

Mohamad Al-Mohamad, Krzysztof Bartoszewski

## Wykorzystanie zestalonych osadów ściekowych do zagospodarowania składowisk odpadów

Zgodnie z nową ustawą o odpadach z 27 czerwca 1997 r. (Dz. U. nr 96, poz. 592), osady powstające w oczyszczalniach ścieków uważa się za odpady. Ustawa ta zaleca, aby stosować technologie eliminujące lub ograniczające powstanie odpadów. Jeżeli nie jest możliwa technologia bezodpadowa, wówczas należy zapewnić maksymalnie bezpieczne dla środowiska ich wykorzystanie oraz postępować z nimi zgodnie z zasadami ochrony środowiska.

Nieodłącznym produktem oczyszczania ścieków są osady, których obecnie nie można wyeliminować z procesów oczyszczania. W oczyszczalniach mechaniczno-biologicznych w Polsce powstaje 0,202 kg suchej masy osadów na 1 m<sup>3</sup> ścieków, a wielkość ta w roku 2010 zwiększy się jeszcze o 7+8% [4]. Według tego samego źródła w 1994 r. w Polsce powstało w oczyszczalniach ścieków 235,5 tys. ton suchej masy osadów, a w 2010 roku ilość ta zwiększy się do 443,7 tys. ton.

Najbardziej korzystną metodą zagospodarowania osadów z oczyszczalni komunalnych jest ich przyrodnicze – w tym także i rolnicze – wykorzystanie. Ta metoda unieszkodliwiania osadów ma wiele ograniczeń, z których najistotniejsze to:

- niepewny stan sanitarny,
- konsystencja osadów (płynna lub mazista),
- możliwa nadmierna zawartość metali ciężkich i innych substancji szkodliwych,
- uciążliwość zapachowa,
- brak polskich przepisów regulujących zasady i warunki przyrodniczego wykorzystania osadów,
- brak precyzyjnego systemu prawo-organizacyjnego związanego z wykorzystaniem osadów.

Z uwagi na trudności związane z przyrodniczym wykorzystaniem osadów, racjonalne wydaje się być ich wykorzystanie na wysypiskach jako materiału stosowanego do przetwarzania odpadów, a także materiału do rekultywacji terenów wysypisk odpadów komunalnych lub przemysłowych. Do celu tego nie nadają się osady odwodnione, lecz osady przetworzone, o właściwościach materiału bezpiecznego sanitarnie i o odpowiedniej stałej strukturze. Materiał taki można uzyskać np. w procesie zestalania osadów wstępnie odwodnionych mechanicznie. Do zestalania można wykorzystywać cement portlandzki, wapno lub inne materiały wiążące, np. odpadowe pyły cementowe, łupki odpadowego wapna, popioły lotne itd. Wykorzystanie odpadowych materiałów wiążących obniża koszty tego procesu.

Możliwe jest także składowanie osadów na wysypiskach, lecz nie jest to rozwiązanie korzystne, ponieważ wymaga opłat za składowanie oraz szybciej wyczerpuje pojemność wysypiska. W Polsce, w świetle nowej ustawy o odpadach, składowanie odpadów na wysypiskach traktowane jest jako metoda ich unieszkodliwiania. Przepisy tej ustawy nie wymagają obróbki odpadów przed ich składowaniem, co pozwala na składowanie bez ograniczeń odpadów surowych [10]. Polska ustawa o odpadach jest bardziej liberalna niż warunki, jakie stawia się składowanym odpadom w krajach Unii Europejskiej. W krajach UE wymaga się, aby składowane odpady były nieszkodliwe dla środowiska [11]. Dodatkowym utrudnieniem przy składowaniu osadów jest negatywny stosunek właścicieli wysypisk do przyjmowania osadów oraz kontrowersyjne opinie dotyczące wspólnego składowania osadów ściekowych wraz z odpadami komunalnymi. Zestalenie osadów pozwala na otrzymanie odpadu spełniającego wymagania UE.

