
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 10

ISSN 1899-3230

Rok V

Warszawa–Opole 2012

Wpływ mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów na procesy zachodzące na składowiskach odpadów – doświadczenia w Austrii

Słowa kluczowe: MBP, uwarunkowania składowiskowe, tworzenie się gazu w teście inkubacyjnym, jakość odcieków.

W Austrii od późnych lat osiemdziesiątych przetwarza się odpady w sposób mechaniczno-biologiczny (MBA). Obecnie (2012 r.) w 19 instalacjach przetwarza się rocznie ok. 555 000 t odpadów resztkowych i osadów ściekowych. Na frakcję przeznaczoną do składowania przypada ok. 170 000 t na rok. Będące do dyspozycji dane praktyczne pokazują, że poprzez zastosowanie mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów, wymaganą objętość przeznaczoną do deponowania odpadów na składowisku można zredukować o 35% (w przypadku składowania frakcji palnej) oraz o 75% (w przypadku spalania frakcji palnej).

Ilość odcieków ze składowisk, gdy zastosujemy mechaniczno-biologiczne przetwarzanie, ulegnie wyraźnemu zmniejszeniu. Również ich jakość będzie istotnie lepsza. Wartości CHzT i BZT₅ zostaną zredukowane o ponad 90%. Emisja metali ciężkich będzie wyraźnie ograniczona. W porównaniu do składowisk, na których są deponowane odpady nieprzetworzone, redukcji ulegną wartości stężeń amonu, jednakże nastąpi to dopiero po pewnym czasie składowania odpadów przetworzonych.

Tworzenie się gazu, po odpowiednim czasie przetwarzania odpadów, zostanie zredukowane o 90–95%.

Odnosnie do określenia oddziaływania MBA na właściwości geotechniczne do dyspozycji jest na razie za mało danych. Ze względu na małe uziarnienie (największe ziarna 25 do 50 mm) uzyskuje się małą przepuszczalność oraz zmniejszenie przenoszenia napięć rozciągających. Jeśli chodzi o stabilność (niski kąt tarcia) i warunki układania warstwy odpadów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu podczas opadów atmosferycznych (warunki jezdne i zagęszczanie), należy się liczyć z negatywnymi skutkami, które muszą być kompensowane poprzez zaadaptowanie odpowiedniej techniki składowania.

* Mgr inż., Universität für Bodenkultur, Wien, Institut für Abfallwirtschaft.

1. Sytuacja prawna w Austrii

Przy bezpośrednim składowaniu odpadów komunalnych wskutek beztlenowych biologicznych procesów powstaje gaz wysypiskowy oraz odcieki. Ponad 90% przetworzonego węgla organicznego ulatnia się w postaci CO_2 oraz CH_4 , pozostała część pozostaje w odciekach. Metan ze składowisk odpadów znajduje się na trzecim miejscu antropogenicznych emisji w świecie, zaraz po uprawie ryżu oraz produkcji mięsa (przeżuwacze). Działa on do 35 razy silniej na efekt cieplarniany niż CO_2 .

Zgodnie z ustawą o gospodarce odpadami z 1.01.1997 r. [3] weszło w Austrii w życie rozporządzenie o składowiskach odpadów [4], które ma na celu zminimalizowanie wpływu odpadów na środowisko. Zawarte w nim postanowienia dotyczyły zarówno składowisk, które miały dopiero powstać, jak i tych już istniejących. Dla starszych wysypisk wprowadzono postanowienia przejściowe, według których wysypiska te do 2004 r. musiały stopniowo być dostosowywane do aktualnych standardów technicznych. W roku 2008 rozporządzenie o składowiskach odpadów zostało całkowicie zmienione [5]. Podstawowe przepisy dotyczących składowisk odpadów masowych zostały utrzymane; względem odpadów z mechaniczno-biologicznego przetwarzania (MBA) ustanowiono wartości graniczne dla oceny reaktywności (aktywności oddechowej AT4) oraz potencjału tworzenia się gazu (GS21 lub GB21), które zostały przejęte z dyrektywy MBA z 2001 r.

Rozporządzenie wydane w 1996 r. o składowiskach odpadów miało między innymi na celu znacznie obniżenie ilości substancji organicznych względnie węgla organicznego kierowanych na składowiska. Dlatego dla składowisk odpadów masowych, zmierzona zawartość substancji organicznych, przedstawiona jako TOC (całkowity węgiel organiczny), została ograniczona do 5% s.m. Wartość graniczna TOC jest także uznawana za dotrzymaną przy stratach prażenia $\leq 8\%$.

Ustawodawca stworzył również możliwość składania odpadów po mechaniczno-biologicznej przeróbce na wydzielonej części składowisk odpadów masowych, jeśli ciepło spalania (H_o) wynosi nie więcej niż 6600 kJ/kg s.m., a pozostałe wartości graniczne są dotrzymane (tab. 9 i 10, zał. 1 rozporządzenia o składowiskach odpadów – tab. 2.), nawet jeśli wartość TOC jest przekroczona (wyjątki par. 7, ustęp 7, lit. f). Poprzez ograniczenie ciepła spalania ma się zapobiegać składowaniu części odpadów posiadających własności palne oraz polepszyć uwarunkowania emisyjne składowisk. W rozporządzeniu o składowiskach odpadów z 2008 r. zostały przejęte dodatkowe parametry o reaktywności z dyrektywy MBA z 2002 r.

W latach 1996 i 1997 Ministerstwo Środowiska, Młodzieży oraz Rodziny (BMUJF) zleciło przeprowadzenie wielu badań dotyczących mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Wyniki tych badań zostały uwzględnione

w dyrektywie MBA z 2002 r. Najistotniejsze wymagania tej dyrektywy dotyczą następujących zagadnień:

– Wartości graniczne dla parametrów reaktywności

Wartości graniczne dla AT4 zostały ustalone na 7 mg O₂/g s.m. Tworzenie się gazu musi wynosić mniej niż 20 NI/kg s.m.

