

Andrzej Wieczorek

## Wpływ emisji lotnych związków organicznych na zapach gazów odlotowych z kompostowni odpadów

Rozwój technologiczny, wzrost liczby ludności i jej ciągle zagęszczanie na niewielkich przestrzeniach oraz prawie nie-pohamowany przyrost konsumpcji, doprowadziły w wielu rejonach świata do powstawania olbrzymich ilości odpadów, których przyroda nie jest już w stanie wchłonać. Biomasa, stanowiąca około 40% całej masy odpadów komunalnych [1], stwarza z jednej strony zagrożenie dla środowiska tak chemiczne, jak i mikrobiologiczne [2], a z drugiej strony jest potencjalnym źródłem energii, substancji nawozowych, próchnicy itp.

Jednym z możliwych kierunków zagospodarowania biomasy jest kompostowanie, które prowadzi się w różnych warunkach, w odkrytych przyzmacach i w zamkniętych reaktorach. Przekonano się także, że nie jest to proces łatwy do prowadzenia i bynajmniej bezodpadowy. Kompostowaniu towarzyszy emisja nieprzyjemnych zapachów i stężonych ścieków [2]. Ze względu na powodowanie silnej emisji odorów jako niekompostowalne traktuje się odpady zwierzęce, tłuszcze i fekalia. Olbrzymi problem stanowi także wydzielenie biomasy z ogólnej ilości odpadów, co w zasadzie wymaga ich selektywnej zbiórki już w miejscu powstawania. Osobnym zagadnieniem jest zapewnienie odpowiedniej jakości kompostów (zawartość metali ciężkich, toksyn organicznych), co prawdopodobnie eliminuje tę metodę, jako sposób utylizacji osadów z oczyszczalni ścieków. W ostatnich kilku latach lansuje się kosztowny, ale najbardziej chyba godny polecenia, sposób utylizacji biomasy, polegający na jej obróbce beztlenowej w kierunku pozyskania biogazu i dopiero późniejszym kompostowaniu pozostałości. Umożliwia się w ten sposób odzysk energii zawartej w odpadach i jednocześnie zmniejsza problem odorowy. Według danych niemieckich jest to technologia opłacalna od poziomu przerobu rocznego około 5 tys. ton odpadów.

W niniejszej pracy przedstawiono problem towarzyszącej kompostowaniu emisji lotnych związków organicznych, a szczególnie odorów.

### Emisja lotnych związków organicznych i odorów

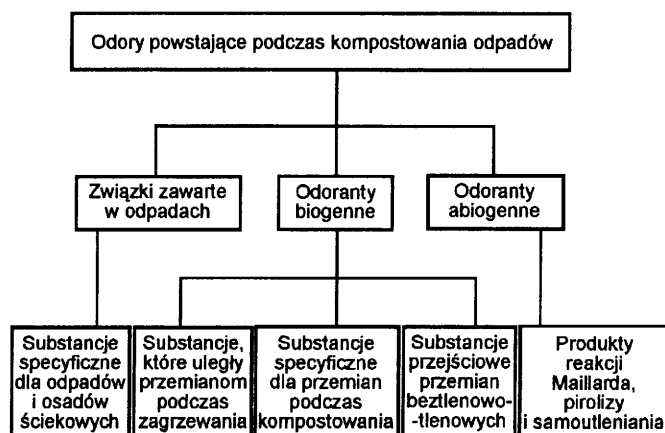
W trakcie kompostowania będącego złożonym, tlenowym procesem mineralizacji i humifikacji materii organicznej, w wyniku zachodzących przemian następuje okresowe, stosunkowo silne (do 60 °C, skrajnie do 80 °C) zagrzenie wsadu, czemu towarzyszy intensywna emisja produktów niepełnego utlenienia biomasy i reakcji wtórnych. Przebieg zmian temperatury i kwasowości kompostowanego złoża stał się podstawą do wyodrębnienia czterech faz tego procesu [2]:

- mezofilnej,
- termofilnej,
- ochładzania i przebudowy,
- dojrzewania.

