

Małgorzata Ciupryk, Kazimierz Gaj  
Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska  
Politechniki Wrocławskiej

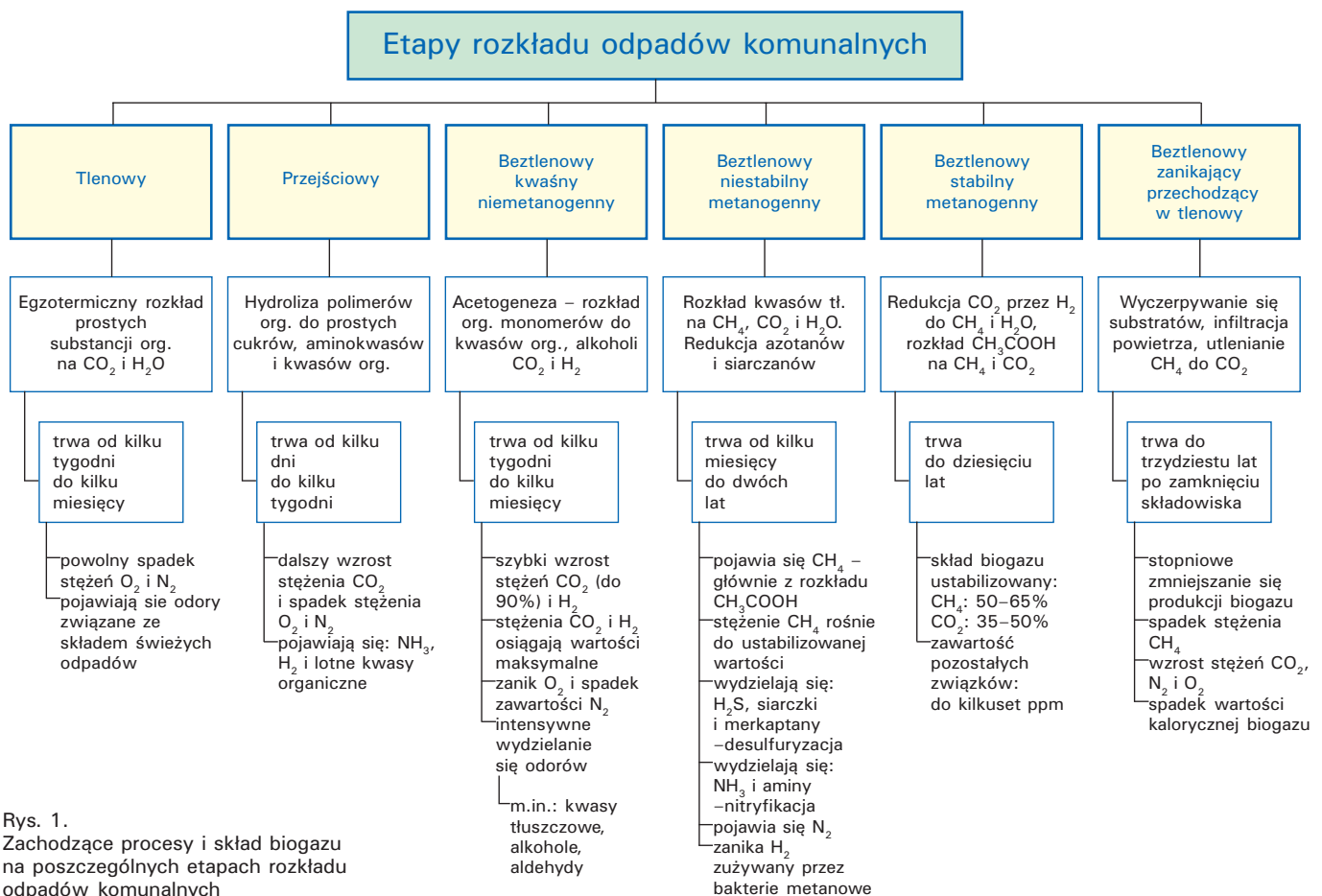
## Ekologiczne przesłanki utylizacji biogazu składowiskowego

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania ujmowaniem i utylizacją gazów procesowych powstających na składowiskach odpadów komunalnych. Wynika on zarówno z uwarunkowań prawnych (m.in. wdrażanie Dyrektyw Rady UE nr 1999/31/EC wraz z późniejszymi aneksami oraz realizacja zapisów Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczególnych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów, które wprowadza obowiązki wyposażania składowisk odpadów biodegradowalnych w instalację do ujmowania, oczyszczania i wykorzystania biogazu do celów energetycznych, a jeżeli jest to niemożliwe – do jego spalania w pochodni), ekonomicznych (efekty wdrożonych instalacji przynoszą szybki zwrot

poniesionych nakładów), jak i wzrastającej świadomości ekologicznej społeczeństwa i gremiów decydenckich.

