowa i nie wymaga dużych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych, w porównaniu z tradycyjnymi metodami oczyszczania gazów odlotowych. Metodą biofiltracji można usuwać zarówno związki organiczne, takie jak alkohole, ketony, aldehydy oraz niektóre węglowodory aromatyczne i alifatyczne, jak i nieorganiczne, np. siarkowodór czy amoniak) [10].

W biofiltracji podstawowym czynnikiem determinującym przebieg procesu oczyszczania gazów są mikroorganizmy zasiedlające złoża filtracyjne. Parametrami, których wartości mogą wpływać na biofiltrację, są: temperatura, wilgotność, stężenie jonów wodorowych, potencjał oksydoredukcyjny, dostępność pokarmu oraz obecność toksyn [4]. Skutki zmian wartości podanych parametrów mogą mieć charakter krótko- lub długoterminowy, co wynika ściśle z czasu procesów zachodzących w złożu, które mogą trwać od kilku sekund do kilku dni lub tygodni. Skutki krótkoterminowe wywołują reakcje fizjologiczne na poziomie pojedynczych organizmów, np. spadek wilgotności może powodować zwiększenie stresu fizjologicznego. Długoterminowe skutki zmian występują natomiast na poziomie ekosystemu. Bakterie zasiedlające złoża filtracyjne, w przypadku jego przesuszenia, są zastępowane przez grzyby kserofilne [9]. Również adaptacja złoża biofiltra może przebiegać na dwóch poziomach: komórkowym (adaptacja enzymatyczna) i na poziomie układu oczyszczającego (adaptacja biocenotyczna). Po uruchomieniu instalacji, drobnoustroje otrzymujące nowe źródło węgla w postaci obecnych w gazach zanieczyszczeń, poprzez indukcję odpowiednich enzymów, nabywają zdolność do rozkładu ksenobiotyków. Adaptacja enzymatyczna trwa zwykle kilka godzin i stanowi jedynie niewielką część czasu adaptacji złoża. Pełna adaptacja złoża jest procesem długotrwałym (może trwać kilka dni, a nawet miesięcy) i obejmuje również czas namnażania się mikroorganizmów do ilości będącej w stanie sprostać obciążeniu masowemu złoża [1]. Do czynników determinujących wydajność biofiltra należą również parametry eksploatacyjne instalacji, takie jak stężenie i rodzaj zanieczyszczeń czy szybkość przepływu strumienia gazów [5]. Właściwości fizykochemiczne niektórych zanieczyszczeń mogą całkowicie wykluczyć zastosowanie biofiltracji jako metody usuwania ich ze środowiska. Głównym czynnikiem limitującym, poza podatnością na biodegradację, jest rozpuszczalność związków chemicznych w wodzie. Prowadzone badania [2, 19] wykazały pozytywny wpływ biofiltracji zanieczyszczeń hydrofobowych w obecności związku hydrofilowego, będącego jednocześnie rozpuszczalnikiem tego pierwszego. Poprzez zwiększenie rozpuszczalności ksenobiotyku zwiększa się jego biodostępność, co

wpływa na poprawę efektów jego usuwania. Podobne działanie można wykazać stosując niektóre surfaktanty [13].