Zestalenie jest procesem fizyczno-chemicznym, w którym następuje zmiana właściwości fizycznych i chemicznych odpadów lub osadów w wyniku dwóch zasadniczych procesów:

- zmiany konsystencji z ciekłej lub półstałej do stałej będącej wyłącznie wynikiem procesów lub zespołów procesów fizycznych, takich jak zagęszczanie, odwadnianie, suszenie lub mieszanie z nieaktywnymi wypełniaczami itd.,
- chemicznego wiązania wraz ze stabilizowaniem, które polega na przemianie (w wyniku reakcji chemicznej) niebezpiecznych składników (zwłaszcza metali ciężkich) obecnych w odpadach czy w osadach w postaci trudno lub nierozpuszczalną w wodzie (np. węglany lub wodorotlenki), a następnie ich fizyczne lub chemiczne stabilizowanie czy poprzez włączanie się do struktury krystalicznej materiału zestalającego, co powoduje ich dodatkowe blokowanie [5].

Po zestaleniu następuje zmniejszenie objętości osadów, ograniczenie migracji zanieczyszczeń zawartych w osadach ściekowych oraz ograniczenie ich uciążliwości zapachowej. Przy składowaniu zestalonych osadów znacznie zmniejsza się również ilość zanieczyszczeń zawartych w odciekach [1]. Po zestaleniu osadów ustabilizowanych z oczyszczalni miejskich uzyskuje się produkt o zmienionych właściwościach fizyczno-chemicznych. Materiał ten pozwala na:

- ekonomiczny i bezpieczny pod względem sanitarnym transport,
- łatwe wykorzystanie gospodarcze,
- bezpieczne składowanie,
- wykorzystanie jako materiału przekładkowego lub do rekultywacji wysypisk.

## Badania nad zestalaniem osadów ściekowych

Badania procesu zestalania wykonano dla osadu preferowanego i odwodnionego mechanicznie w procesie wirowania. Do zestalania wykorzystano cement portlandzki 35, wapno hydratyzowane oraz ich mieszaninę. W procesie zestalania oceniono:

- efektywność higienizacji,
- zmniejszenie masy i objętości osadów,
- chemiczną stabilizację zanieczyszczeń zawartych w osadach,
- mechaniczne właściwości osadu zestalonego,
- właściwości nawozowe zestalonych osadów.

Higienizacja osadów jest procesem niszczenia mikroorganizmów chorobotwórczych. Pod pojęciem dezynfekcji lub odkażania (higienizacji) rozumie się proces selektywnego zmniejszenia liczebności oraz dezaktywacji organizmów chorobotwórczych, tj. wirusów, bakterii i ich przetrwalników oraz pasożytów i ich jaj [8]. Wynika stąd, że materiał po higienizacji może zawierać ograniczoną liczbę organizmów chorobotwórczych, lecz musi równocześnie spełniać kryteria minimalnego ryzyka określonego przez rodzaj końcowego wykorzystania. Do parametrów mikrobiologicznych wykorzystywanych do oceny stanu sanitarno-higienicznego osadów ściekowych należą:

- bakterie z grupy *coli*,
- bakterie z rodzaju *Clostridium*; najbardziej niebezpieczna jest *Clostridium perfringens*, która – jako przetrwalnikująca – może pozostawać w osadzie przez bardzo długi czas,
- bakterie z rodzaju *Salmonella*,
- jaja pasożytów przewodu pokarmowego, na. *Ascaris sp.*, *Trichophallus sp.*

Propozycje parametrów biologicznych dla osadów ściekowych bezpiecznych pod względem sanitarnym wg Instytutu Medycyny Wsi w Lublinie [9] przedstawiono w tabeli 1, natomiast wg Instytutu Ochrony Środowiska w Warszawie [6] – w tabeli 2.

Dla badanych osadów po zestaleniu oznaczono ogólną liczbę bakterii psychrofilnych, mezofilnych, bakterii przetrwalnikujących, miano *coli*, miano *Clostridium*, liczebność bakterii *Salmonella* i liczebności jaj pasożytów z rodzaju *Ascaris lumbricoides*. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 3.

