

mgr inż. Danuta Kukielska,
mgr Elżbieta Uzunow

SUMMARY

The so far applied methods for dealing with sewage are controversial, expensive and dangerous. The new method of obtaining an artificial aggregate out of municipal and industrial waste, developed at the Institute of Mechanised Construction and Rock Mining, is not only cheaper, but also energy efficient and environment friendly.

Wytwarzanie materiałów budowlanych

- sposób na zagospodarowanie osadów ściekowych

Unieszkodliwianie i zagospodarowanie osadów ściekowych jest problemem globalnym. Przez wiele lat odpady te były wykorzystywane w rolnictwie. Z powodu wspólnego odprowadzania ścieków komunalnych i przemysłowych osady ściekowe są zanieczyszczone (związki metali ciężkich, substancje organiczne, bakterie chorobotwórcze, grzyby, jaja pasożytów itp.). Z tego powodu nie spełniają obowiązujących wymagań dla zastosowania bezpośrednio w rolnictwie lub przy produkcji kompostów. Przepisy UE w zakresie ochrony środowiska bardzo ograniczają możliwości składowania osadów i praktycznie wykluczają ich rolnicze wykorzystanie.

W Polsce istnieje ponad 2200 oczyszczalni ścieków komunalnych, które muszą oczyścić ponad 1800 mln m³ ścieków w roku, oraz prawie 1700 oczyszczalni ścieków przemysłowych, oczyszczających rocznie ponad 770 mln m³ ścieków. Daje to ok. 450 tys. Mg suchej masy (s.m.) osadów ściekowych, z czego aż 188 tys. Mg s.m. kierowane jest do składowania.

W końcu 2004 roku na terenie oczyszczalni ścieków nagromadzone było 875 tys. Mg s.m. Szacuje się, że w ciągu najbliższych dziesięciu lat ilość osadów ściekowych wzrośnie prawie dwukrotnie, a powstająca w skali rocznej ilość osadów, szacowana obecnie na ok. 480 tys. Mg s.m., wzrośnie do 520 tys. Mg s.m.

Dotychczas stosowane metody postępowania z osadami ściekowymi są kontrowersyjne, drogie i niebezpieczne. Opracowana w Instytucie Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego nowa metoda otrzymywania kruszywa sztucznego z odpadów komunalnych i przemysłowych jest nie tylko tańsza, ale przede wszystkim energooszczędna i bezpieczna dla środowiska naturalnego.

AKTUALNE SPOSOBY POSTĘPOWANIA Z OSADAMI ŚCIEKOWYMI

Obecnie osady ściekowe utylizuje się metodami termicznymi (spalanie). Ponieważ woda w osadach występuje zarówno w przestrzeni międzykłaczkowej, jak i jest absorbowana w postaci warstw molekularnych w przestrzeni wewnętrznej kłaczków, proces suszenia osadu ściekowego i jego spalania jest bardzo energochłonny i kosztowny, a jego wartość opałowa jest ujemna (osad po stabilizacji – wartość opałowa

około 2-3 MJ/kg, całkowite spalanie bez dodatku paliwa – wartość opałowa 8 MJ/kg). Ujemną stroną tej metody jest emisja niebezpiecznych gazów (m.in. dioksydy) oraz to, że po spalaniu osadów pozostaje znaczna ilość popiołów (około 40% s.m.), które nie mogą być gospodarczo zużytkowane. Sposobem ich zagospodarowania jest zestalanie cementem i składowanie lub wykorzystywanie np. do budowy dróg.

Metody te są kontrowersyjne ze względu na niebezpieczeństwo, jakie niesie ze sobą proces korozji betonów oraz wymywanie się substancji niebezpiecznych. Dlatego niezbędne jest stosowanie środków do stabilizacji substancji niebezpiecznych.