– Prowadzenie intensywnego kompostowania w instalacjach zamkniętych z odprowadzaniem zużytego powietrza oraz jego oczyszczeniem

Warunkiem dojrzewania w otwartych przyzmacz było co najmniej czterotygodniowe intensywne kompostowanie w zamkniętej instalacji oraz nieprzekroczenie wartości AT4 wynoszącej 20 mg O₂/g s.m.

– Wartości graniczne powietrza wyprowadzanego z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów

Zdefiniowane zostały wartości graniczne dla zapachu (< 500 ou_E), pyłu (< 10 mg/m³), amoniaku (< 20 mg/m³), tlenków azotu (średnia wartość godzinowa = HMW < 150 mg/m³ względnie średnia wartość dzienna = TMW < 100 mg/m³) oraz dla węgla organicznego (średnia wartość godzinowa HMW < 40 mg/m³, średnia wartość dzienna TMW < 20 mg/m³ oraz całkowity ładunek < 100 g/t odpadów).

W oparciu o te, na razie nieobowiązujące, dyrektywy, mają zostać zebrane w ciągu najbliższych kilku lat kolejne doświadczenia. Są one przekazywane do obecnie opracowywanego przez Ministerstwo Rolnictwa, Środowiska oraz Gospodarki Wodnej rozporządzenia o mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu (projekt ma być gotowy pod koniec 2012 r. lub na początku 2013 r.).

Tabela 1

Wartości graniczne dla zawartości substancji szkodliwych (zawartość całkowita) dla składowisk odpadów masowych (austriackie rozporządzenie o składowiskach odpadów z 2008 r., załącznik 1, tabela 9) oraz wyniki analiz 8 próbek po różnych sposobach przetworzenia (4 instalacje)

Parametr	Wartości graniczne zgodnie z rozporządzeniem o składowiskach odpadów dla mechaniczno-biologicznie przetwarzanych odpadów [mg/kg s.m.]	Mechaniczno-biologicznie przetwarzane odpady [mg/kg s.m.]
Całkowite wartości		
Ciepło spalania [kJ/kg s.m.]	6 600	od 6 000 do 14 000
Aktywność oddechowa [mg O ₂ /g s.m.]	7	od 1 do 15 (50 próbek)
Sumaryczna ilość gazu [NI/kg s.m.]	20	od 1 do 20 (50 próbek)
Substancje nieorganiczne		
Arsen (As)	500	od 6,1 do 12,4

cd. tab. 1

Parametr	Wartości graniczne zgodnie z rozporządzeniem o składowiskach odpadów dla mechaniczno-biologicznie przetwarzanych odpadów [mg/kg s.m.]	Mechaniczno-biologicznie przetwarzane odpady [mg/kg s.m.]
Bar (Ba)	10 000	od 280 do 930
Ołów (Pb)	5 000	od 190 do 300
Kadm (Cd)	30	od 1,4 do 6,2
Chrom (Cr)	8 000	od 65 do 175
Kobalt (Co)	500	od 6,5 do 11,0
Miedź (Cu)	5 000	od 230 do 450
Nikiel (Ni)	2 000	od 29 do 150
Rtęć (Hg)	20	od 1,3 do 2,6
Srebro (Ag)	100	od 1,6 do 5,3
Cynk (Zn)	5 000	od 600 do 2 100
Suma parameterów organicznych		
Σ węglowodory	20 000	od 450 do 9 000
Σ wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	300	od 0,8 do 13
POX (jako Cl)	1 000	< 0,0001
Węglowodory monoaromatyczne (BTX)	6	

Tabela 2

Wartości graniczne dla zawartości substancji szkodliwych (wartości w eluacie) dla składowisk odpadów masowych (austriackie rozporządzenie o składowiskach odpadów z 2008 r., załącznik 1, tabela 10) oraz wyniki analiz 8 próbek po różnych sposobach przetworzenia (4 instalacje)

Parametr	Wartości graniczne zgodnie z rozporządzeniem o składowiskach odpadów dla mechaniczno-biologicznie przetwarzanych odpadów [mg/kg s.m.]	Mechaniczno-biologicznie przetwarzane odpady [mg/kg s.m.]
Wartości w eluacie		
Wartość pH	od 6 do 13	od 6,7 do 8,2
Sucha pozostałość	100 000	od 37 000 do 94 000
Substancje nieorganiczne		
Antymon	5	–
Arsen	25	–
Bar	300	–

cd. tab. 2

Parametr	Wartości graniczne zgodnie z rozporządzeniem o składowiskach odpadów dla mechaniczno-biologicznie przetwarzanych odpadów [mg/kg s.m.]	Mechaniczno-biologicznie przetwarzane odpady [mg/kg s.m.]
Ołów	50	-
Kadm	5	-
Chrom całkowity	70	-
Chrom VI (jako Cr)	20	< 0,1
Kobalt	50	-
Miedź	100	-
Molibden	30	-
Nikiel	40	-
Rtęć	0,5	-
Selen	7	-
Srebro	10	-
Cynk	200	-
Cyna	200	-
Jon amonowy (jako N)	10 000	od 380 do 3 500
Cyjanek, łatwo uwalniany (jako CN)	20	od 1,3 do 5,7
Fluorek (jako F)	500	< 5
Azotyn (jako N)	1 000	od < 10 do 480
Siarczan (jako SO ₄)	25 000	od 3 500 do 13 000
Suma parametrów organicznych		
TOC (jako C)	do podania	od 9 200 do 21 000
Indeks węglowodorowy	200	-
EOX (jako Cl)	30	< 0,2
Indeks fenolowy	1 000	-

2. Sytuacja w obszarze kompostowania odpadów resztkowych w Austrii

2.1. Instalacje do mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów

W trakcie poszukiwań alternatywnych sposobów unieszkodliwiania odpadów w latach siedemdziesiątych powstała w Europie duża liczba urządzeń do kom-

postowania odpadów domowych. W wyniku wysokiego zanieczyszczenia szkodliwymi substancjami kompostu z odpadów domowych, wyłoniły się problemy związane z ich zastosowaniem, a to z kolei doprowadziło do podważenia pomysłu kompostowania tych odpadów.