Wyniki badań mikrobiologicznych osadów wykazują, że w osadach przed zestaleniem liczba bakterii potencjalnie chorobotwórczych z grupy *coli* i *Clostridium* (miano odpowiednio  $2 \cdot 10^{-6}$  i  $5 \cdot 10^{-5}$ ) była znaczna i osady te nie spełniały wymogów higienicznych stawianych osadom przeznaczonym

Tabela 1. Proponowane dopuszczalne wartości zanieczyszczeń biologicznych osadów wg [9]

Wskaźnik	Wartość
Miano <i>coli</i>	nie mniej niż 0,001
Miano <i>Clostridium</i>	nie mniej niż 0,0001
<i>Salmonella</i>	nie stwierdza się
Jaja pasożytów	poniżej 10 szt./kg osadu

Tabela 2. Proponowane dopuszczalne wartości zanieczyszczeń biologicznych osadów wg [6]

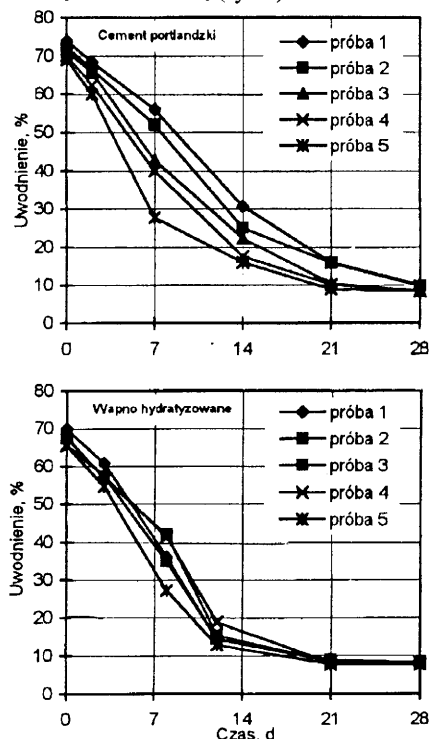
Wskaźnik	Sposób wykorzystania osadów ściekowych	
	Użyźnianie i nawożenie	Rekultywacja
Bakterie chorobotwórcze z rodzaju <i>Salmonella</i>	niewykrywalne	niewykrywalne
Jaja pasożytów przewodu pokarmowego	do 10 szt. w 1 kg sm osadu	do 300 szt. w 1 kg sm osadu

do przyrodniczego wykorzystania (tab. 1 i 2). Wartości zawarte w tabeli 3 wykazują, że po zestaleniu nastąpił:

- spadek liczby bakterii psychrofilnych i mezofilnych o 5 rzędów wielkości przy użyciu cementu i o 6 rzędów przy użyciu wapna,
- niewielki spadek liczby bakterii przetrwalnikujących dla cementu i spadek ich liczby o 4 rzędy wielkości dla wapna,
- całkowita likwidacja bakterii *Clostridium perfringens* (poza jednym wyjątkiem przy dawce cementu 0,1kg/kgsm),
- znaczne poprawienie miana *coli*.

Ponieważ w osadach przed i po zestaleniu nie stwierdzono obecności jaj pasożytów oraz bakterii *Salmonella*, a pozostałe wartości nie przekraczały po zestaleniu wielkości dopuszczalnych, uznano, że wszystkie próbki zestalone spełniały warunki higieniczne stawiane osadom przy ich przyrodniczym wykorzystaniu. Zmniejszenie masy i objętości osadów po zestaleniu związane było z ubytkiem wody (rys. 1 i 2). Zmniejszenie objętości zależało od dawki i rodzaju materiału zestalającego. Na rysunku 3 przedstawiono wpływ rodzaju i dawki materiału zestalającego na zmniejszenie objętości zestalonych prób osadów po 28 dobach ich zestalania. Zastosowanie wapna do zestalania powodowało szybsze odwodnienie mieszaniny w stosunku do prób z cementem w ciągu pierwszych 14 dób zestalania, natomiast uwodnienie po 28 dobach zestalania było identyczne dla prób z wapnem i z cementem. Stosowanie cementu było jednak bardziej efektywne w obniżeniu objętości prób zestalonych.

Chemiczna stabilizacja zanieczyszczeń po zestaleniu związana była z chemicznym i fizycznym związaniem zanieczyszczeń oraz substancji nierozkładalnych (niepodatnych na biodegradację) w strukturze materiału zestalonego. Wartości wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych wyciągów wodnych z osadów przed oraz po ich zestaleniu przedstawiono w tabeli 4. Mechaniczne właściwości osadu zestalonego związane były z przemianą osadów z konsystencji półstałej w stałą. Osady zestalone wapnem lub cementem oznaczały się dość dobrą wytrzymałością mechaniczną (rys. 4).