Kształtki cementowe pokrywa się warstwą hydrofobową, np. smołą. Jest to jednak kosztowne i pracochłonne, a warstwa smoły po latach przestaje być szczelna. Można też popioły ze spalarni zużyć do wypełniania asfaltów.

Innym sposobem jest zestalanie metodą wtryskiwania (metodą plazmowego spalania). Proces jest jednak bardzo energochłonny, wymaga kosztownego oczyszczenia spalin, a także nie jest przydatny w przypadku, gdy popioły zawierają dioksyny.

IDEA PRODUKCJI KRUSZYWA SZTUCZNEGO Z OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Opracowana w Instytucie Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego nowa metoda unieszkodliwiania osadów ściekowych została oparta na założeniu, żeby wykorzystać wyłącznie wiele różnych odpadów i zneutralizować je w jednym procesie w celu wytworzenia produktu handlowego (kruszywa lekkiego) do szerokiego zastosowania gospodarczego, spełniającego wymagania jakościowe norm europejskich dla lekkich kruszyw sztucznych.

W technologii wykorzystuje się jako surowiec wyjściowy pyły krzemionkowe tworzące podstawową strukturę nowego kruszywa silikatowego, osady ściekowe, które są składnikiem tworzącym strukturę porowatą kruszywa, oraz drobne frakcje szkła, które stanowiły topnik.

Krzemionka zastosowana w procesie syntezy termicznej kruszyw jest odpadem powstającym podczas produkcji kruszyw naturalnych i niewykorzystywanym gospodarczo ze względu na wielkość ziaren ($< 0,063$ mm). W prezentowanej metodzie jest to cechą pożądaną, ponieważ reakcja syntezy termicznej w fazie stałej jest bardziej efektywna dla surowców drobnoziarnistych.

Osady ściekowe stosuje się w postaci, w jakiej są składowane na składowiskach (jedynie zagęszczone metodami mechanicznymi), bez procesu osuszania. Woda, stanowiąca około 80% masy osadów ściekowych, pozwala na utworzenie granulatu, zmieniając się z czynnika kłopotliwego w pożądaną składnik technologii. Wykorzystanie specyficznych właściwości poszczególnych składników pozwala obniżyć temperaturę procesu o ponad 400°C w porównaniu do wtryskiwania.

OPIS TECHNOLOGII LEKKICH KRUSZYW SZTUCZNYCH Z OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Nowa energooszczędna metoda otrzymywania kruszywa lekkiego z odpadów komunalnych i przemysłowych polega na:

- **zmieszaniu składników odpadowych:**
 - a) uwodnionych osadów ściekowych zawierających pewne ilości składników palnych,
 - b) odpadowego pyłu krzemionkowego z produkcji kruszyw o znacznej zawartości krzemionki,
 - c) rozdrobnionego odpadu szklanego,
- **granulowaniu utworzonej mieszaniny do żądanej wielkości,**

- **spiekaniu otrzymanych granulek do postaci kruszywa** w temperaturze od 900°C do 1100°C w czasie od 1 godziny do 2 godzin.

Podstawową strukturą spieku jest kruszywo silikatowe. Składniki palne mieszaniny pochodzące z osadów ściekowych podczas fazy spiekania wytwarzają gazy, które powodują powstawanie porów w granulach i utworzenie struktury kruszywa lekkiego.

Bardzo ważną cechą opisywanej metody jest to, że związki metali ciężkich obecne w surowcach wyjściowych są wbudowane w strukturę powstającego krzemianu w sposób trwały, tworząc odpowiednie krzemiany – w sposób analogiczny jak ma to miejsce w naturalnych minerałach.

Nie istnieje niebezpieczeństwo wymywania, migracji do otoczenia, nawet podczas rozkruszania lub obróbki metodami mechanicznymi. Co więcej, metoda ta może być stosowana nawet do odpadów zawierających znaczne ilości substancji niebezpiecznych (nawet do kilku procent). Produktem końcowym jest lekkie kruszywo, stabilne w czasie przechowywania i stosowania. Jego właściwości są analogiczne do właściwości innego kruszywa lekkiego – keramzytu – otrzymywanego z surowców naturalnych.