Wykorzystanie kompostu z odpadów było w Austrii od początku dosyć problematyczne, dlatego już od wielu lat znaczną część kompostu po prostu składowano. Problemy przy tworzeniu nowych składowisk z jednej strony oraz oszczędności związane z redukcją objętości składowanych odpadów z drugiej sprawiały, że dalsze utrzymywanie tych obiektów wydawało się sensowne. W późnych latach osiemdziesiątych na 18 składowiskach odpadów domowych zostało przetworzonych na kompost do 400 tys. ton odpadów komunalnych, na potrzeby między innymi działań rekultywacyjnych, względnie jako etap przetwarzania odpadów przed składowaniem. Poprzez intensyfikację zbiórki surowców wtórnych i problemowych oraz zastosowanie wstępnej segregacji na taśmie po dostarczeniu odpadów do instalacji przetwarzającej odpady, inwestycje w przygotowanie oraz kondycjonowanie materiałów, jak i przestawienie się na intensywne metody kompostowania, instalacje stopniowo osiągały nowe wymagania techniczne.

Z dniem 1.01.1995 r. weszło w życie rozporządzenie dotyczące selektywnej zbiórki bioodpadów. Z powodu potrzeby stworzenia dodatkowych mocy przerobowych dla instalacji kompostowania odpadów organicznych, kilka byłych instalacji kompostowania odpadów domowych przestawiono na instalacje do kompostowania bioodpadów. Niektóre składowiska zostały zamknięte. Jeden z obiektów (Fischamend) został na nowo zbudowany i w końcu 1996 r. uruchomiono go na okres próbny.

W roku 2004 (w tym roku zaczął obowiązywać zakaz składowania odpadów przekraczających wartość 5% TOC s.m.) zostały uruchomione urządzenia do mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów w Linzu, Wiener Neustadt, St. Pölten, Frohnleiten, Liezen, Halbenrain i Lienz.

Aktualnie w ciągu roku w 19 austriackich mechaniczno-biologicznych instalacjach przetwarza się ok. 550 tys. t odpadów reszkowych oraz osadów ściekowych (zainstalowana zdolność przetwarzania tych instalacji wynosi ok. 670 tys. t na rok). Na frakcję do składowania przypada ok. 170 tys. t na rok (ok. 30% całkowitej masy odpadów) [10]. Masa frakcji palnej wynosi ok. 245 tys. t na rok [10], tj. ok. 40% całkowitej masy odpadów.

3. Wpływ mechaniczno-biologicznego przetwarzania na procesy zachodzące na składowiskach odpadów

3.1. Podstawa danych

Ze względu na znaczne obciążanie substancjami szkodliwymi, składowano dużą część produkowanego kompostu z odpadów domowych na składowiskach. Poprzez wykorzystanie danych, pozyskanych z tych składowisk, mógł Wurz [14] opracować cenne wnioski dotyczące długookresowego zachowania się odpadów przetwarzanych mechaniczno-biologicznie. Wpływ na tę analizę miały również osobiste obserwacje personelu prowadzącego składowiska.

Jednak ze względu na brak pewnej bazy danych, należy wziąć pod uwagę kilka ograniczeń, jeśli chodzi o wnioski wynikające z tego przyczynku:

- Przez długi czas składowano tylko mechaniczno-biologicznie przetworzone odpady z gospodarstw domowych, a nie odpady resztkowe. Bazując na bardzo podobnym składzie odpadów z gospodarstw domowych oraz odpadów resztkowych wydaje się, że ta interpretacja danych jest dopuszczalna. Należy także pamiętać o tym, że nie miało miejsca żadne specjalne sortowanie pod kątem wydzielenia frakcji odpadów palnych (tworzywa sztuczne pozostawały na składowisku).
- Na żadnym składowisku nie były składowane wyłącznie odpady biologicznie przetworzone. Udział odpadów przetworzonych mechaniczno-biologicznie wahał się w granicach od 20 do 80%. Prawie zawsze składano także odpady wielkogabarytowe, z działalności gospodarczej, przemysłowe, odpady z przygotowania kompostów, jak np. frakcja nadsitowa, względnie materiały twarde z przygotowania kompostu surowego, również osady ze ścieków komunalnych, a w pojedynczych przypadkach nawet odpadki z świeżo przycinanych roślin. Mamy więc do czynienia z całą pewnością z gorszymi warunkami niż na składowiskach, na których składowuje się wyłącznie jeden rodzaj odpadów; z tego względu interpretacje leżą po bezpiecznej stronie.
- Większość składowisk nie było wykonanych według dzisiejszego stanu techniki. W niektórych przypadkach brakowało nawet standardowego uszczelnienia. Instalacje do odgazowywania istniały, jeśli w ogóle, to tylko do spalania gazów składowiskowych w pochodniach. Z tego względu nieosiągalne są starsze dane dotyczące pomiarów ilości gazu. Dopiero po modernizacji składowisk względnie po ich powiększeniu w latach osiemdziesiątych, można dziś przeprowadzać badania gazu oraz odcieków. Modernizacje składowisk były często przeprowadzane poprzez uszczelnienie i wzmocnienie korpusu składowiska. Interpretując dane o odciekach, należy uwzględnić efekt rozcieńczania, który można wyjaśnić posiłkując się sposobem odpompowania odcieków, tj. sposobem prowadzenia gospodarki wodnej na składowisku.