Przejsie od jednego do drugiego etapu powiązane jest ze znacznymi zmianami składu emitowanych gazów. Z praktycznego punktu widzenia ilości gazów emitowanych podczas kompostowania będą ponadto zależne od stopnia hermetyzacji i automatyzacji procesu, jakości dostarczanego surowca, organizacji pracy zakładu i innych czynników, uwarunkowanych w znacznym stopniu przez ogólny poziom kultury technicznej. Wiele z substancji gazowych i ciekłych powstających podczas kompostowania, ze względu na silny, a często i nieprzyjemny zapach, zaliczana jest do grupy związków aktywnych zapachowo – tzw. odorantów. Można wyróżnić następujące stadia procesu technologicznego i/lub strumienie gazów odlotowych, nierozłącznie powiązane lub tożsame z intensywną emisją gazów [3]:

- przemieszczanie wsadu (biomasy), który rozpoczął samoczynne kompostowanie – często w warunkach beztlenowych; odgazy z fazy głównej kompostowania,
- przeładowywanie, składowanie, nawilżanie już aktywnego biologicznie materiału,
- emisja powierzchniowa ze świeżo przerobionych przyzmacach,
- odgazy z napowietrzanych przyzmacach w okresie dojrzewania,
- emisja powierzchniowa z długo leżących przyzmacach kompostowania głównego i okresu dojrzewania,
- transport nie w pełni dojrzałego kompostu.

Emitowane podczas kompostowania odory można – ze względu na źródło pochodzenia – sklasyfikować w sposób przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Klasyfikacja odorów ze względu na źródło pochodzenia [3]

Ogólne wrażenie węchowe – zapach kompostowni – wywołane jest przez szereg odorantów występujących w mieszaninie. Jej pojedyncze aktywne zapachowo składniki występują w różnych stężeniach, na różnych stadiach procesu, mogą okresowo pojawiać się i znikać. Jako pierwsze emitowane są odory z biomasy kierowanej do kompostowania, a zapach unoszący się z bunkra magazynowego jest charakterystyczny dla odpadów komunalnych. W pierwszej fazie kompostowania ulatniają się zapachy lotne na zimno, gnilne i będące efektem przemian beztlenowo-tlenowych. W następującej potem fazie termofilnej następuje szybki rozkład materii organicznej, w tym związków złoonych, aż do wody i dwutlenku węgla, i jeżeli dostarczane jest wtedy zbyt mało tlenu to powstają znowu silnie pachnące, pośrednie produkty przemian. Po zakończeniu kompostowania natężenie emisji odorów maleje prawie całkowicie. Wyemitowane w trakcie biegu procesu odory stają się uciążliwe dla okolicznych mieszkańców. Należy tu ponadto podkreślić, iż doświadczenie ukazuje, że również zapachy obojętne, a nawet w innych okolicznościach zaliczane do przyjemnych, mogą nie być akceptowane przez otoczenie.

W trakcie dotychczas przeprowadzonych badań zidentyfikowano w gazach odlotowych z kompostowni znaczną liczbę substancji. Wielu autorów donosi w swoich pracach o 458 substancjach zidentyfikowanych [4] podczas kompostowania odpadów domowych, z której to ogólnej liczby około 100 stanowiły związki aktywne zapachowo. Z dostępnych informacji wynika jednakże, że związki te prawdopodobnie zostały zidentyfikowane nie w odgazach, a w ekstraktach substratu. Do jednej z pierwszych publikacji poświęconych emisji odorów podczas kompostowania należy praca [5], w której omówiono główne komponenty gazów odlotowych z kompostowni, identyfikując 32 substancje. Jako reprezentatywne dla emitowanego zapachu wymienia się następujące związki, których stężenia wahały się w granicach 0+6 ppm w przeliczeniu na metan [5]:

- kwasy tłuszczowe: propionowy, masłowy, walerianowy,
- alkohole: amyłowy,
- aldehydy i ketony: 3-hydroksy-2-butanon (acetoina), 2,3-butanodion (biacetyl), aldehyd krotonowy, aldehyd walerianowy, aldehyd masłowy, aceton,
- związki azotu: pirydyna,
- związki siarki: metanotiol (merkaptan metylowy), butanotiol, sulfid dietylowy,
- nieorganiczne: amoniak, siarkowodór.

Wyniki badań emisji substancji lotnych podczas kompostowania zawiera również praca [6], w której oznaczono składniki gazów z kompostowni zakładów recyklingu w Dußlingen (okręg Tybinga, Niemcy) w normalnych warunkach pracy oraz po dodaniu materiałów strukturujących kompostowany wsad (tab.1).