Opracowana metoda wytwarzania sztucznych kruszyw lekkich z odpadów została zgłoszona do Urzędu Patentowego RP – zgłoszenie patentowe Nr P 384611 „Sposób otrzymywania kruszywa lekkiego z odpadów komunalnych i przemysłowych”.

WŁAŚCIWOŚCI KRUSZYWA SZTUCZNEGO Z OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Wytworzone z odpadów kruszywo lekkie ma ciężar nasypowy w stanie luźnym < 1200 kg/m³. Cechą charakterystyczną lekkiego kruszywa silikatowego jest jego odporność na degradację w środowisku naturalnym, wynikająca z niewielkiej reaktywności chemicznej związków krzemianowych. Związki metali ciężkich są wbudowane na stałe w strukturę krystaliczną krzemianu. Poza związkami krzemianowymi kruszywo nie zawiera żadnych obcych dla środowiska naturalnego związków chemicznych, które mogłyby wchodzić w reakcje z otoczeniem, a także nie wprowadza roztworów, które mogłyby reagować np. z cementem.

Zbadano następujące właściwości kruszyw lekkich:

- wymywalność substancji niebezpiecznych (wg PN-EN 1744-3:2002, PN-EN 1233: 2000, PN-EN ISO8288: 2002),
- gęstość nasypową w stanie luźnym (wg PN-EN 1097-3:2000),
- nasiąkliwość (wg PN-EN 1097-6:2002),
- wytrzymałość na miazdzenie (wg PN 78 B-06714/40).

L.P.	TEMPERATURA ZESZKLIWIANIA [°C]	ZAWARTOŚĆ TOPNIKA [%]	METODA BADAŃ	WYNIK BADAŃ [MG/L]	WARTOŚCI DOPUSZCZALNE ¹ [MG/L]
1	900	7,5-15	PN-EN 1233:2000	Cr < 0,05-0,110	0,5
			PN-EN ISO 8288:2002	Cd < 0,02 Cu < 0,05 Ni < 0,10 Pb 0,124 Zn < 0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2,0
2	1000	7,5-15	PN-EN 1233:2000	Cr < 0,05	0,5
			PN-EN ISO 8288:2002	Cd < 0,02 Cu < 0,05 Ni < 0,10 Pb < 0,20 Zn < 0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2,0
3	1100	7,5	PN-EN 1233:2000	Cr < 0,05	0,5
			PN-EN ISO 8288:2002	Cd < 0,02 Cu < 0,05 Ni < 0,10 Pb < 0,20 Zn < 0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2,0

¹Wymagania wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z 28.01.2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego

Tab. 1. Zawartość substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych

Próbki do badań przygotowano w postaci granulatu o wymiarach 15 ± 5 mm.

Badania dowiodły, że zastosowanie syntezy termicznej osadów ściekowych i odpadów mineralnych pozwala uzyskać bezpieczny produkt handlowy – lekkie kruszywo, które może być stosowane jako zamiennik keramzytu.

EKONOMICZNY ASPEKT TECHNOLOGII LEKKICH KRUSZYW SZTUCZNYCH Z OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Handlowa atrakcyjność nowego materiału będzie zależeć przede wszystkim od ceny. Nowatorska, tańsza od dotychczasowych, metoda wytwarzania silikatowych kruszyw lekkich z surowców odpadowych spowoduje, że przemysłowe koszty ich wytwarzania będą niższe od kosztów wytwarzania keramzytu.