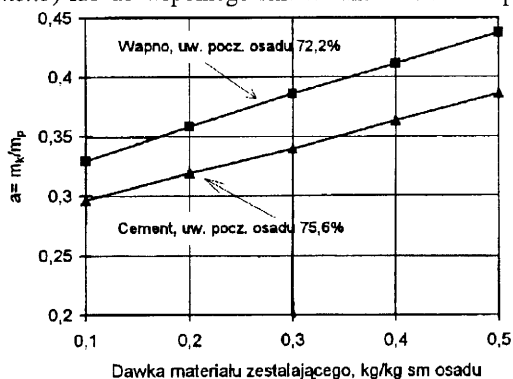
Rys. 1. Przebieg zmian uwodnienia osadów ściekowych podczas ich zestalania cementem i wapnem (pr. 1 – 10% sm osadu, pr. 2 – 20% sm osadu, pr. 3 – 30% sm osadu, pr. 4 – 40% sm osadu, pr. 5 – 50% sm osadu)

Tabela 3. Wyniki badań mikrobiologicznych zestalonych osadów

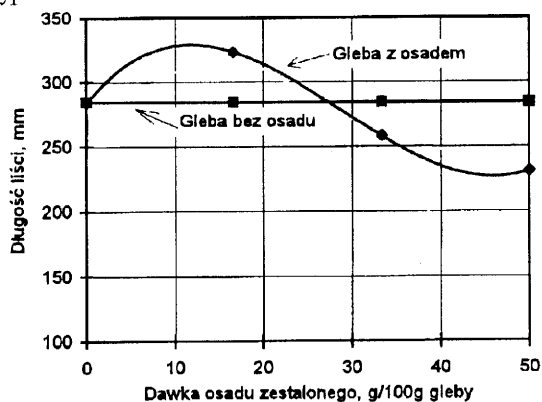
Materiał zestalający	Udział materiału zestalającego kg/kg sm	Ogólna liczba bakterii w 1 gramie osadu			Miano	
		Psychrofilnych	Mezofilnych	Przetwarzających	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>coli</i>
Brak	0	$18 \cdot 10^8$	$11 \cdot 10^8$	$2,6 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-5}$
Cement portlandzki	0,10	$32 \cdot 10^3$	$38 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^{-2}$	5,0
	0,20	$42 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^5$	brak	5,0
	0,30	$58 \cdot 10^3$	$36 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^5$	brak	0,08
	0,40	$42 \cdot 10^3$	$29 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^5$	brak	1,7
	0,50	$12 \cdot 10^3$	$14 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$	brak	5,0
Wapno hydratyzowane	0,10	$45 \cdot 10^2$	$46 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	brak	0,5
	0,20	$17 \cdot 10^2$	$20 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	brak	0,5
	0,30	$5 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	brak	1,1
	0,40	$4 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	brak	1,1
	0,50	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	brak	1,7

Przeprowadzone testy wytrzymałości na ściskanie dowiodły, że pod tym względem osady zestalone z powodzeniem nadają się zarówno do składowania osobno na odrębnych wysypiskach (tzw. *typo mono*) lub do wspólnego składowania razem z odpadami

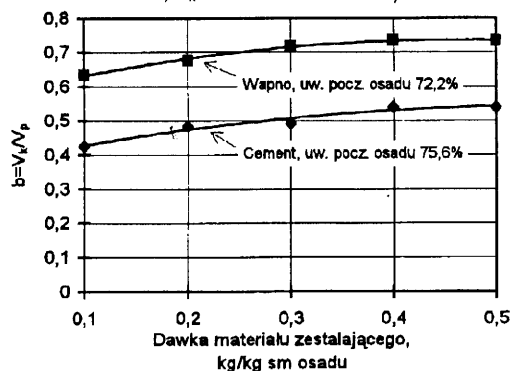
komunalnymi czy też rekultywacji wysypisk. Ich wytrzymałość mechaniczna zapewnia przejezdność maszyn pracujących na terenie wysypiska oraz zapewnia stateczność skarp wysypisk.