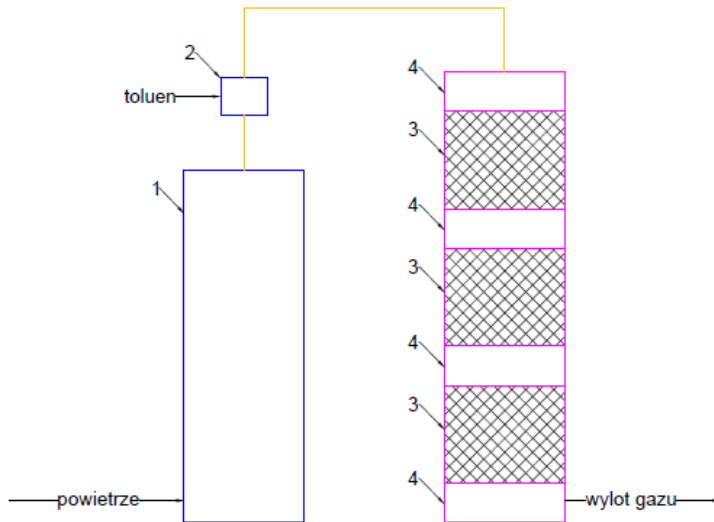
Surfaktanty są to środki powierzchniowo czynne o strukturze amfifilowej, składające się zwykle z hydrofobowego łańcucha węglowodorowego i niejonowej, anionowej, kationowej lub amfoterycznej części hydrofilowej. Fragment niepolarny bardzo słabo oddziałuje z cząsteczkami wody, natomiast część polarna tworzy z nimi silne oddziaływania jonowe lub dipol-dipol. Surfaktanty mają tendencję do agregowania w micelle i gromadzenia się na granicach międzyfazowych. Aktywność powierzchniowa cząsteczek surfaktantów zmienia właściwości roztworów poprzez obniżanie ich napięcia powierzchniowego oraz zmianę swobodnej energii międzyfazowej w układach ciecz-gaz lub ciecz-ciecz [16]. Głównymi parametrami, mającymi wpływ na rozpuszczalność surfaktantu i jego aktywność powierzchniową są stężenie, temperatura oraz równowaga hydrofilowo-lipofilowa. Minimalne stężenie, w którym się to dzieje nazywane jest krytycznym stężeniem micelizacji (CMC, ang. *critical micelle concentration*). Cząsteczki mogą występować tu zarówno w formie monomerów, jak i asocjatów (miceli), które mogą przybierać różne formy (kuliste, micelle niesferyczne, usieciowane) [20]. Najniższa temperatura, w której powstają micelle nazywana jest temperaturą krytyczną micelizacji (CMT). Równowaga hydrofilowo-lipofilowa (HLB) jest natomiast miarą stosunku części polarnej w cząsteczce do części niepolarniej. Wskaźnik ten mówi o tym, jak bardzo surfaktant jest hydrofobowy lub hydrofilowy (w skali 0 do 20, gdzie 0 oznacza pełną hydrofobowość, a 20 – hydrofilowość) [12]. Surfaktanty stosowane są w przemyśle chemicznym, kosmetycznym, farmaceutycznym, agrochemicznym, włókienniczym, naftowym i tworzyw sztucznych. Znajdują zastosowanie również w inżynierii środowiska, głównie w bioremediacji gruntów i przy wyciekach ropy naftowej. Poprawiają rozpuszczalność zanieczyszczeń w wodzie, zwiększając ich biodostępność i ułatwiają wymywanie. Najczęściej stosowane są surfaktanty niejonowe, ze względu na mniejszą toksyczność w porównaniu z innymi detergentami. Nie ulegają w wodzie dysocjacji, większość z nich nie powoduje denaturacji białek [11].

2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Do badań kinetyki procesu biofiltracji lotnych związków organicznych, wybrano toluen. Ma on szerokie zastosowanie w przemyśle rafineryjnym, produkcji farb i rozpuszczalników, a także jako surowiec w przemyśle chemicznym. Toluen jest toksyczny, działa szkodliwie przez drogi oddechowe i skórę, może mieć szkodliwe działanie na płód [14]. Biodegradacja toluenu może przebiegać dwoma drogami. Pierwszym sposobem jest, podobnie jak w przypadku benzenu, przyłączenie grup hydroksylowych, z powstaniem metylowej pochodnej katecholu i rozszczepienie pierścienia. Rozkład toluenu może też zajść poprzez utlenienie grupy metylowej do karboksylowej, a dopiero

w dalszej kolejności dochodzi do rozerwania pierścienia. Obecność podstawnika metylowego może w znacznym stopniu wpływać na łatwość rozkładu toluenu przez mikroorganizmy, gdyż ułatwia im „zaatakowanie” cząsteczki [7]. Rozpuszczalność toluenu w wodzie w temperaturze 20°C wynosi 0,5 g/dm³, co może ograniczać skuteczność jego usuwania metodą biofiltracji. Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu dawkowania surfaktantu (Triton X-100) na szybkość biofiltracji toluenu.