Na obniżenie kosztów wpłyną:

- zagospodarowanie odpadowych pyłów z produkcji kruszyw naturalnych – ograniczenie kosztów składowania,
- bezodpadowe zagospodarowanie osadów ściekowych – zmniejszenie opłat za składowanie oraz nakładów na budowę nowych składowisk,
- wykorzystanie ciepła spalania osadów ściekowych – poprawa bilansu energetycznego procesu syntezy,
- niższa energochłonność produkcji (rezygnacja z suszenia osadów ściekowych, niższa temperatura syntezy termicznej),
- rezygnacja z nieodnawialnych surowców naturalnych,
- uproszczenie procesu technologicznego,
- zmniejszenie kosztów inwestycyjnych (rezygnacja z pieca plazmowego do witrafikacji),

TEMPERATURA SPIEKANIA [°C]	ZAWARTOŚĆ TOPNIKA [%]	NASIĄKLIWOŚĆ WG PN-EN 1097-6:2002 [%]
900	7,5-15	20,6-32,9
1000	7,5-15	13,9-31,7
1100	7,5-15	12,9-16,6

Tab. 2. Nasiąkliwość spieków

- bezodpadowe zagospodarowanie osadów ściekowych,
- pobieranie opłat za odbiór odpadów,
- możliwość sprzedaży produktów utylizacji odpadów.

INNOWACYJNOŚĆ TECHNOLOGII LEKKICH KRUSZYW SZTUCZNYCH Z OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Metoda IMBiGS otrzymywania kruszywa lekkiego z osadów ściekowych jest nowatorskim rozwiązaniem w skali światowej. Jest oparta na reakcji składników w fazie stałej, stabilizacja składników szkodliwych (związków metali ciężkich) zachodzi na poziomie cząsteczkowym. Tego typu rozwiązanie jest znacznie bezpieczniejsze dla środowiska niż stabilizacji substancji niebezpiecznych przez cementyzację.

Reakcja w fazie stałej daje podobny efekt jak przy witrafikacji, ale temperatura, w której zachodzi proces, jest o ponad 400°C niższa, co decydująco wpływa na efekt ekonomiczny całego przedsięwzięcia.

Pył krzemionkowy, użyty jako składnik podstawowy w produkcji lekkiego kruszywa, nie wymaga wstępnego przygotowania, a w procesie syntezy termicznej tworzy strukturę krzemianową, w którą wbudowują się tlenki metali ciężkich znajdujące się w osadach ściekowych. Metoda przewiduje za-

L.p.	RODZAJ BADANIA	METODA BADAŃ	WYNIKI BADAŃ KRUSZYWA SZTUCZNEGO Z ODPADÓW FRAKCJA 10-20 MM	KERAMZYT FRAKCJA 10-20 MM (WARTOŚCI DEKLAROWANE PRZEZ PRODUCENTA)
1	nasiąkliwość	PN-EN 1097-6:2002	13,10%	≤ 37%
2	gęstość nasypowa w stanie luźnym	PN-EN 1097-3:2000	320 kg/m ³	≤ 400 kg/m ³
3	wytrzymałość na miążdżenie frakcja 10-16 mm	PN 78 B-06714/40	66,30%	brak danych

Tab. 3. Badania wybranych właściwości fizykochemicznych kruszyw sztucznych, otrzymanych z osadów ściekowych i odpadów mineralnych

stosowanie odpadu krzemionki o wysokiej zawartości SiO₂, dzięki czemu proces syntezy termicznej kruszywa lekkiego jest powtarzalny pomimo niejednorodności składu drugiego składnika budującego kruszywo lekkie – osadu ściekowego. Wytworzony produkt charakteryzuje się powtarzalnymi właściwościami fizykochemicznymi i mechanicznymi. Jest to bardzo ważne dla odbiorców materiałów budowlanych.

Ważnym elementem nowej technologii jest zastosowanie topnika w postaci pyłów szkła (drobnoziarnisty odpad poprodukcyjny, powstający podczas utylizacji zużytych kineskopów, lamp oświetleniowych lub wytworzony z odpadowego szkła gospodarczego), które nie nadaje się do powtórnego przetworzenia w hutach. Odpady szklane obniżają temperaturę reakcji syntezy termicznej i mają podobną do pyłów krzemionkowych strukturę.