Oprócz danych ze składowisk, w artykule uwzględniono także dane z badań kompostowania, a także analizy z zakresu potencjału tworzenia się gazu.

3.2. Wpływ na ilość deponowanych odpadów

Poprzez wyselekcjonowanie surowców wtórnych, redukcję masy w procesie kompostowania oraz polepszenie zagęszczenia (w Siggerwiesen; przy pomiarze składowiska stwierdzono zagęszczenie na poziomie $1,3 \text{ t/m}^3$) można zaoszczędzić od 30 do 50% objętości składowiska. Jeżeli spali się powstałą frakcję nadsitową, można odciążyć składowisko nawet do 70% [11].

Bilans materiałowy z instalacji do kompostowania odpadów domowych w Aich Assach dał prawie identyczne wyniki. W roku 1996 dostarczono 6650 t odpadów domowych + osady ściekowe, po przejściu przez dwa stopnie sit odsiano 1630 t, pozostało 3000 t kompostu. W Aich Assach w 1996 r. kompost był wykorzystywany, dlatego tylko 25% przywiezionych odpadów domowych ładowało na składowisku. Przy hipotetycznych założeniach normalnego mechaniczno-biologicznego przetwarzania (frakcja kompostowa jest deponowana) oraz przy zagęszczeniu odpadów $0,9 \text{ t/m}^3$ dla nieprzetworzonych odpadów resztkowych lub $1,3 \text{ t/m}^3$ po przetworzeniu, powstaje oszczędność objętości wysypiska rzędu 45%. Jeśli odzyska się termicznie palną część frakcji nadsitowej, wówczas będą oszczędności do 65% objętości składowiska (uwzględniono 270 t odpadów po spalaniu).

W kompostowni Oberpullendorf w 1995 r. przetworzono ok. 35 tys. t odpadów resztkowych oraz osadów ściekowych. Zgodnie z metodą Wendelina, do mechaniczno-biologicznego przetwarzania wykorzystywano tylko frakcję poniżej 35 mm. Około 65% objętości przywiezionych odpadów resztkowych deponowano wtedy na składowisku. Przy termicznym wykorzystywaniu frakcji nadsitowej wyliczono oszczędność objętości składowiska w przeciwieństwie do techniki składowania nieprzetworzonych odpadów na poziomie 70–75%.

Obecnie w Austrii w sposób mechaniczno-biologiczny przetwarza się, jak już wspomniano, ok. 550 tys. t odpadów resztkowych i osadów ściekowych rocznie [7]. Przy zagęszczeniu odpadów wynoszącym $0,9 \text{ t/m}^3$ dla nieprzetworzonych odpadów resztkowych lub $1,3 \text{ t/m}^3$ dla mechaniczno-biologicznie przetworzonych odpadów, roczna oszczędność objętości składowiska wynosi ok. 450 tys. m^3 , tj. 75% (pozostałości po spalaniu frakcji palnej zostały skalkulowane w wysokości 22% masy).

3.3. Wpływ na jakość odpadów kierowanych do składowania

Poprzez mechaniczno-biologiczne przetwarzanie zawarte w mieszaninie odpadów resztkowych i osadów ściekowych substancje organiczne przemieniają się

w CO₂ lub trudno rozkładające się związki organiczne. Po wystarczającej obróbce biologicznej, całkowita zawartość węgla w odpadach wynosi jeszcze ok. 20%. Przy przetworzeniu 550 tys. t odpadów resztkowych rocznie, powstało 170 tys. t odpadów, które są kierowane na składowisko, znajdowałyby się więc ok. 35 tys. t węgla rocznie, przetworzonego do postaci trudno rozkładających się związków organicznych.

3.3.1. ODCIEKI

Ilość odcieków

Gospodarka wodna składowiska jest silnie uzależniona od położenia (klimat, ilość opadów), od wymiarów geometrycznych (powierzchnia, wysokość składowania) i rozwiązań technicznych składowiska (technologia składowania, przykrycie składowiska, postępowanie z odciekami). Dlatego interpretacja zebranych danych [1], odnośnie do wpływu mechaniczno-biologicznego przetwarzania na ilość odcieków możliwa jest tylko warunkowo. Analizy wskazują co prawda, że przy krótszym okresie przetwarzania wstępnego powstaje większa ilość odcieków (Siggerwiesen/Sbg.), jednak w przedstawionym przypadku występują opady deszczu > 800 mm/r (we wschodniej Austrii < 500 mm/r); dalej ma miejsce odpływ odcieków wynikający z obniżanie się zwierciadła wody w składowisku. Tę większą ilość odcieków można zatem tłumaczyć przenikaniem wód gruntowych do składowiska.

Fehrer [9], na podstawie swych geotechnicznych badań laboratoryjnych nad dwoma różnymi materiałami z mechaniczno-biologicznego przetwarzania stwierdził ich wyjątkowo niską przepuszczalność. Wartość współczynnika przepuszczalności materiału z Oberpullendorf (< 25 mm, 50 tygodni kompostowania) wynosi $k_f < 10^{-10}$ m/s, a ze składowiska w Allerheiligen (< 12 mm, 5 tygodni kompostowania) wynosi $k_f < 10^{-11}$ m/s. Przy tak niskiej przepuszczalności należy się spodziewać bardzo małych odcieków.

Skład odcieków

Jako jednoznaczną oznakę pozytywnego wpływu na jakość odcieków można przyjąć obserwacje niektórych prowadzących składowiska odnośnie do inkrustacji (powierzchnowe naskorupienie) w systemie drenażowym. Przy ich kontroli za pomocą kamer wideo zostały stwierdzone tylko niewielkie inkrustacje. Prawie wszyscy zarządcy, którzy posiadają możliwość płukania systemu drenażowego odcieków stwierdzają, że przeprowadzenie takiego płukania raz w roku nie jest konieczne potrzebne. Natomiast składowisko odpadów domowych powinno być płukane 2–3 razy w roku.