Przy braku systemu unieszkodliwiania biogazu, wraz z podstawowymi jego składnikami, tj. metanem i dwutlenkiem węgla, do atmosfery dostają się liczne substancje toksyczne [1], często o charakterze kancerogennym, oraz odory obniżające komfort życia pobliskich mieszkańców. Biogaz stwarza też zagrożenie wybuchem – zarówno na samym składowisku, jak i w jego bezpośrednim otoczeniu. W przypadku składowisk o niewystarczającej izolacji spodniej zagrożona jest również okoliczna roślinność – migrujący pod ziemią biogaz może uszkadzać system korzeniowy przez wypieranie tlenu z powietrza glebowego.

Ujmowanie i utylizacja biogazu pozwalają na zmniejszenie wymienionych zagrożeń.



Rys. 1. Zachodzące procesy i skład biogazu na poszczególnych etapach rozkładu odpadów komunalnych

## Powstawanie biogazu

Źródłami produkcji biogazu mogą być odpady roślinne, odchody zwierzęce (gnojowica, obornik), odpady przetworstwa rolno-spożywczego, odpady przemysłowe pochodzenia organicznego oraz ścieki bytowo-komunalne, a ściślej proces ich oczyszczania i proces stabilizacji osadów ściekowych. W składowiskach odpadów komunalnych zachodzą zarówno procesy tlenowe jak i beztlenowe, których fazowy przebieg wpływa na skład generowanego biogazu (rys. 1).

W pierwszym etapie rozkładu mikroorganizmy aerobowe rozkładają proste substancje organiczne na dwutlenek węgla i wodę. Po wyczerpaniu się tlenu, drobnoustroje anaerobowe produkują początkowo kwasy tłuszczowe, alkohole, dwutlenek węgla i wodór, a następnie powstałe wcześniej kwasy tłuszczowe przekształcane są w metan, dwutlenek węgla i wodę. Po ok. dwóch latach rozpoczyna się proces stabilnej metanogenezy, w trakcie której stężenie metanu w biogazie dochodzi do ok. 60%. Czas trwania poszczególnych etapów rozkładu uwarunkowany jest głównie sposobem zagęszczania i izolowania złoża oraz jego parametrami fizykochemicznymi, takimi jak: temperatura (10–60°C), zawartość wilgoci (powyżej 25%), odczyn (6,5–8), potencjał redoks (ok. 200 mv), skład chemiczny, w tym zawartość węgla organicznego i substancji biogenych oraz inhibitorów.

Z 1 Mg odpadów komunalnych powstaje od 60 do 180 m<sup>3</sup> biogazu.

## Zagrożenia stwarzane przez biogaz

### Zagrożenia toksykologiczne

W skład biogazu – obok podstawowych jego składników, tj. metanu i dwutlenku węgla, które nie wykazują działania toksycznego (mogą jednak wypierać tlen i powodować trudności z oddychaniem) – wchodzi setki substancji, z których część przejawia silne działanie toksyczne. W przypadku niektórych z nich stwierdzono również aktywność nowotworową.