Produkt reakcji syntezy termicznej odpadów w fazie stałej – kruszywo lekkie – może być stosowany w bardzo szerokim zakresie, co ma ogromne znaczenie dla intensyfikacji zagospodarowania zalegających na składowiskach osadów ściekowych.

POZYSKIWANIE LEKKICH KRUSZYW SZTUCZNYCH Z OSADÓW ŚCIEKOWYCH W KRAJU I NA ŚWIECIE

Produkcja keramzytu. Produkowane na skalę przemysłową kruszywo lekkie jest otrzymywane na bazie naturalnej gliny poprzez formowanie granulatu i spiekanie w temperaturze około 1200°C. Technologia produkcji keramzytu wykorzystuje wyłącznie surowce naturalne, które są zużywane w sposób nieodwracalny.

Metody wykorzystania osadów ściekowych. Inne znane technologie prowadzące do wykorzystania analogicznych osadów ściekowych stosują znacznie wyższą temperaturę obróbki termicznej lub/ oraz dodatek substancji spajających, takich jak: żywice, gliny itp.

Inne metody wykorzystania osadów ściekowych to m.in:

- syntetyczne kruszywa glinokrzemianowe (wynalazek europejski nr EP 1.841.708) – stosowane są kombinacje glinokrzemianów o niskiej i wysokiej zawartości wapnia,

- wytworzenie konstrukcyjnych elementów budowlanych (wynalazek europejski nr EP 1.571.135) – osady ściekowe łączy się z gliną naturalną,
- wytworzenie spienionego kruszywa (patent USA nr 4.943.233) – wypalanie mieszaniny surowej gliny lub łupków iglastych z odwodnionymi osadami ściekowymi w temperaturze 2000°C w piecu obrotowym,
- wytworzenie kruszyw lekkich (patent USA nr 6.183.242) – utworzenie tak zwanych „peletek” z osadów ściekowych i lotnych pyłów z procesów spalania i spiekania w piecu obrotowym.

WNIOSKI

Otrzymane kruszywo lekkie na bazie osadów ściekowych i odpadów wydobywczych jest produktem w pełni ekologicznym. Nie wprowadza do elementów budowlanych żadnych obcych dla środowiska związków chemicznych. Kruszywo nie zawiera substancji reagujących w środowisku naturalnym, nawet po rozdrobnieniu. Podczas eksploatacji nie są uwalniane żadne środki chemiczne. Ponadto struktura kruszyw, wytworzona na bazie związków krzemianowych, jest analogiczna z występującą w minerałach naturalnych. Zastosowanie syntezy termicznej osadów ściekowych i odpadów mineralnych pozwala uzyskać bezpieczny produkt handlowy, który ze względu na swoje właściwości może być stosowany jako zamiennik keramzytu lub kruszyw naturalnych. Technologia lekkiego kruszywa na bazie osadów ściekowych i odpadów wydobywczych stwarza mniejsze prawdopodobieństwo emisji dioksyn ze względu na wyższą niż podczas rutynowego spalania osadów ściekowych temperaturę gazów spalinowych. Uproszczenie procesu technologicznego, mniejsza energochłonność oraz stosowanie tylko i wyłącznie surowców odpadowych stanowią o jej atrakcyjności w porównaniu z innymi technologiami stosowanymi w unieszkodliwianiu osadów ściekowych. Przemysłowe uruchomienie produkcji kruszyw lekkich wg proponowanej technologii przyczyni się do znaczącej poprawy stanu środowiska naturalnego ze względu na wykorzystanie do produkcji odpadowych surowców, obecnie składowanych. Pozwoli to na odzysk terenów i ograniczenie kosztów składowania oraz zmniejszy zużycie nieodnawialnych surowców naturalnych. □