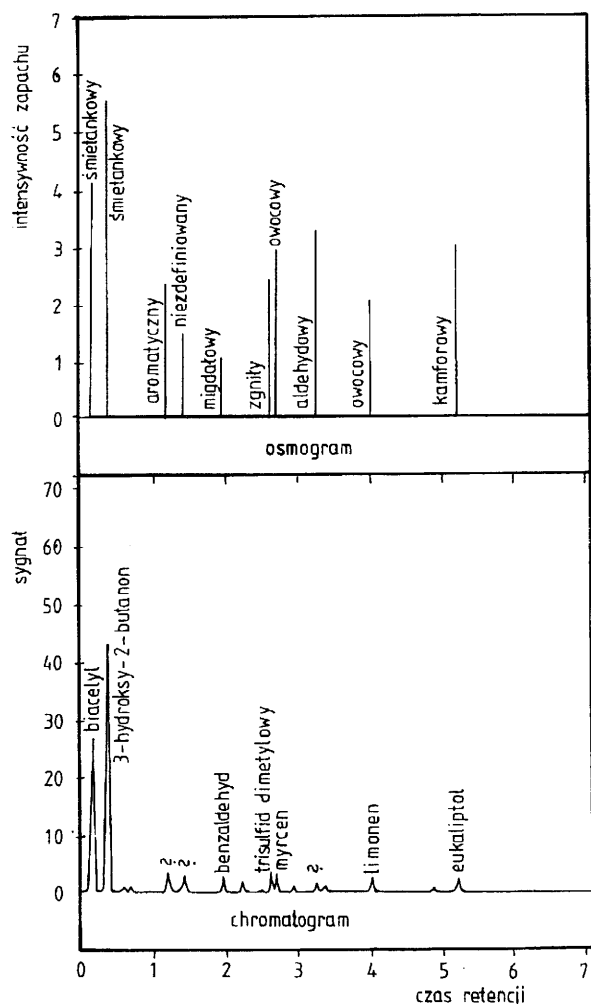
W celu wyselekcjonowania związków aktywnych zapachowo, mających istotny wpływ na zapach gazów odlotowych, stosuje się technikę badawczą będącą połączeniem chromatografii gazowej i olfaktometrii. Strumień gazu wychodzący z kolumny dzielony jest na kierowany do detektora i płynący do maski do wachania (*sniffing-port*). W ten sposób możliwe jest określenie niektórych cech zapachu charakterystycznego dla związku rejestrowanego w danej chwili przez detektor. W efekcie można typowy chromatogram połączyć z tak zwanym osmogramem, na którym wysokość piku węchowego odpowiada intensywności wrażenia węchowego, a rodzaj zapachu podawany jest obok w formie opisowej (rys.2).

Tabela 1. Związki zidentyfikowane w odgazach z zakładów w Dußlingen [6]

Nazwa związku	
<b>Węglowodory</b>	O-metyloacetofenon
Dekane	Propiofenon
Undekane	3-Hydroksy-2-butanon
Dodekane	<b>Alkohole</b>
Tridekane	1-Pentanol
Tetradekane	1-Heksanol
Toluen	3-Heksen-1-ol
Styren	1-Heptanol
O-cymol	2-Heptanol
Trimetylobenzen	3-Heptanol
Dimetylobenzen	1-Oktanol
Tetrametylobenzen	2-Oktanol
Naftalen	3-Oktanol
1-Metylonaftalen	2-Nonanol
<b>Węglowodory chlorowane</b>	$\alpha$ -Terpineol
1,4-Dichlorobenzen	Linalol
<b>Terpeny</b>	2-Fenylotanol
$\alpha$ -Pinen	2-Butoksyetanol
Limonen	<b>Związki bicykliczne</b>
Myrcen	Kamfora
$\alpha$ -Terpinen	Fenchon
$\gamma$ -Terpinen	Eukaliptol
<b>Aldehydy i ketony</b>	Bomeol
Heptanal	<b>Związki azotu:</b>
Oktanal	Pirydyna
Nonanal	2-Metylopirydyna
Benzaldehyd	2-Etylopirydyna
Aldehyd salicylowy	3-Etylopirydyna
2-Heptanon	2,6-Dimetylo-pirydyna
3-Heptanon	Pirazyne
4-Heptanon	Metylopirazyne
2-Oktanon	2,5-Dimetylo-pirazyne
4-Oktanon	Etylopirazyne
3-Metylo-4-heptanon	Trimetylopirazyne
6-Metylo-2-heptanon	Tetrametylopirazyne
6-Metylo-5-hepten-2-on	<b>Związki tlenu</b>
2-Nonanon	Aldehyd 2-furylowy (furfural)
3-Nonanon	Aldehyd 5-metylo-2-furylowy
2-Dekanon	1-(2-Furylo)etanon
3-Dekanon	<b>Związki siarki</b>
2-Unedekanon	Disulfid dimetylowy
3-Unedekanon	Trisulfid dimetylowy
2,2,6-Trimetylo-cykloheksanon	<b>Kwasy karboksylowe</b>
Trans 2-metylo-5-izopropyl- -3-cykloheksanon	Kwas masłowy
Acetofenon	Kwas walerianowy