Badania własne biofiltracji toluenu przeprowadzono na instalacji badawczej w skali laboratoryjnej (schemat ideowy przedstawiono na rys. 1). Kolumnę filtracyjną stanowiła rura PCW o średnicy wewnętrznej 0,1 m, wypełniona trzema warstwami materiału filtracyjnego o wysokości 0,3 m każda. Powietrze doprowadzane było najpierw do kolumny do wstępnego kondycjonowania gazów o wysokości 1 m wypełnionej wilgotnym węglem aktywnym. Strumień przepływającego gazu ustalono na 750 dm³/h. Następnie nawilżone powietrze doprowadzane było do mieszalnika, gdzie łączyło się z dozowanym z płuczki w postaci par toluenu. Strumień gazu był prowadzony od góry kolumny filtracyjnej przez kolejne warstwy złoża. Próbkę gazu pobierane były z czterech króćców znajdujących się na wlocie do biofiltra, a także po każdej z trzech warstw złoża i poddawane analizie chromatograficznej. Dla wszystkich trzech serii pomiarowych zapewniono jednakowe warunki pracy biofiltra.



Rys. 1. Schemat instalacji badawczej:

- 1 – kolumna do wstępnego kondycjonowania gazów, 2 – mieszalnik, 3 – złoża filtracyjne,
4 – króciec poboru gazu

Kinetykę procesu biofiltracji opisano w postaci zależności szybkości biofiltracji od obciążenia złoża zanieczyszczeniem wyrażonych jako:

- obciążenie złoża O_z , $\text{g/m}^3\text{s}$:

$$O_z = \frac{C_p \cdot \dot{V}_g}{V_z} \quad (1)$$

gdzie:

C_p – stężenie toluenu w powietrzu dopływającym do złoża filtracyjnego, g/m^3 ;

\dot{V}_g – strumień gazu przepływającego przez złożo filtracyjne, m^3/s ;

V_z – objętość złoża, m^3 ;

- szybkość biofiltracji V_r , $\text{g/m}^3\text{s}$

$$V_r = \frac{(C_p - C_k) \cdot \dot{V}_g}{V_z} \quad (2)$$

gdzie:

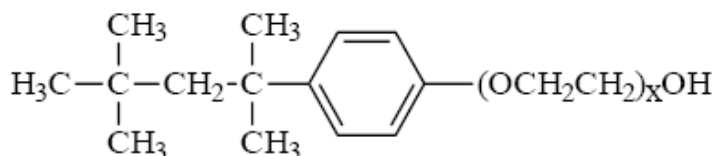
C_k – stężenie toluenu w powietrzu po przejściu przez warstwę materiału filtracyjnego, g/m^3 ;

C_p – stężenie toluenu w powietrzu dopływającym do złoża filtracyjnego, g/m^3 ;

V_z – objętość złoża, m^3 .

Materiałem filtracyjnym użytym w badaniach było włókno kokosowe z dodatkiem perlitu, zasilone pożywką mineralną o zawartości azotu 23%, fosforu (P_2O_5) 5%, potasu (K_2O) 10% i magnezu (MgO) 2%.

W badaniach zastosowano surfaktant Triton X-100, należący do niejonowych środków powierzchniowo czynnych z rodziny Triton X. Jest to eter polimeru glikolu polietylenowego (część hydrofilowa) i p-t-oktylofenolu (część hydrofobowa). Ma postać bezbarwnej lub białawej cieczy, dobrze rozpuszczalnej w wodzie. Krytyczne stężenie micelizacji dla Tritonu X-100 wynosi 150 mg/dm^3 , a masa molowa 624 g/mol [8].