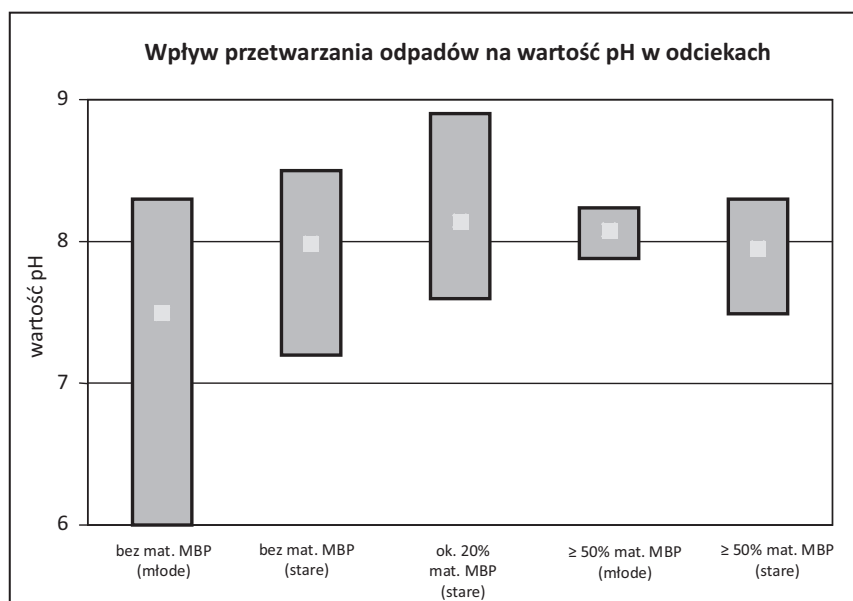
Dane z analizy odcieków udowadniają, że przy mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu przewidywana jest faza zakwaszania (tab. 3). Już młode wysypiska

(< 4 lata) wskazują wartości pH rzędu = 8 [14], przy czym na „nieprzetwarzanych” wysypiskach wartości te są znacznie niższe (ryc. 1).

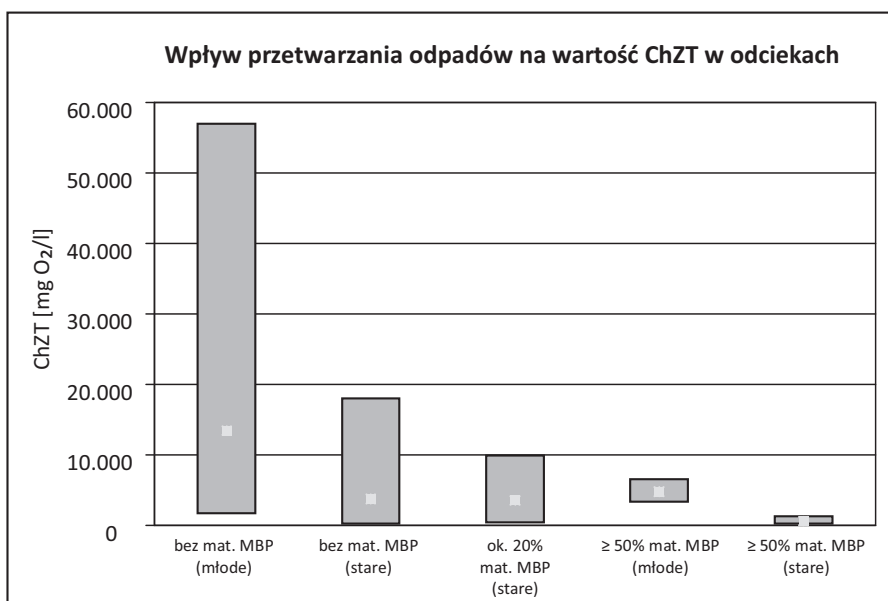
Tabela 3

Porównanie stężeń odcieków ze składowiska odpadów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu i składowiska odpadów „nieprzetworzonych” [14]

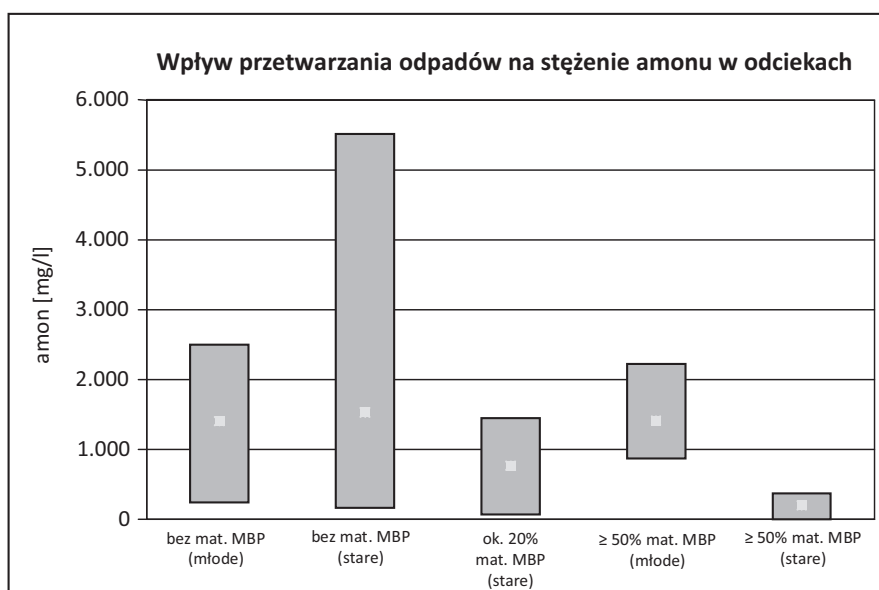
Wyszczególnienie	MBA młode (< 4 lat)	Nieprzetwarzane młode (< 4 lat)	MBA stare (> 4 lat)	Nieprzetwarzane stare (> 4 lat)
MBA – udział [%]	> 50	0	> 50	0
Wartość pH	od 7,9 do 8,2	od 6,0 do 8,3	od 7,5 do 8,2	od 7,0 do 8,5
ChzT [mg O ₂ /l]	6 600	60 000	od 200 do 1 000	18 000
BZT ₅ [mg O ₂ /l]	1 000	30 000	od 20 do 400	6 000
BZT ₅ /ChzT	od 0,1 do 0,2	od 0,5 do 0,8	od 0,05 do 0,3	od 0,05 do 0,5
NH ₄ [mg/l]	od 1 000 do 2 000	od 200 do 2 500	od 25 do 450	od 200 do 5 500
Zn [mg/l]	od 0,5 do 3	od 3 do 14	od 0,02 do 0,2	od 0,1 do 0,7