Umożliwia to identyfikację związków odpowiedzialnych za zapach całej mieszaniny substancji, szczególnie jeżeli zbadany zostanie wpływ rozcieńczenia próbki na zmiany intensywności i rodzaju zapachu poszczególnych indywidualów. Oczywiście możliwe są sytuacje, kiedy nie udaje się zidentyfikować związku powodującego dany zapach i tak jest bardzo często. Możliwość identyfikacji metodami instrumentalnymi lub choćby tylko rejestracji sygnału detektora i jednocześnie brak zapachu wyklucza automatycznie dany związek (niekoniecznie zidentyfikowany) z grona limitujących wrażenie węchowe. Z drugiej strony, zapach związku może ułatwić proces jego identyfikacji. Na tej drodze zidentyfikowano HDMF (4,5-dimetylo-3-hydroksy-2(5H)-furanon, jeden z dwu związków, określających zapach podczas kompostowania w wysokich temperaturach [6].

Poniżej pokazany zostanie skrótowo proces identyfikacji związków limitujących odrór jednego ze strumieni gazów odlotowych z kompostowni. W poddanym analizie odgazie stwierdzono 27 związków wywołujących wrażenie węchowe, z czego zidentyfikowano 7: biacetyl, acetoinę, benzaldehyd, trisulfid dimetylowy, myrcen, limonen i eukaliptol.



Fys. 2. Chromatogram skojarzony z osmogramem (przedstawione relacje nie mają ścisłego, realnego odniesienia)

Po 50-krotnym rozcieńczeniu rejestrowano nadal trzy sygnały węchowe: biacetylu, limonenu i substancji nieznannej. Po zmianie warunków kompostowania (dodaniu materiału strukturującego) nastąpiła istotna zmiana składu gazów. Na 13 zidentyfikowanych odorantów (29 sygnałów węchowych) tylko 4 zidentyfikowano wcześniej: myrcen, limonen i trisulfid dimetylowy oraz 2-metyloizoborneol, co do występowania którego poprzednio nie było pewności. Nowo zidentyfikowane (jako odoranty) substancje to: kwas izowalerianowy, 1-okten-3-ol, aldehyd salicylowy, 2-nonanon, 2-izopropyl-3-metoksypirazyne, 2-fenylloetanol, o-metyloacetofenon, 2-izobutylo-3-metoksypirazyne, trichloroanizole. Niejako przy okazji potwierdzono w ten sposób istotny wpływ warunków kompostowania (dodatek materiału strukturującego ułatwia natlenienie złoża) na skład emitowanych gazów. W przeprowadzonych trzech próbach, na 46 związków wywołujących wrażenia węchowe, udało się zidentyfikować 16 (tab.2) [6]. Na bazie prac [6,7] można sądzić, że w odgazach z kompostowni stwierdzono występowanie 31 odorantów, a dla 26 z nich określone zostały zakresy stężeń występowania w gazach odlotowych. Stanowiło to ponad 1/3 z ogólnej liczby 81 związków, których występowanie zaobserwowano w gazach odlotowych z kompostowni w Dußlingen (tab.1).