Rys. 2. Triton X-100 ($x = 9 - 10$)

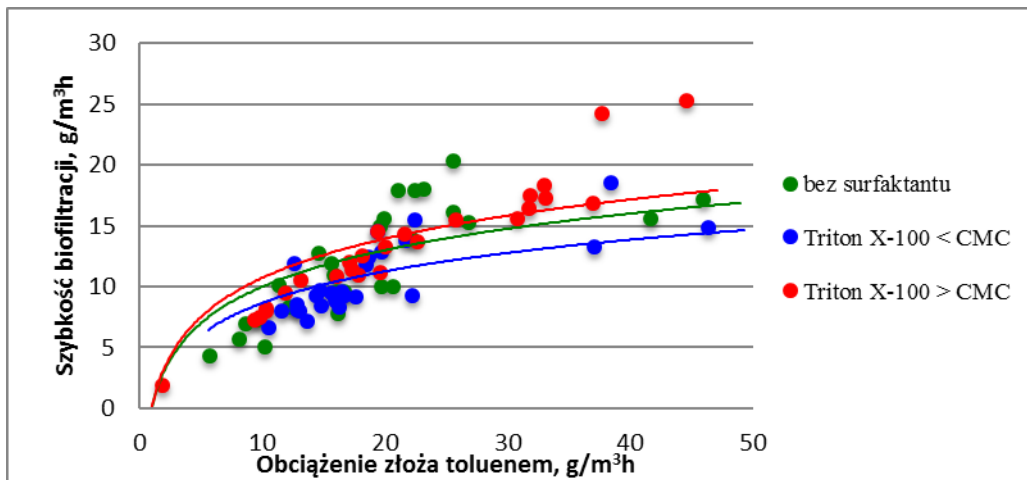
Przeprowadzono trzy serie pomiarowe biofiltracji toluenu w następujących wariantach pracy biofiltra:

- bez dodatku surfaktantu (seria kontrolna),
- z dodatkiem surfaktantu o stężeniu poniżej wartości krytycznego stężenia micelizacji,
- z dodatkiem surfaktantu o stężeniu powyżej wartości krytycznego stężenia micelizacji.

Każda seria pomiarowa trwała 55 dni. Surfaktant dodawany był do złoża po wstępnym okresie adaptacji, podczas jego nawilżania. Krytyczne stężenie micelizacji dla Tritonu X-100 wynosi 150 mg/dm^3 , zatem do badań przyjęto dwie wartości stężenia surfaktantu: $100 \text{ mg/dm}^3 (< \text{CMC})$ i $200 \text{ mg/dm}^3 (> \text{CMC})$.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Wyniki badań nad wpływem stężenia Tritonu X-100 na szybkość biofiltracji toluenu przy obciążeniu złoża zanieczyszczeniem w zakresie od 0 do $50 \text{ g/m}^3\text{h}$ przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zależność szybkości biofiltracji toluenu od obciążenia złoża dla trzech założonych wariantów pracy biofiltra

Z przeprowadzonych badań wynika, że maksymalna szybkość biofiltracji toluenu wyniosła: 20,3, 18,5 i 25,3 $\text{g/m}^3\text{h}$, odpowiednio dla sesji pomiarowej bez zastosowania surfaktantu, z zastosowaniem Tritonu X-100 w stężeniu poniżej krytycznego stężenia micelizacji i z dawkowaniem Tritonu X-100 w stężeniu powyżej wartości CMC. Zaobserwowano, iż przy niskich stężeniach toluenu w powietrzu wlotowym biofiltr działał na podobnym poziomie, ze skutecznością ok. 80% dla każdego z trzech ustalonych wariantów badań. Dla obciążenia złoża parami toluenu powyżej $30 \text{ g/m}^3\text{h}$ lepsze wyniki oczyszczania uzyskano

zwilżając złoże roztworem surfaktantu o stężeniu powyżej wartości CMC. Zastosowanie roztworu surfaktantu w stężeniu mniejszym niż CMC nie wywołało poprawy efektów działania biofiltra.