Spośród składników nieorganicznych największe zagrożenie stwarzają: siarkowodór, amoniak i tlenek węgla. Siarkowodór łatwo wchłania się z płuc, powoduje zaburzenia, a czasami nawet porażenia oddychania wewnątrzkomórkowego, uszkodzenie komórek ośrodkowego układu nerwowego i układu krwiotwórczego. Podrażnia drogi oddechowe i oczy. Skutkiem wielogodzinnego narażenia na jego działanie może być obrzęk i przekrwienie płuc. Amoniak wchłania się głównie z dróg oddechowych, a także przez skórę i błony śluzowe. W zetknięciu z wilgotną powierzchnią błon śluzowych tworzy wodorotlenek amonowy o silnym działaniu żrącym, wywołującym nieżyty oskrzeli, a w ostrych zatruciach obrzęk płuc. Może powodować obrzęk spojówek i zmętnienie rogówki. Tlenek węgla wiąże się z hemoglobiną tworząc karboksyhemoglobinę

(połączenie niezdolne do przenoszenia tlenu), co prowadzi do niedotlenienia organizmu. Następstwem zatrucia tlenkiem węgla mogą być: osłabienie, utrata pamięci, psychozy w postaci stanów pobudzenia lub depresji i in.

Spośród substancji organicznych obecnych w biogazie do najgroźniejszych należą węglowodory pierścieniowe i ich pochodne, w tym zwłaszcza chlorowane. Należą do substancji dobrze wchłaniających się z dróg oddechowych. Częściowo mogą być również wchłaniane przez skórę i z przewodu pokarmowego. Na przykład benzen działa narkotycznie na ośrodkowy układ nerwowy. Może być przyczyną niedoczynności lub zaniku szpiku. Przypisuje mu się również działanie rakotwórcze. Toluen ma podobne działanie toksyczne do benzenu, jednak silniej działa na układ nerwowy i silniejsze jest jego działanie drażniące. Słabiej działa na układ krwiotwórczy i szpik. Trójchloroetylen kumuluje się w tkance tłuszczowej. Działa na ośrodkowy układ nerwowy, uszkadza mięsień sercowy, wątrobę i nerki. Działanie toksyczne przejawiają też niektóre węglowodory alifatyczne. Przykładem może być często wykrywany w biogazie aceton, który działa narkotycznie na ośrodkowy układ nerwowy oraz drażniąco na komórki błon śluzowych. W wyniku ostrego zatrucia acetonem może nastąpić uszkodzenie funkcji wątroby oraz nerek.

Wyżej wymienione substancje są przykładowymi składnikami biogazu, wybranymi spośród wielu związków w nim wykrywanych [1]. Zostały wymienione celem zobrazowania zagrożeń toksykologicznych powodowanych przez niekontrolowaną emisję biogazu. Związki te nie występują w gazie składowiskowym w tak dużych ilościach, aby widoczny był ich natychmiastowy wpływ na organizmy żywe. Możemy jednak mówić o kumulacji dawek, których negatywne skutki mogą wystąpić w późniejszych latach.

### Zagrożenia odorowe

Gaz składowiskowy może mieć nieprzyjemną woń, wynikającą zarówno z zapachu zdeponowanych odpadów, jak i gazowych produktów ich rozkładu. Wśród odorowych składników biogazu do najbardziej uciążliwych należą:

- tiole (merkaptany) – o obrzydliwym zapachu skunksa ( $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_2\text{-SH}$ ,  $(\text{CH}_3)_3\text{C-SH}$ ,  $\text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_4\text{-SH}$ ), zgniłej kapusty ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-SH}$ ,  $\text{CH}_3\text{-SH}$ ) lub czosnku ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{-SH}$ ,  $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{-SH}$ ),
- siarkowodór ( $\text{H}_2\text{S}$ ) – o bardzo silnym i wyraźnie wyczuwalnym zapachu gnijących jaj,
- amoniak ( $\text{NH}_3$ ) – o charakterystycznym ostrym zapachu „amoniakalnym”,
- siarczek dimetylowy ( $\text{CH}_3\text{-S-CH}_3$ ) – o nieprzyjemnym zapachu gnijących warzyw,
- siarczek dietylowy ( $\text{CH}_2\text{-S-CH}_2$ ) – o zapachu podobnym do czosnku,
- kwas butanowy ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ ) – zapach zjełczałego tłuszczu,
- metyloamina i trimetyloamina ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ,  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ ) – o zapachu rybim.

Uciążliwość zapachowa odpadów jest najbardziej do-  
kuczliwa we wczesnych fazach ich rozkładu.