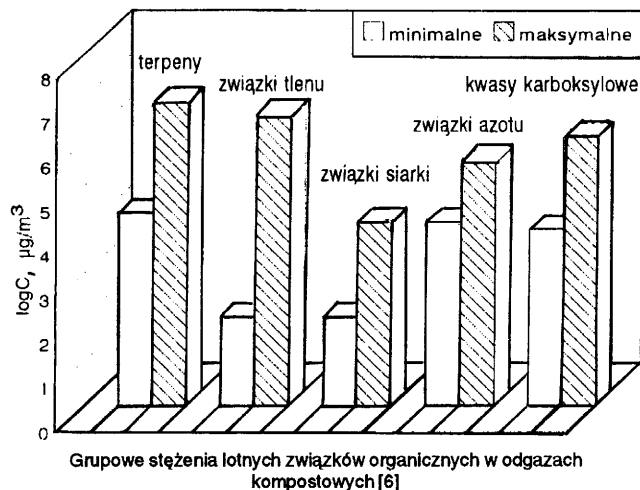
Z punktu widzenia ochrony środowiska istotny jest nie tylko rodzaj emitowanego związku, ale także jego stężenie w gazie odlotowym oraz wielkość emisji. Ta ostatnia daje

Tabela 2. Zestawienie odorantów zidentyfikowanych w jednej z serii pomiarowych [6]

Odorant	Zapach	Próg wyczuwalności
2,4,6-Trichloroanizol	stęchły, mullisty	0,00005 mg/m <sup>3</sup> *
2-Izobutylo-3-metoksypirazyne	ostry (papryka)	0,002mg/m <sup>3</sup> *
2-Metyloizoborneol	grzybowy, mullisty	0,05-0,1mg/m <sup>3</sup> *
Trisulfid dimetylowy	zgnity	0,01+14mg/m <sup>3</sup> *
Myrcen	owocowy	46 mg/m <sup>3</sup> *
2-Nonanon	aromatyczny	80 mg/m <sup>3</sup> *
Limonen	owocowy	230 mg/m <sup>3</sup> *
6-Metylo-5-hepten-2-on	owocowy	850 mg/m <sup>3</sup> *
2-Fenylloetanol	kwiatowy, mydlasty	86-7500 mg/m <sup>3</sup> *
Kwas izowalerianowy	serowy, potu	0,0018 ppm
1-okten-3-ol	grzybowy	0,01 ppm
Acetofenon	kwiatowy, mydlasty	1,9+600 ppb
2-oktanon	aromatyczny	100 ppm
Aldehyd salicylowy	mydlasty	nieznany
2-izopropyl-3-metoksypirazyne	ostry, ziołowy	nieznany
O-metyloacetofenon	aromatyczny	nieznany

\* - w wodzie

się łatwo wyliczyć, o ile znane są stężenia i wielkość strumienia gazu. W pobranych próbkach stężenia poszczególnych zanieczyszczeń wahały się w granicach od 0,1 do około 3600 µg/m<sup>3</sup>, co korelowało dobrze z rezultatami osiągniętymi dużo wcześniej i dla innej kompostowni. Głównym (masowo) składnikiem zapachowym odgazów były terpeny, a szczególnie limonen i myrcen (8+3590 µg/m<sup>3</sup>). Najniższe stężenia zanotowano dla pochodnych pirazyne, około 0,1 µg/m<sup>3</sup>. Dane te są o tyle ważne, że dotyczą odgazów z kompostowni pracującej wg systemu DANO, stosowanego w Polsce. Na rysunku 3 przedstawiono maksymalne i minimalne stężenia dla wybranych grup związków [6].



Wykonane dla tych samych strumieni gazów pomiary olfaktometryczne wykazały stężenia odorów w zakresie 125+1350 JZ/m<sup>3</sup> (JZ – jednostka zapachowa, inna nazwa JO – jednostka odoru). Jak na gazy odlotowe z kompostowni były to stężenia niskie, co może świadczyć o rozcieńczeniu gazów powodowanym zwiększonym, w stosunku do innych instalacji, wentylowaniem przyzmy [2,8]. Fakt ten potwierdzają wyniki pomiarów stężeń odorów w odgazach kompostowych, jak i instrumentalne pomiary stężeń poszczególnych związków [2].

Wielu autorów badań donosi o stężeniach odorów sięgających 100 tys. JZ/m<sup>3</sup>, przy czym w badaniach kompostowania biomasy w warunkach laboratoryjnych uzyskano w pomiarach olfaktometrycznych następujące wartości: 6000+25000 JZ/m<sup>3</sup> dla fazy wstępnej, 1000+9000 JZ/m<sup>3</sup> dla typowej fazy termofilnej i 150+3000 JZ/m<sup>3</sup> dla fazy ochładzania [3]. Maksymalne zmierzone stężenie limonenu wynosiło około 2500 mg/m<sup>3</sup>, a siarczaniu dimetylu 38,5 mg/m<sup>3</sup> (jedynie te związki występowały na wszystkich etapach kompostowania w stężeniach wyższych od progu wyczuwalności węchowej i stąd mogą być traktowane jako charakterystyczne odoranty).