Wpływ dawkowania surfaktantu na biofiltrację powietrza zanieczyszczonego parami toluenu został zbadany przez Wu-Chung i Hui-Zheng (2008) i Wu-Chung C. i Hong-Yua (2010) na przykładzie dwóch związków powierzchniowo czynnych: Brij 30 i Brij 35 [17, 18]. Badacze określili wpływ stężenia surfaktantu na rozpuszczalność toluenu w wodzie poprzez określenie stosunku S/S_0 (stosunek stężenia toluenu w wodzie z dodatkiem surfaktantu do stężenia toluenu bez dodatku surfaktantu). Wykazano, że zarówno Brij 30, jak i Brij 35 wpływają na poprawę rozpuszczalności toluenu w fazie wodnej. Najlepsze efekty uzyskano dla zakresu stężeń surfaktantów poniżej wartości krytycznego stężenia micelizacji (CMC). Zaobserwowano również, że rozpuszczalność toluenu w wodzie zwiększa się wraz ze wzrostem stężenia związku powierzchniowo czynnego, jednakże tylko do pewnej wartości krytycznej, powyżej której następuje zmniejszenie pozytywnego wpływu surfaktantu. Optymalne stężenie Brij 30, przy którym uzyskano największą wartość stosunku S/S_0 , wyniosło 35 mg/dm^3 . W przypadku Brij 35 w pełnym badanym zakresie jego stężenia (tj. od 0 do 540 mg/dm^3) nastąpiła poprawa rozpuszczalności toluenu, przy czym najlepsze efekty otrzymano dla stężeń surfaktantu poniżej wartości CMC. Uzyskane wyniki mogły sugerować, że wraz ze wzrostem rozpuszczalności toluenu wzrosnie jego biodostępność, co będzie można wykorzystać dla uzyskania większej skuteczności biofiltracji zanieczyszczonych gazów. Jednak przeprowadzone eksperymenty wykazały spadek maksymalnej szybkości biofiltracji wraz ze wzrostem stężenia surfaktantu, a także hamujący wpływ detergentu na wzrost mikroorganizmów. Uzyskane przez autorów wyniki można wytłumaczyć jednak nie tylko negatywnym działaniem surfaktantów na zasiedlenie złoża, lecz również z wrażliwości mikroorganizmów zasiedlających złoże biofiltra na toksyczne działanie toluenu w stężeniu równym 200 ppm.

Badania wpływu Tritonu X-100 na efekty oczyszczania gazów metodą biofiltracji prowadzone zarówno dla stężenia surfaktantu równego krytycznemu stężeniu micelizacji, jak i dla stężeń poniżej i powyżej wartości CMC. Hassan i Sorial (2008), w pracy dotyczącej usuwania n-heksanu, jako przykładowego związku hydrofobowego [3], porównali działanie dwóch biofiltrów pracujących przy obciążeniu złoża zanieczyszczeniem w zakresie od 5,37 do $10,41 \text{ g/m}^3\text{h}$. Po okresie adaptacji złoża, do jednego z biofiltrów wraz z pożywką dodano Triton X-100 w stężeniu równym krytycznemu stężeniu micelizacji. Badania wykazały, że dodanie tego surfaktantu nie wpłynęło na poprawę pracy biofiltra, a jego działanie na rozpuszczalność n-heksanu było niewielkie.

W stężeniu o wartości poniżej CMC, Triton X-100 został zastosowany w badaniach wpływu surfaktantu na skuteczność usuwania styrenu przez Song i in. (2012) [15]. Podobnie jak w wyżej opisanych badaniach, środek powierzchniowo czynny został dodany do jednej z dwóch kolumn wraz z pożywką. Dla różnych obciążeń złoża zanieczyszczeniem: 65,3, 100,9 i $201,7 \text{ g/m}^3\text{h}$ uzyskano odpowiednio 87, 70 i 50% skuteczności oczyszczania

dla biofiltra kontrolnego (bez dawkowania surfaktantu) i 96, 92 i 82% dla biofiltra zasilanego roztworem Tritonu. Poza pozytywnym wpływem surfaktantu na efekty usuwania styrenu zaobserwowano również poprawę stabilności pracy biofiltra w czasie. Badania własne nad zastosowaniem Tritonu X-100 w stężeniu mniejszym od wartości CMC w biofiltracji toluenu nie potwierdziły zależności wykazanej przez cytowanych autorów.