Ryc. 1. Wpływ wstępnego przetwarzania i czasu składowania na wartość pH odcieków; maksimum, minimum i wartości średnie



Ryc. 2. Wpływ przetwarzania wstępnego i czasu składowania na chemiczne zapotrzebowania na tlen w odciekach; maksimum, minimum, wartości średnie

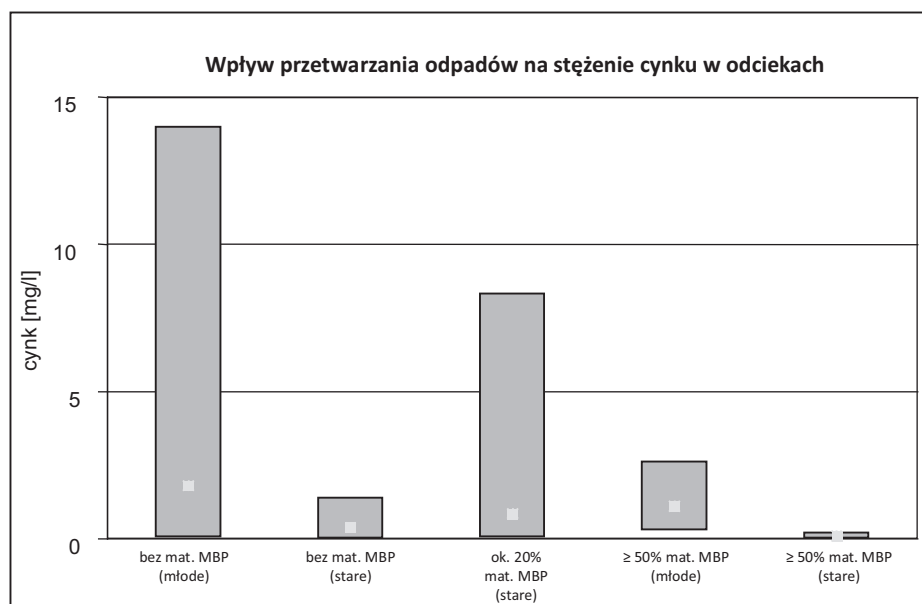


Ryc. 3. Wpływ przetwarzania wstępnego i czasu składowania na stężenie amonu w odciekach; maksimum, minimum, wartości średnie

Stężenie odcieków leży w dolnym zakresie stężeń ogólnie występujących na składowiskach. Młode składowiska odpadów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu (< 4 lata) wskazują stężenie ChZT osiągające maksymalną wartość 6600 mg O₂/l. Składowiska odpadów nieprzetworzonych z podobnym wiekiem wskazują najwyższe stężenia ChZT dochodzące do 60 tys. mg O₂/l. Stężenia ChZT na przebadanych starych składowiskach odpadów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu (> 4 lata) mieszczą się między 600 a 1000 mg

O_2/l , podczas gdy na składowiskach odpadów nieprzetworzonych, po tym samym czasie, utrzymuje się jeszcze stężenie równe 18 tys. mg O_2/l (ryc. 2). Taką samą tendencję stwierdza się przy parametrach BZT_5 1400 mg O_2/l w stosunku do 30 tys. mg O_2/l przy młodych składowiskach i od 20 do 600 mg O_2/l w stosunku do 6 tys. mg O_2/l przy starych. Składowiska odpadów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu wykazują o 90–95% mniejsze zanieczyszczenie organiczne w porównaniu ze starymi składowiskami, na których składowane były odpady uprzednio nieprzetwarzane.

Również stężenie metali ciężkich w odciekach, dzięki mechaniczno-biologicznemu przetwarzaniu, jest wyraźnie mniejsze. Dla przykładu w tabeli 3 i na rycinie 4 znajdują się dane dla cynku. Stężenia amonu (ryc. 3) na składowiskach odpadów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu osiągają dopiero z biegiem czasu wyraźnie korzystniejsze wyniki (niewielkie stężenie) w stosunku do składowisk bez przetwarzania odpadów [14].