Współczynnik korelacji dla zależności liczby jednostek odoru od stężenia limonenu wahał się w granicach 0,74+0,81, a siarczaniu dimetylu 0,56+0,97. Najwyższe stężenie zmierzono natomiast dla octanu metylu, tj. 10474 mg/m<sup>3</sup>. Tego rzędu musi też być łączne stężenie odorantów w gazie odlotowym, jeśli stężenie odorów sięga 100 tys. JZ/m<sup>3</sup>, albowiem kiedy próg wyczuwalności węchowej dla najsilniejszych odorantów oscyluje około 1 µg/m<sup>3</sup>, to wiele rozpuszczonych związków tej grupy jest wyczuwalne węchem dopiero w ilościach rzędu mg/m<sup>3</sup>. Przykładem może być butanol, stanowiący swoisty wzorec zapachu, charakteryzujący się stężeniem progowym wynoszącym około 2 mg/m<sup>3</sup> (podobnie jak np. benzen) [9]. Progi wyczuwalności węchowej niektórych związków siarki zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Progi wyczuwalności związków siarki w powietrzu [4,10]

Związek	Zapach	Próg wyczuwalności
Siarkowódór	zgniły–jąłowy	1 ppb
Metanotiol	siarczkowy–kłujący	4+8,2 µg/m <sup>3</sup> ; 2 ppb
Sulfid dimetylowy	siarczkowy–roślinny	2,5+5,2 µg/m <sup>3</sup> ; 1 ppb
Disulfid dimetylowy	nieprzyjemny	0,1+350 µg/m <sup>3</sup> ; 12 ppb
Trisulfid dimetylowy	zbutwiały	6 µg/m <sup>3</sup> ; 0,01 ppb

Interesującym zagadnieniem jest, czy istnieje korelacja pomiędzy stężeniem odgazów wyrażonym liczbą jednostek zapachowych a sumarycznym stężeniem związków organicznych w mieszaninie gazowej, które może być określone poprzez podanie stężenia ogólnego węgla organicznego. Badania [6] wykazały, że korelacja taka jest dobra ( $k=0,95$ ) dla wysokich stężeń odorów ( $>3000$  JZ/m<sup>3</sup>), gorsza ( $k=0,71$  po odrzuceniu wyraźnie odbiegającego punktu) dla stężeń w zakresie 100+3000 JZ/m<sup>3</sup> i praktycznie nie istnieje dla stężeń imisyjnych (niższych niż 100 JZ/m<sup>3</sup>). Przyczyną tego zjawiska może być, z jednej strony, zmniejszanie się liczby substancji wnoszących swój wkład do ogólnego wrażenia węchowego (zejście poniżej stężenia wyczuwalności węchowej), a z drugiej strony zmiana charakteru zapachu poszczególnych składników przy rozcieńczeniu gazu.

Podobne jakościowo rezultaty badań korelacji liczby jednostek zapachowych i stężenia węgla całkowitego uzyskano również w pracy [11]. Uzyskane korelacje były znacznie gorsze, tak że w wypadku stężeń poniżej 2000 JZ/m<sup>3</sup> można mówić o całkowitym braku korelacji. Brak korelacji był również wyraźnie zauważalny przy porównaniu skuteczności biofiltracji określonej olfaktometrycznie i instrumentalnie – poprzez badanie zawartości OWO. Gdy tzw. skuteczność olfaktometryczna wynosiła zwykle około 85%, to skuteczność instrumentalna wahała się w zakresie 13+63%.

Innym zagadnieniem jest bardzo prawdopodobny fakt zachodzenia synergizmu oddziaływania węchowego różnych pochodnych pirydyny i pirazyny [6]. Związki te były zidentyfikowane analitycznie, zapach całej próbki był charakterystyczny dla związków tej grupy, a pojedynczo w technice *sniffing-port* były one węchowo niewykrywalne. Fakt ten potwierdzony został również na roztworach standardowych.