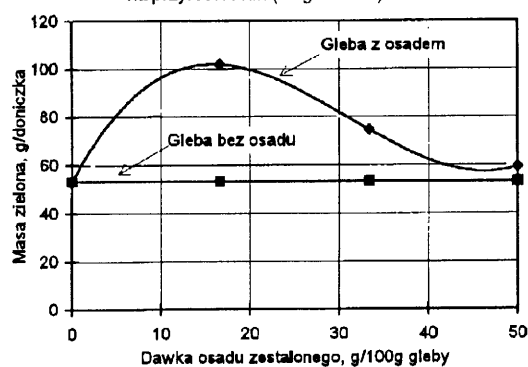
Rys. 2. Wpływ rodzaju i dawki materiału zestalającego na zmniejszenie masy próbek osadów po 28 dniach zestalania ( $m_p$  – początkowa masa osadu,  $m_k$  – końcowa masa osadu)



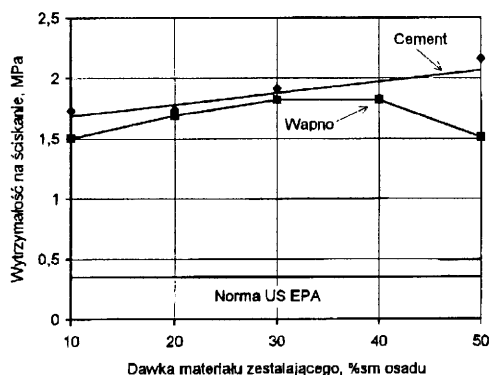
Rys. 5. Wpływ dawki osadu zestalowanego cementem (50% sm osadu) na przyrost roślin (długość liści)



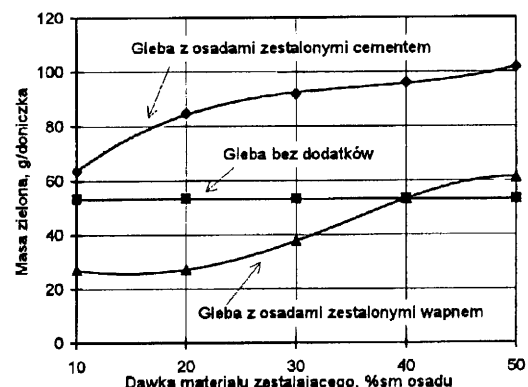
Rys. 3. Wpływ rodzaju i dawki materiału zestalającego na zmniejszenie objętości próbek osadów po 28 dniach zestalania ( $V_p$  – początkowa



Rys. 6. Wpływ dawki osadu zestalowanego cementem (50% sm osadu) na przyrost roślin (masa zielona)



Rys. 4. Wytrzymałość osadów zestalonych na ściskanie w zależności od rodzaju i dawki materiału zestalającego



Rys. 7. Wpływ rodzaju i dawki materiału zestalającego na rozwój roślin (dawka zestalowanego osadu 17 g/100g gleby)

Tabela 4. Skład wyciągów wodnych z osadów przed i po zestaleniu

Materiał zestalający	Dawka % sm osadu	Parametr			
		Cynk	Żelazo	Sód	Potas
		gZn/m <sup>3</sup>	gFe/m <sup>3</sup>	gNa/m <sup>3</sup>	gK/m <sup>3</sup>
Cement	0	11,1	4,8	27,4	22,8
	10	2,5	1,6	32,0	80,0
	20	2,2	1,6	28,0	120,0
	30	2,3	–	25,5	110,0
	40	2,0	1,4	24,5	120,0
	50	1,8	0,6	18,5	100,0
Wapno	0	2,6	–	27,4	22,8
	10	0,9	–	25,5	27,0
	20	1,1	–	21,0	23,0
	30	1,2	–	16,5	20,0
	40	1,2	–	16,5	19,0
	50	1,1	–	16,0	16,0