Ryc. 4. Wpływ przetwarzania wstępnego i czasu składowania na stężenie cynku w odciekach; maksimum, minimum, wartości średnie

3.3.2. WPŁYW NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

Zdecydowanie za mało uwagi poświęcono dotychczas właściwościom mechanicznym odpadów przetworzonych mechaniczno-biologicznie. Pozytywnie skutkuje tutaj lepsze zagęszczenie składowanych odpadów na rzecz oszczędności miejsca na składowisku. W rozdziale poświęconym ilościom odcieków zwrócono już uwagę na niską przepuszczalność mechaniczno-biologicznie przetworzonych odpadów. Przyczyna tego tkwi między innymi w tym, że dla dotrzymania wartości granicznej ciepła spalania konieczne jest niewielkie uziarnienie

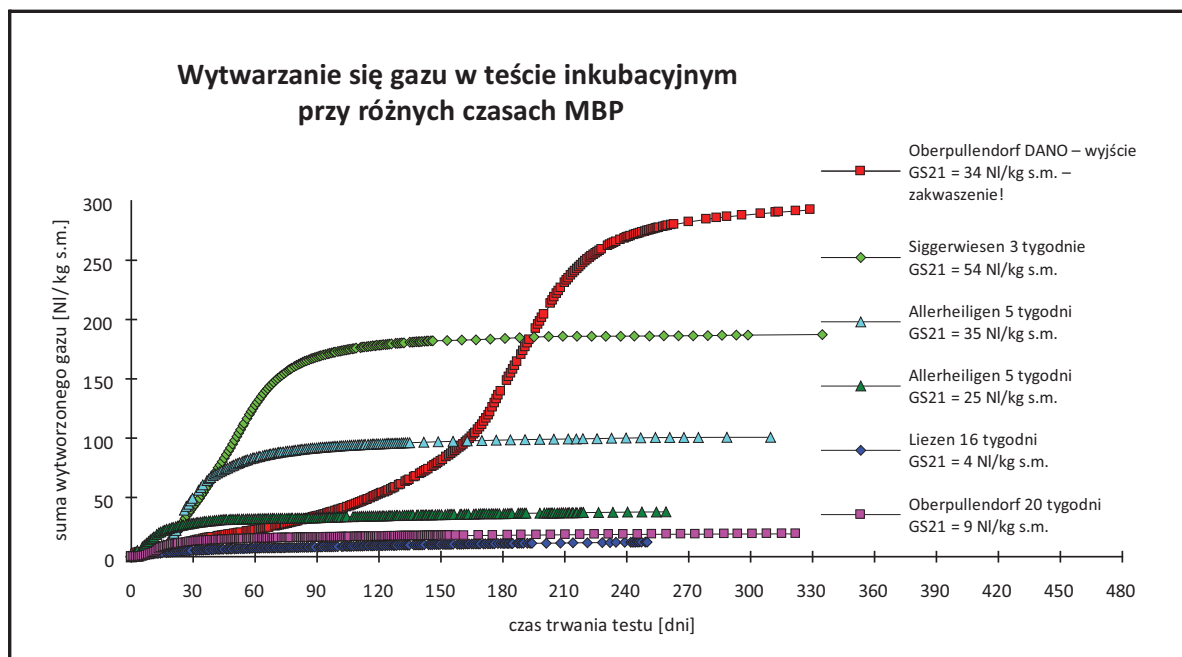
składowanych odpadów. Mimo efektywnego oddzielenia tworzyw sztucznych i starannie przeprowadzonego kompostowania, możliwe jest przekroczenie wartości ciepła spalania 6600 kJ/kg s.m. tylko przy jednym odsianiu w zakresie od < 25 do < 50 mm. To drobne uziarnienie prowadzi z jednej strony do trudności związanych z zagęszczaniem zdeponowanych odpadów (przede wszystkim przy opadach), a z drugiej do zmniejszenia stabilności bryły składowiska [9]. Poprzez brakujące wzmocnienia (tworzywa sztuczne, które to zapewniają, musiały zostać w niemal całkowitym stopniu oddzielone) nie mogą być przenoszone siły rozciągania; jeżeli pochyłość skarp nie zostanie odpowiednio złagodzona, może dojść do ich osuwania.

3.3.3. WPLYW NA EMISJĘ GAZÓW SKŁADOWISKOWYCH

Odnosnie do tworzenia się gazów składowiskowych wyraźny wpływ na ten proces ma czas trwania przetwarzania odpadów. Przy trzytygodniowym przetwarzaniu odsysa się 5 m³ gazu/t mokrej masy na rok [11]. Po 14 tygodniach kompostowania wartości te spadają poniżej 1 m³/t mokrej masy na rok (przy 50% udziale odpadów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu).

Szczególnie wyrazisty jest wpływ oddziaływania poprzez przestawienie instalacji w Lustenau/Vbg. na kompostowanie bioodpadów. Tutaj już od 1989 r. na składowisko dostarczane są tylko nieprzetworzone odpady resztkowe. W tej już 6-letniej części składowiska wytwarza się 7 m³ gazu/t mokrej masy na rok; w warstwie, gdzie głównie składowano odpady uprzednio 14 tygodni biologicznie przetwarzane (najstarsze odpady są tam zdeponowane już co prawda od 20 lat; od 5 lat wstrzymano w tym obszarze składowanie odpadów), odsysa się 0,9 m³ gazu/t mokrej masy na rok. Starsze pomiary nie są dostępne, ponieważ instalacja odsysająca gaz została założona dopiero w 1989 r. [13].

Bardzo małą produkcją gazu wykazuje się składowisko Allerheiligen/Stmk, gdzie aż do przebudowy składowano odpady resztkowe po trzydziestotygodniowym przetwarzaniu mechaniczno-biologicznym. Niewielka ilość gazu wynosząca 0,25 m³/t mokrej masy przy udziale CH₄ wynoszącym tylko od 3 do 18% przysparza problemy przy spalaniu w pochodni. Pochodnia gazowa (ustawiona na 220 m³/h) może być używana tylko 1,5 godziny dziennie [12].