Ocena intensywności odoru oparta jest na subiektyw-  
nym wrażeniu organoleptycznym. Trudność oceny dodat-  
kowo potęgują różnice w publikowanych wartościach stę-  
żeń wykrywalności węchowej odorantów (tab. 1), wynika-  
jące ze stosowania różnych metod pomiarowych lub róż-  
nych definicji stężenia progowego. Wielkość progowa może  
być przyjmowana jako kryterium oceny uciążliwości zapa-  
chowej dla pojedynczych substancji odorotwórczych oraz  
dla mieszanin charakteryzujących się wyraźną dominacją  
jakiejs konkretnej woni.

Tabela 1

Progi zapachu głównych odorantów składowiskowych

Nazwa substancji	Próg zapachu, mg/m <sup>3</sup>
Tetrabutanol	0,00032 [2]
Benzenotiol (tiofenol)	0,0003 [2], 0,0012–0,062 [3]
Propanotiol	0,00025 [2], 0,003 [4]
Sulfid dimetylowy	0,00028 [2], 0,003–1,1 [3], 0,006 [4]
Sulfid dietylowy	0,003–0,25 [3], 0,016 [4]
Etanotiol	0,0005 [2], 0,00004–0,19 [3], 0,002–0,003 [4]
Siarkowodór	0,0007 [2], 0,001–1,1 [3], 0,012–0,027 [4]
Pentylotiol	0,0014 [2]
Metanotiol	0,0024 [2], 0,000002–1,1 [3], 0,002–0,004 [4]
Chlorofenol	0,019–0,18 [3]
Amoniak	1–37 [3], 3,95–4,36 [4]
2-propenotiol (merkaptan alilowy)	0,0002 [2], 0,0003–0,05 [3]
Pentylotiol (merkaptan amylowy)	0,0014 [2]
Benzyliotiol	0,001 [2], 0,001–0,19 [3]
2-butenotiol (merkaptan krotkowy)	0,00011 [2], 0,006–0,029 [3]
Indol	0,00017 [3,4]
Skatol (3-metyloindol)	0,006–1,2 [3], 0,0033 [4]
Kwas etanowy (octowy)	0,6–2,7 [3]
Kwas butanowy (masłowy)	0,001–0,004 [3], 0,016 [4]
Tolilolotiol (tiokrezol)	0,014–0,1 [3]
Metyloamina	0,028 [4]
Trimetyloamina	0,005 [4]

Uciążliwość odorową składowiska minimalizuje się  
stosując pochłaniające warstwy materiałów izolujących.  
Ostatnio stosowane są również bariery antyodorowe  
w postaci preparatów rozpylanych w powietrzu. Ich sku-  
teczność jest jednak dyskusyjna.

## Wybuchowość biogazu

Biogaz z powietrzem mogą tworzyć mieszaninę wybu-  
chową (tab. 2). Do samozapłonu i wybuchu biogazu może  
dojść zwłaszcza na źle uszczelnionych i niedokładnie ubi-  
janych składowiskach. W przypadku podziemnej migracji  
biogazu zagrożenie wybuchem może wystąpić również  
w okolicznych budynkach.

Ze względu na zasięg migracji gazu składowiskowego  
ustala się strefę stałego i strefę okresowego zagrożenia  
wybuchem. Zasięg tych stref powinien być monitorowany.  
Taki monitoring umożliwi również ocenę efektywności  
działań podejmowanych w celu zmniejszenia migracji gazu  
poza teren składowiska oraz może kontrolować pracę sy-  
stemu jego aktywnego odgazowania.

Tabela 2

Właściwości wybuchowe wybranych składników biogazu

Rodzaj gazu	DGW, % obj.	DGW, % obj.	Temperatura samozapłonu, K
Aceton	2,1	13,0	808
Amoniak	15,0	28,0	903
Metan	4,9	15,4	810
Siarkowodór	4,3	45,5	563
Tlenek węgla	12,5	75,0	1078
Wodór	4,0	75,0	833

## Zwiększenie efektu cieplarnianego

Podstawowe składniki biogazu, tj. metan i dwutlenek  
węgla, zalicza się do najważniejszych gazów szklarnio-  
wych<sup>1)</sup>. Zwiększenie ich stężenia w atmosferze może spo-  
wodować pogłębienie się efektu cieplarnianego i zmiany  
klimatyczne na kuli ziemskiej. Wpływ metanu na efekt  
szklarniowy wielokrotnie przewyższa wpływ dwutlenku  
węgla. Spalanie biogazu może stanowić zatem jeden ze  
sposobów ograniczania efektu cieplarnianego.