Triton X-100 w stężeniu powyżej krytycznego stężenia micelizacji zastosowano natomiast w badaniach Dhamwichukorn i in. (2001) nad oczyszczaniem gazów zanieczyszczonych metanolem i α -pinenem [6]. Eksperyment przeprowadzono na złożu filtracyjnym podgrzewanym do temperatury 55°C, zaszczerpionym mikroflorą termofilną. Badania przeprowadzono przy małym natężeniu przepływu gazów (18 dm³/h) i obciążeniu złoża zanieczyszczeniami w zakresie 1,5–2 g/m³h. Zastosowano mieszaninę niejonowych związków powierzchniowo czynnych o następującym składzie: Triton X-100 (0,05%), Brij 35 (0,1%) i Brij 58 (0,05%). Dodanie surfaktantów wyraźnie zwiększyło rozpuszczalność zanieczyszczeń w wodzie i wpłynęło na zwiększenie szybkości biofiltracji. Dla biofiltra zasilanego mieszaniną maksymalna szybkość oczyszczania wyniosła ok. 1,8 g/m³h i była trzykrotnie większa w porównaniu z kontrolą (dla biofiltra bez dawkowania surfaktantów maksymalna szybkość biofiltracji wyniosła 0,6 g/m³h). Wyniki badań własnych z zastosowaniem Tritonu X-100 w stężeniu większym od wartości CMC przeprowadzonych dla toluenu również wykazały pozytywny wpływ surfaktantu na szybkość biofiltracji.

Zaprezentowane wyniki stanowią podstawę do dalszych badań nad zastosowaniem Tritonu X-100 w biofiltracji toluenu, z założeniem, że jako wyjściowe należy przyjąć stężenie roztworu surfaktantu większe od wartości krytycznego stężenia micelizacji.

4. PODSUMOWANIE

Surfaktanty poprzez zwiększenie rozpuszczalności hydrofobowych lotnych związków organicznych mogą wpływać na zwiększenie ich biodostępności, a tym samym poprawiać skuteczność procesu biofiltracji gazów. Działanie związków powierzchniowo czynnych zależy od ich rodzaju oraz stężenia. Detergenty mogą mieć również negatywny wpływ na biodegradację zanieczyszczeń poprzez działanie toksyczne względem mikroorganizmów zasiedlających złożę. Z tego względu niezwykle istotny jest dobór odpowiedniego surfaktantu i jego stężenia, tak by zoptymalizować korzyści wynikające z jego działania. Z przeprowadzonych badań wynika, iż zastosowanie Tritonu X-100 w stężeniu większym od wartości CMC daje możliwość zwiększenia szybkości usuwania toluenu, a tym samym oczyszczania gazów przy większym obciążeniu złoża zanieczyszczeniem.

Prace zrealizowane w ramach zlecenia B50618 z dotacji celowej przyznawanej dla Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej (W-7) przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz

zadań z nimi związanych służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich w roku 2015/2016.