Do oceny właściwości nawozowych zestalonych osadów w wazonowych testach wegetacyjnych użyto gleby piaszczystej, oczyszczonej z kamieni, korzeni oraz innych części stałych. Test wegetacyjny przeprowadzono dla osadu zestalonego w formie granulatu (ok. 7 mm). Typową rośliną wykorzystywaną w testach wegetacyjnych jest owies, który cechuje się dużymi wymaganiami pokarmowymi, wysoką zdolnością do wykorzystywania trudno przyswajalnych składników pokarmowych gleb oraz bardzo silnie reaguje na nawożenie. Do oceny przyrostu roślin nawożonych zestalonymi osadami przyjęto długość liści, masę zieloną oraz suchą masę części nadziemnych roślin (rys. 5+7). Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że rozwój testowej rośliny był funkcją rodzaju i dawki materiału zestalającego oraz dawki zestalonych osadów przypadających na 1 kg gleby. Z badań tych wynika, że dla gleb piaszczystych korzystne jest nawożenie osadami zestalonymi cementem. Zapewnia ono lepszy rozwój roślin, zwłaszcza przy małych dawkach osadów zestalanych dużymi dawkami cementu. Dla tego rodzaju gleb niekorzystne okazało się nawożenie osadami zestalonymi wapnem (inhibicja wzrostu roślin przy wysokim pH).

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że możliwe jest bez zastrzeżeń wykorzystanie zestalonych osadów ściekowych do zagospodarowania wysypisk odpadów lub do ich składowania na tych wysypiskach. Osady po zestaleniu mają strukturę ciała stałego o dostatecznej wytrzymałości mechanicznej. Jednocześnie osady te są pewne pod względem sanitarnym oraz pozbawione uciążliwości zapachowej. Dodatkowo zestalenie osadów wpływa na ograniczenie ilości zanieczyszczeń wymywanych przez wody opadowe. Osady zestalone mają również dobre właściwości glebotwórcze oraz nie działają toksycznie na rozwój roślin.

## LITERATURA

1. M. Al-MOHAMAD: Zestalenie odpadów. EkoTechnika, 1997, nr 3, ss. 26–27.
2. M. Al-MOHAMAD: The possibilities of fermented municipal wastewater sludge solidification. Conf. proc. "Wastewater sludge: waste or resource?", PZITS, Częstochowa 1997, ss. 48–54.
3. K. BARTOSZEWSKI, M. Al-MOHAMAD: Badania zestalenia osadów z oczyszczalni ścieków miejskich. Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska PWr., raport SPR nr 88, Wrocław 1996 (praca nie publikowana).
4. J. BERNACKA: Gospodarka osadowa w Polsce. Mat. sem. „Podstawa oraz praktyka przeróbki i zagospodarowania osadów”, Kraków 1998, ss. 1-1–1-12.
5. E. J. MARTIN, J. H. JOHNSON jr.: Hazardous Waste Management Engineering, New York 1987.
6. Merytoryczne podstawy do opracowania przepisów prawnych dotyczących przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. Praca zbiorowa, Instytut Ochrony Środowiska, Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa 1966 (praca nie publikowana).
7. M. SEBASTIAN, R. SZPADT: Badania nad zestaleniem i stabilizacją odpadów przemysłowych. Inst. Inż. Ochr. Środ. PWr., raport SPR nr 53, Wrocław 1995 (praca nie publikowana).
8. D. STRAUCH: Behandlung von Klärschlamm zur Entseuchung. MUAB Lfg. 6, 5030, 1985.
9. M. STROCZYŃSKA-SIKORSKA: Wytyczne metodyczne do oceny sanitarnej ścieków przeznaczonych do przyrodniczego i rolniczego wykorzystania, Lublin 1995.
10. R. SZPADT: Unia Europejska w sprawie składowania odpadów. EkoTechnika, 1997, nr 4, ss. 18–21.
11. R. SZPADT: Gospodarka odpadami z oczyszczalni ścieków w świetle nowego prawa o odpadach. Mat. sem. projektantów, BPPK, Ustroń 1998, ss. 85–95.

## Potential Uses of Solidified Sewage Sludges

*Digested sludge coming from municipal sewage treatment plants was solidified, using various methods and materials, and then tested for its applicability to further uses. The solidified product was found to be safe in terms of sanitary standards and did not release objectionable odours. The solidification process provided blocking*

*of heavy metals. The mixture of the sludge and the solidifying agent displayed alkaline properties, which are particularly helpful in remedying sour soils. Vegetation tests showed that granular solidified sludge might be used for agricultural needs. It can also be of utility in the recultivation of landfills.*