Ryc. 5. Wpływ mechaniczno-biologicznego przetwarzania na potencjał wydzielania się gazu z odpadów

Uzyskane na składowiskach dane szacunkowe zostały potwierdzone w doświadczeniach laboratoryjnych. Rycina 5 pokazuje wpływ różnych czasów przetwarzania na potencjał wydzielania się gazu z odpadów resztkowych. Dotrzymanie wartości granicznych dyrektywy mechaniczno-biologicznego przetwarzania (nasze analizy wykazują, że potrzebny czas przetwarzania wynosi od 8 do 12 tygodni) zmniejsza produkcję gazów o co najmniej 90–95% w stosunku do dotychczas typowego składowania nieprzetworzonych odpadów [2]. Dla tych szacunków trafne okazały się przyjęte następujące założenia:

- 30% masy mokrej frakcji palnej zostaje mechanicznie wydzielone,
- 30% masy mokrej redukuje się w procesie kompostowania,
- potencjał wydzielania się gazu z nieprzetworzonych odpadów resztkowych wynosi między 70 a 120 m³/t masy mokrej (lub 130 do 300 m³/t s.m.),
- potencjał wydzielania się gazów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu wynosi 24 m³/t s.m. lub 6,2 m³/t masy mokrej (to odpowiada AT4 = 7 mg O₂/g s.m. lub GS21 = 12 NI/kg s.m.).

4. Podsumowanie

W Austrii już od ponad 3 dekad przetwarza się odpady w sposób mechaniczno-biologiczny. Obecnie w 19 instalacjach przetwarza się rocznie ok. 555 tys. t odpadów resztkowych. Przy czasie trwania przetwarzania od 8 do 12 tygodni nie są przekroczone wartości graniczne w odniesieniu do reaktywności

($AT_4 \leq 7 \text{ mg O}_2/\text{g s.m.}$ i $GS21 \leq 20 \text{ Nl gazu/kg s.m.}$), które przewiduje rozporządzenie o składowiskach z 2008 r.

Badania Institut für Abfallwirtschaft Universität für Bodenkultur w Wiedniu wykazują, że parametry GS21 i AT4 bardzo dobrze nadają się do scharakteryzowania reaktywności. Zależne od materiału zbyt długie fazy opóźnienia mogą jednakże doprowadzić przy obu próbach do zaniżenia wyników. Przy badaniu ilości tworzenia się gazu, fazy opóźnienia występują przede wszystkim w przypadku odpadów, które nie zostały poddane, albo bardzo krótko zostały poddane biologicznemu przetwarzaniu odpadów, z powodu ich zakwaszenia. Przy badaniu aktywności oddychania, powstałe podczas biologicznego przetwarzania produkty przemiany materii – które hamują w teście rozkład tlenowy – mogą doprowadzić do zaniżonych wyników. Aby wykluczyć złą interpretację wyników przy ocenie jakości odpadów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu, trzeba zawsze przeanalizować obydwie parametry.

Z dotychczasowych praktycznych danych wynika, że dzięki mechaniczno-biologicznemu przetwarzaniu, konieczna objętość składowania może się zmniejszyć od 35% (przy składowaniu frakcji palnych) do 75% (przy spaleniu frakcji palnych). W odniesieniu do ilości odcieków brakuje wiarygodnych danych praktycznych. Ponieważ przepuszczalność składowiska wyraźnie się zmniejszyła, należy się liczyć z mniejszą ilością odcieków niż na tradycyjnych składowiskach.

Obserwacje niektórych prowadzących składowiska dotyczące inkrustacji w systemach drenażowych mogą potwierdzić jednoznacznie pozytywne oddziaływanie mechaniczno-biologicznego przetwarzania na jakość odcieków. Przy badaniach za pomocą kamer wideo stwierdzono tylko znikomą inkrustację; przepłukanie systemu drenażowego raz w roku uważa się za wystarczające. Praktyczne dane z istniejących składowisk (oceniane składowiska zawierają od 20 do 80% odpadów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu; reszta odpadów jest nieprzetworzona) potwierdzają polepszenie jakości odcieków. Stężenia ChZT i BZT₅ spadają o ponad 90%. Zawartość metali ciężkich została również wyraźnie zmniejszona. Stężenie amonu polepsza się w stosunku do składowisk z nieprzetworzonymi odpadami, ale dopiero w dłuższym okresie składowania.

Pozytywny wpływ biologicznego przetwarzania wstępnego na emisję gazów można potwierdzić również na podstawie danych (niestety nielicznych) ze składowisk. Przede wszystkim spotykamy problem ze spalaniem gazu – wynikający ze zbyt małych jego ilości – w przypadku biologicznego przetwarzania, co wskazuje na dużą redukcję wydzielania się gazów. Badania laboratoryjne świadczą o tym, że dzięki odpowiedniemu przetwarzaniu biologicznemu (dochowywanie wartości granicznych reaktywności zgodnie z dyrektywą o mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu) produkcja gazów może zostać zmniejszona o 90–95%. Przy optymalnym ukształtowaniu powierzchni składowiska w odniesieniu do

możliwości utleniania się metanu i rekultywacji można zrezygnować z instalacji zbierającej gaz oraz z uszczelnienia powierzchni.

Znacznie trudniejsza jest ocena wpływu mechaniczno-biologicznego przetwarzania na właściwości geotechniczne. W tym przypadku jest jeszcze zbyt mało danych, by móc coś pewnego powiedzieć. Pewne jest jednak, że dzięki biologicznemu przetwarzaniu oszczędza się miejsca na składowiskach. Gęstość składowania równą $1,3 \text{ t/m}^3$ zmierzono na istniejącym od 1978 r. składowisku odpadów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu – domowych i resztkowych. Odnośnie do stabilności (niewielki kąt natarcia) i zachowania się odpadów przy opadach deszczu (składowanie i zagęszczenie) oczekuje się raczej negatywnych skutków. Przyczynami tego są niewielka ziarnistość (25–50 mm), słaba przepuszczalność i małe przenoszenie naprężeń rozciągających, wywołanych daleko idącym wydzieleniem tworzyw sztucznych, w celu dotrzymania wartości ciepła spalania wynoszącego $< 6600 \text{ kJ/kg s.m.}^*$.

* Cytowaną literaturę zamieszczono po tłumaczeniu artykułu w języku niemieckim.