W trakcie omawianych wyżej badań, oprócz związków wymienionych w tabelach 1 i 2, zidentyfikowane zostały jeszcze następujące substancje zawierające azot w cząsteczce: – 3-metylopirydyna,  
– 4-metylopirydyna,  
– 2,4-dimetylopirydyna,  
– 2-propylopirydyna,  
– 3-propylopirydyna,  
– 2,3-dimetylopirazyna.

### Wpływ temperatury i pH na bieg kompostowania

Już w początkowym okresie rozwoju kompostowania na skalę przemysłową zauważono, że szczególnie nieprzyjemny zapach gazów odlotowych pojawia się wówczas, gdy temperatura procesu przekracza 60 °C. Pojawiający się wtedy odór zyskał nawet obrazową nazwę „zapachu kompostowania gorącego”. Z powodów technologicznych temperatura 60 °C nie powinna być przekraczana (co często ma jednak miejsce), albowiem prowadzi to do zahamowania procesu skutkiem obumarcia mikroorganizmów termofilnych (bez wytworzenia form przetrwalnikowych), odpowiedzialnych za rozkład biomasy w zakresie 50+60 °C. Po ponownym spadku temperatury rozpoczynają swoją aktywność mikroorganizmy mezofilne, które w obszarze bliskim 60 °C występują w masie kompostowanej wyłącznie w formach zarodnikowych [6].

Jednakże dalsze badania wykazały, że oprócz temperatury, również pH ma istotny wpływ na rodzaj zapachu odgazów kompostowych w fazie gorącej. Typowy zapach kompostowania gorącego pojawia się przy  $pH \leq 7$ , natomiast nie ma to miejsca przy pH już tylko nieznacznie przekraczającym 7. Wynika stąd, że poprzez niewielką tylko ingerencję w naturalny przebieg zmian pH i kontrolę temperatury podczas kompostowania [2] można znacznie ograniczyć uciążliwość zapachową tego procesu. Potwierdzone to zostało w badaniach [7]. Dodatek mielonego kamienia wapiennego w ilości 4% pozwalał podnieść pH z 6 do 7, co w efekcie spowodowało zmniejszenie emisji lotnych związków organicznych w takim stopniu, jak obniżenie temperatury z 80 do 60 °C. W gazach odlotowych spadła zawartość kwasów karboksylowych i zasad azotowych, tj. pirydyny, pirazyny i ich pochodnych. Jednakże ingerencja w naturalny bieg zmian pH [2,10], ze względu na wrażliwość przemian biochemicznych i mikrobiologicznych na ten parametr, może być jedynie niewielka. Stoi to w wyraźnej sprzeczności z dosyć szeroko upowszechnionym w kraju mniemaniem o konieczności dodawania dużych, nawet kilkudziesięcioprocentowych [12], ilości wapna w stosunku do wsadu kompostowego. Nie usprawiedliwia tego również konieczność sterylizacji biomasy, albowiem w świetle współczesnych badań [13] zachodzi ona również dobrze podczas kompostowania bez ingerencji w pH. Duży dodatek wapna powoduje natomiast kilkakrotne wydłużenie procesu, z kilkunastu tygodni do dwu lat. Ponadto jest wątpliwe, czy zachodzące w takich warunkach przemiany można jeszcze nazywać kompostowaniem.

Można mieć pewne obawy co do stopnia sterylizacji kompostu z fitosanitarnego punktu widzenia. Odporność na temperaturę wielu wirusów wywołujących choroby roślin jest znaczna. Wirusy te wytrzymują temperatury 90+92 °C, a w suchych liściach nawet 150 °C. Również niektóre grzyby wytwarzają spory bardzo odporne na warunki glebowe oraz temperatury występujące podczas kompostowania, np. spory raka ziemniaka mogą przeżyć w glebie nawet 18 lat [13].

## Podsumowanie

Utylizacja odpadów jest koniecznością dla współczesnych społeczeństw, coraz bardziej odczuwalną i znajdującą praktyczny wyraz również w naszym kraju. Kompostowanie z pewnością zalicza się do tych metod, lecz należy z całym naciskiem podkreślić, że nie jest to proces całkowicie bezodpadowy. Jego rozwój nie jest może w Polsce gwałtowny, ale jest zauważalny. Planując budowę kompostowni nowej lub rozbudowę starej nie można pominąć zagadnień ograniczenia emisji związków chemicznych tak do powietrza, wód i gleby, jak i emisji mikrobiologicznej [14]. Wydaje się, że ze społecznego punktu widzenia ograniczenie emisji odorów podczas kompostowania jest zagadnieniem bardzo ważnym, albowiem emisja ta jest łatwo zauważalna i może zadecydować o zaakceptowaniu (lub nie) tej pożytecznej metody przez ludność. Jest to tym ważniejsze, że emisja odorów z krajowych kompostowni była już niejednokrotnie przedmiotem skarg kierowanych do lokalnych służb ochrony środowiska i prasy.