LITERATURA

- [1] ALEXANDER M., *Biodegradation and Bioremediation*, Cornell University, New York 1994.
- [2] ALY HASSAN A., SORIAL G., *Biofiltration of n-hexane in the presence of benzene vapors*, Journal Chemical Technology and Biotechnology, 2010, Vol. 85, 371–377.
- [3] ALY HASSAN A., SORIAL G. A., *N-hexane biodegradation in trickle bed air biofilters*, Water, Air and Soil Pollution: Focus, 2008, Vol. 8, 287–296.
- [4] BURGESS J. E., PARSONS S. A., STUETZ R. M., *Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review*, Biotechnology Advances, 2001, Vol. 19, No. 1, 35–63.
- [5] DEVINNY J. S., DESHUSSES M. A., WEBSTER T. S., *Biofiltration for air pollution control*, Lewis Publishers, USA 1999.
- [6] DHAMWICHUKORN S., KLEINHEIZ G. T., BAGLEY S. T., *Thermophilic biofiltration of methanol and α -pinene*, Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2001, Vol. 26, 127–133.
- [7] EL-NAAS M. H., ACIO J. A., EL TELIB A. E., *Aerobic biodegradation of BTEX: Progress and Prospects*, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2014, Vol. 2, 1104–1122.
- [8] HAMADAMIN S. I., *Adsorption of Triton X-100 Surfactant on Different Agricultural Soils*, National Journal of Chemistry, 2009, Vol. 35, 415–426.
- [9] HAQUE F., DE VISSCHER A., SEN A., *Biofiltration for BTEX Removal*, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2011, Vol. 42, 2648–2692.
- [10] KUMAR T. P., RAHUL, KUMAR A. M., CHANDRAJI B., *Biofiltration of volatile organic compounds (VOCs) – An overview*, Research Journal of Chemical Sciences, 2011, Vol. 1, No. 8, 83–92.
- [11] OGONOWSKI J., TOMASZKIEWICZ-POTĘPA A., *Związki powierzchniowo czynne*, Zakład Graficzny Politechniki Krakowskiej, Kraków 1999.
- [12] PRZONDO J., *Związki powierzchniowo czynne i ich zastosowanie w produktach chemii gospodarczej*, Zakład Poligraficzny Politechniki Radomskiej, Radom 2007.
- [13] RAMIREZ A., GARCIA-AGUILAR B., JONES P., HEITZ M., *Improvement of methane biofiltration by the addition of non-ionic surfactants to biofilters packed with inert materials*, Process Biochemistry, 2012, Vol. 47, 76–82.
- [14] SINGH K., SINGH R. S., RAI B. N., UPADHYAY S. N., *Biofiltration of toluene using wood charcoal as the biofilter media*, Bioresource Technology, 2010, Vol. 101, 3947–3951.
- [15] SONG T., YANG C., ZENG G., YU G., XU C., *Effect of surfactant on styrene removal from waste gas streams in biotrickling filters*, Journal Chemical Technology and Biotechnology, 2012.
- [16] TADROS T. F., *Applied Surfactants*. Willey-VCH Verlag, Weinheim 2005.
- [17] WU-CHUNG C., HONG-YUAN Y., *The influence of nonionic surfactant Brij 30 on biodegradation of toluene in a biofilter*, African Journal of Biotechnology, 2010, Vol. 9, No. 36, 5914–5921.
- [18] WU-CHUNG C., HUI-ZHENG Y., *Nonionic surfactant Brij 35 effects on toluene biodegradation in a composite bead biofilter*, African Journal of Biotechnology, 2008, Vol. 8, No. 20, 5406–5414.
- [19] ZEHRAOUI A., A. ALY HASSAN, G. A. SORIAL, *Effect of methanol on the biofiltration of n-hexane*, Journal of Hazardous Materials, 2012, Vol. 219–220, 176–182.

- [20] ZIELIŃSKI R., *Surfaktanty. Budowa, właściwości i zastosowania*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2009.

EFFECT OF TRITON X-100 ON BIOFILTRATION OF AIR CONTAMINATED BY TOLUENE VAPOR

A common problem associated with the removal of some pollutants from the environment is their low solubility in water, which significantly limits the possibility of their biodegradation or removal process from the environment. Therefore, there is the growing interest in the use of surfactants that may significantly influence on the removal processes. Surfactants do not only increase the solubility of hydrophobic compounds, but also make them easier to remove and increase their bioavailability. This paper presents the preliminary results of laboratory tests on the use of Triton X-100 in treatment – using biofiltration – of gases contaminated by toluene vapor. The results of biofiltration rate measurements for three options of biofilter work was compared: with 1) no dosage of surfactant, 2) the addition of surfactant concentrations smaller than the critical micelle concentration and 3) the addition of surfactant concentrations larger than the critical micelle concentration. Better results (maximum biofiltration rate was 25,3 g/m³h) were obtained for using of Triton X-100 with the value above-CMC equal to 200 mg /dm³.