O zagrożeniu metanem pochodzącym ze składowisk dla  
klimatu ziemskiego świadczy jego znacząca emisja z tych  
źródeł, wynosząca ok. 6% emisji globalnej.

## Migracja podziemna gazu składowiskowego

Przy braku odgazowania składowiska może pojawić się  
niekontrolowana migracja gazu na terenach je otaczających.  
Może to prowadzić do zwiększenia zasięgu zanieczyszczenia  
powietrza i zagrożenia wybuchem, jak również do szkód w  
procesie vegetacji roślin, spowodowanych nadmiernym za-  
kwaszeniem gleby (głównie powodowanym obecnością dwu-  
tlenku węgla i siarkowodoru) oraz wypieraniem z niej tlenu.

Migracja gazu w gruncie jest uzależniona przede wszy-  
stkim od jego porowatości oraz wilgotności i spoistości. Wo-  
da tworzy otoczkę wokół ziaren gruntu, zmniejszając wiel-  
kość przestrzeni porowych. Dodatkowo, w gruntach ıla-  
stych i pylastych, dipolowe cząsteczki wody oddziałują  
elektrostatycznie z cząsteczkami mineralnymi, powodując  
powstanie lub wzmocnienie wiązań międzyziarnowych.  
Wielkość migracji biogazu zależy również od stopnia za-  
gęszczenia składowiska i jego uszczelnienia.

<sup>1)</sup> Poza parą wodną, której obecność w atmosferze jest główną przyczyną  
tego zjawiska – podwyższenie temperatury powierzchni Ziemi spowo-  
dowane istnieniem atmosfery wynosi ok. 30°C, z czego ok. 70% powo-  
duje para wodna i chmury, ok. 20% dwutlenek węgla i ok. 3% metan.

Aby zapobiec migracji gazu lub zmniejszyć jej negatywne skutki stosuje się bariery antymigracyjne w postaci wykładzin z materiałów o małej przepuszczalności (PEHD, bentonaty), środków uszczelniających (cementy, krzemiany sodowe, żywice akrylowe oraz zaczyny itowo-polimerowe) lub też różnego rodzaju przegrody pionowe. Najefektywniej migracji biogazu można zapobiec przez kontrolowane odgazowanie złoża. Rozróżnia się bierne i aktywne systemy odgazowania. Bierne odbywa się pod wpływem własnego ciśnienia gazu, przez tzw. studnie odgazowujące. W przypadku starych składowisk wykonuje się odwierty, do których wprowadza się rurę perforowaną obsypaną żwirem o granulacji 30–50 mm. Przy budowie nowych składowisk studnie odgazowujące wykonuje się z perforowanych kręgów betonowych wypełnionych żwirem. W miarę zwiększania się wysokości złoża odpadów studnie są podwyższane. Takie studnie mogą być łączone siecią z poziomymi, perforowanymi rurami. Inną metodą budowy studni odgazowujących jest umieszczenie orurowania wraz z obryską w rurze metalowej o dużej średnicy (np. 500 mm) i wyciąganie jej ponad powierzchnię składowiska w miarę przybywania odpadów. Ujęty w ten sposób gaz może być odprowadzany do atmosfery lub spalany w palnikach zainstalowanych na wylocie odwiertu.

Odgazowanie aktywne polega na odpompowaniu gazu z odwiertów. Jest to efektywny sposób zapobiegający migracji gazu, pozwalający na jego neutralizację lub utylizację.

## Możliwości, perspektywy i stan zagospodarowania biogazu

Najbardziej efektywnym sposobem wykorzystania biogazu składowiskowego jest jego spalanie w silnikach gazowych i urządzeniach turbinowych w celu produkcji energii elektrycznej (której nadwyżka może być przekazywana do publicznej sieci elektroenergetycznej) z równoczesnym odzyskiem ciepła. W przypadku lokalnego zapotrzebowania na ciepło, może on być spalany w kotłach. Rzadziej stosuje się wprowadzanie biogazu do gazowej sieci miejskiej (po uprzednim uzdatnieniu i wzbogaceniu do gazu wysokometanowego), spalanie w silnikach pojazdów i maszyn czy też jego wykorzystanie w przemyśle chemicznym, np. do produkcji metanolu lub wodoru.