*Praca została wykonana w ramach projektu badawczego nr 108/E/BW/96, sfinansowanego przez KBN.*

*Autor składa serdeczne podziękowania Pani Dipl.-Ing. Brigitte Bartsch z Uniwersytetu w Kassel, Oddział Gospodarki Odpadami i Recyklingu w Witzenhausen, za udostępnienie niektórych pozycji literaturowych wykorzystanych w tej pracy.*

## LITERATURA

1. A. WIECZOREK: Composting of organic waste in Poland. Proc. conf. "Biotechnology in environmental protection", Świnoujście 1994, pp. 119–126.
2. A. WIECZOREK: Uciążliwości kompostowania. Mat. conf. „Problemy ochrony powietrza w aglomeracjach miejsko-przemysłowych,” Ustronie Morskie 1996.
3. K. KUCHTA, J. JAGER: Geruchsproblematik: Analytik, Behandlung und Erfolgskontrolle. BFMT-Statusseminars „Neue Techniken zur Kompostierung”, Hamburg 1993, S. 87–100.
4. J. JAGER: Zur chemischen Ökologie der biologischen Abfallbeseitigung. Praca doktorska, Universität Heidelberg, Naturwissenschaftliche Fak., Heidelberg 1979.
5. C. BONINSEGGNI: Analyse von Gerüchen bei der Kehrriech-Kompostierung. Praca doktorska, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich 1974.
6. J. MAYER: Geruchstoffe bei der Heirotte von Hausmüll. Praca doktorska, Eberhard-Karls-Universität, Tübingen 1990.
7. P. KRAUB P., T. KRAUB T., J. MAYER, T. WALLENHORST: Untersuchung zur Entstehung und Verminderung von Gerüchen bei der Kompostierung. Staub-Reinhaltung der Luft, 1992, 52, S. 245–250.
8. J. JAGER, K. KUCHTA: Geruchsemissionen von Kompostwerken. Abfall-Wirtschaft 9, Universität Kassel, M.I.C. Baeza-Verlag Witzenhausen 1992, S. 99–121.
9. J. KOŚMIDER: Sensoryczne metody oceny zapachowej jakości powietrza i skuteczności dezodoryzacji. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 422, Szczecin 1991.
10. H. PÖHLE: Geruchsstoffemissionen bei der Kompostierung von Bioabfall. Praca doktorska, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig, Leipzig 1994.
11. B. BARTSCH, K. WIEMER: Rationalisierung der Methodik zur Identifikation von Geruchsstoffen bei der biologischen Abfallbehandlung. Bio- und Restabfallbehandlung, Universität Kassel, M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen 1997, S. 345–376.
12. J. SIUTA, G. WASIAK: Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost – cz. V. Ekologia i Technika, 1994, 7, 1, ss. 20–21.
13. D. STRAUCH, S. GIE, W. PHILIPP: Hygienische Aspekte der Eigenkompostierung. Abfall-Wirtschaft, Verwertung biologischer Abfälle, Universität Kassel, M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen 1994, S. 351–376.
14. A. WIECZOREK: Emisje towarzyszące kompostowaniu. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 1998, nr 2 (w druku).

## On the Contribution of VOC Emissions to the Malodour of Flue Gases from a Waste-Composting Plant

*Emissions of malodorous compounds during composting of spent biomass are a serious environmental nuisance. The composition of the flue gases produced in the course of the process was related to temperature and pH. On the basis of literature data, it was possible to identify about 100 species carried by the flue gas stream. The concentration range for the emitted odori-*

*ferous compounds was defined in terms of odour units (up to 100,000 OU/m<sup>3</sup>). For some of the compounds, mass concentrations (up to 10,000 mg/m<sup>3</sup>) were determined. The specific features of the odours concomitant with some of the emitted compounds were listed. Limonene and dimethyl sulfide were classified as characteristic odorants.*