Do wytwarzania energii elektrycznej stosuje się głównie silniki o zapłonie iskrowym oraz turbiny gazowe, ewentualnie parowe. Typowe instalacje mają moc elektryczną od 200 do 4000 kW. W Polsce zastosowanie znalazły silniki gazowe WOLA, wyposażone w prądnice EMIT-Żychlin. Są to silniki napędzające synchroniczne i samowzbudne generatory prądu zmiennego, które mogą pracować w połączeniu z siecią państwową.

Ogółem na świecie wybudowano ponad tysiąc takich instalacji, z czego w Polsce ok. trzydzieści (a dalszych kilkanaście jest w fazie budowy lub projektowania). Stopień wykorzystania potencjału energetycznego polskich składowisk wynosi zaledwie ok. 2%. Na większości z nich

biogaz nadal jest emitowany w sposób niekontrolowany bezpośrednio do atmosfery lub jedynie spalany w pochodniach.

Zgodnie ze scenariuszem rozwoju technologii OZE opracowanym przez Ministerstwo Środowiska (przy założeniu 7,5% udziału OZE w bilansie energii pierwotnej w 2010 r.), docelowa produkcja energii elektrycznej i ciepłej w 2010 r., oparta na zasilaniu gazem składowiskowym, powinna wynosić odpowiednio: 360 GWh/r i 420 TJ/r. Obecnie, wg szacunków EC BREC [5] wielkości te wynoszą: 60 GWh/r i 140 TJ/r.

## Podsumowanie

Składowiska, wobec bardzo ograniczonego rozwoju innych form zagospodarowania odpadów komunalnych, jak również wieloletnich zaniedbań i błędów popełnianych na etapie ich projektowania, budowy i eksploatacji, stały się w Polsce poważnym problemem środowiskowym. Brak krajowych rozwiązań systemowych w gospodarce odpadami, pomimo licznych pozytywnych wzorców u naszych sąsiadów (zwłaszcza w Austrii, która od wielu lat propaguje swoje rozwiązania zapraszając na liczne konferencje i wycieczki szkoleniowe polskich specjalistów i decydentów) jest wynikiem niedostatecznych działań podejmowanych przez nasze organy administracji centralnej i lokalnej. Nie bez winy są też często nieuzasadnione protesty lokalnych społeczności przeciwko np. budowie nowych składowisk czy też spalarni odpadów. Te ostatnie, gdy wzrosną ceny gruntów, a składowanie objęte zostanie wysokimi podatkami (jak w niektórych krajach UE) muszą stać się jedną z form unieszkodliwiania i utylizacji odpadów. Oczywiście pod warunkiem pełnego zabezpieczenia ekologicznego — na co pozwala aktualny stan techniki. W przyszłości składowanie odpadów, zgodnie z dyrektywami UE, dotyczyć powinno wyłącznie neutralnych biologicznie odpadów mineralnych.

Zagrożenia środowiskowe opisane w artykule stanowią — obok potencjalnych korzyści ekonomicznych — istotne przesłanki budowy instalacji odgazowania i utylizacji biogazu. Powinny być zatem uwzględniane w analizach techniczno-ekonomicznych poprzedzających odnośne decyzje administracyjne.

## LITERATURA

- [1] Gaj K. i in.: Składowiska odpadów komunalnych jako źródła emisji zanieczyszczeń powietrza. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 1999, nr 4, s. 337
- [2] EPA — Design Manual, 615/1-85/018, Center for Environmental Research Information, 1985
- [3] Kulig A.: Metody pomiarowo-obliczeniowe w ocenach oddziaływania na środowisko obiektów gospodarki komunalnej. Oficyna Wyd. Polit. Warszawskiej, Warszawa, 2003
- [4] Kośmider J.: Odory. PWN. Warszawa, 2002
- [5] Europejskie Centrum Energii Odnawialnej (EC BREC) <http://www.ibmer.waw.pl/ecbrec/main.html>, październik 2003

