

Elżbieta Uzunow

Adam Mazela

Zakład Górnictwa Skalnego, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa

# Badanie technologii produkcji kruszyw sztucznych z osadów ściekowych zanieczyszczonych związkami metali ciężkich

Odpady ściekowe, zwłaszcza wielkomiejskie, charakteryzują się tym, że poza składnikami organicznymi zawierają związki metali ciężkich. Dzięki stapianiu, zeszkliwione odpady trwale izolują przed wymywaniem niebezpieczne pierwiastki i ich związki. Artykuł omawia badania, których celem było ustalenie możliwości otrzymywania kruszyw sztucznych z mieszaniny osadów ściekowych i odpadów mineralnych. Zadaniem badaczy było unieszkodliwienie osadów ściekowych zawierających metale ciężkie przez zeszkliwienie do postaci granulatu o nierozpuszczalnej strukturze.

Zuwagi na to, że ze względów biologicznych osady ściekowe muszą być poddawane obróbce termicznej, należy przy ich przetwarzaniu wykorzystać ich składniki organiczne, gdyż są nośnikami energii. Związki metali ciężkich są toksynami, a jednym z najskuteczniejszych sposobów ich unieszkodliwienia jest wysokotemperaturowe zeszkliwienie. Powszechnie wiadomo, że odpady zawierające domieszki surowców takich jak piasek kwarcowy, tlenki aluminium i wapno po stopieniu dają szkło. Doświadczenia prowadzone w różnych wariantach wirtyfikacji – zeszkliwania odpadów pozwalają na uzyskanie wysokiej jakości surowca i odzysk znacznych ilości energii. Zależnie od temperatury i czasu trwania procesu zeszkliwania proces ten może być mniej lub bardziej kosztowny.

Dlatego też, stapiając odpady organiczne (np. ścieki, muły powęglowe itp. odpady) tylko w początkowej fazie potrzeba dopływu znacznej ilości energii, ponieważ w czasie podgrzewania następuje samozapłon i w czasie trwania procesu spalania dostarczane w osadach składniki organiczne są nośnikiem energii podtrzymując wysoką temperaturę. Tym sposobem zapotrzebowanie na energię z zewnątrz spada, co obniża koszty eksploatacji urządzenia i obniża koszty energetycznego przetwarzania odpadów.

## 1. Cel badań

Mając na uwadze przytoczone we wstępie założenia, celem badań było ustalenie (w warunkach laboratoryjnych) możliwości otrzymywania w możliwie najniższej temperaturze i najkrótszym czasie kruszyw sztucznych z mieszaniny osadów ściekowych i odpadów mineralnych z kopalni surowców mineralnych z odpadami zużytego nieprzydatnego przemysłowo, bo zanieczyszczonego odpadami ceramiki i organiki, szkła dowolnego rodzaju. Zadaniem było unieszkodliwienie osadów ściekowych zawierających metale ciężkie przez zeszkliwienie do postaci granulatu o nierozpuszczalnej strukturze. Granulat powinien mieć cechy kruszywa sztucznego, które powstanie w procesie syntezy termicznej i zapewni pełną stabilizację związków metali ciężkich oraz uniemożliwi powstawanie w wyciągach wodnych jonów tych metali.

Celem było:

- osuszenie osadów ściekowych (20% s.m.) przez zmieszanie z wodochłonnymi odpadami mineralnymi,
- optymalizacja temperatury zeszkliwania,
- ustalenie podstawowego składu mieszaniny do spiekania z użyciem różnych rodzajów szkła odpadowego jako niskotemperaturowego topnika,

- poszukiwanie zależności parametrów wytrzymałościowych wyprodukowanego z odpadów kruszywa lekkiego od korelacji pomiędzy warunkami prowadzenia procesu zeszkliwania, a składem zastosowanych odpadów mineralnych,
- opracowanie założeń technologii w skali ćwierć-technicznej i doboru urządzeń do jej realizacji w celu utrzymania powtarzalnych parametrów technologicznych procesu zeszkliwania osadów ściekowych w kruszywa o własnościach fizycznych i mechanicznych umożliwiających ich gospodarcze wykorzystanie.

## 2. Badania wstępne

Na podstawie badań wstępnych stwierdzono, że możliwe jest łączne zeszkliwanie osadów ściekowych, odpadów krzemionki i odpadowego szkła, w temperaturach znacznie niższych niż dotychczas stosowane w procesach wirtyfikacji (1600°C) i procesach spalania osadów ściekowych w cementowniach (1400°C).

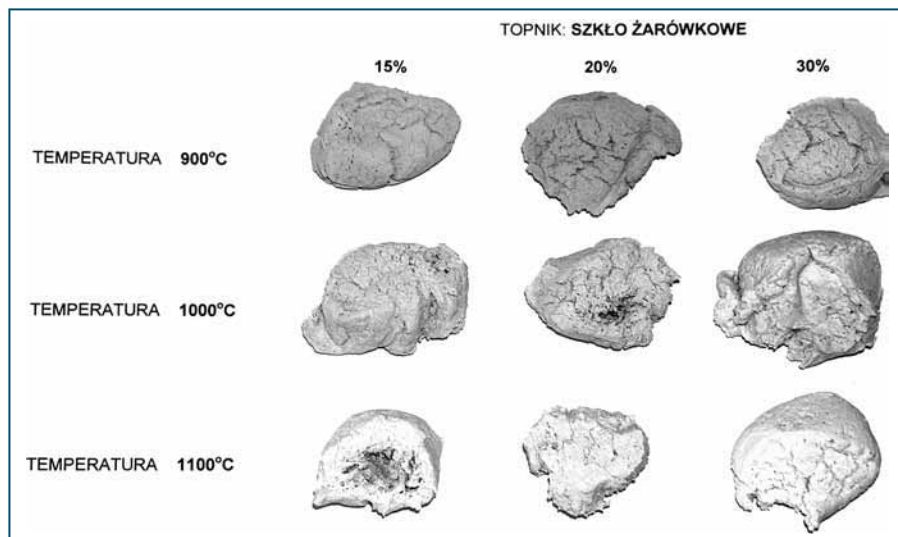
W wyniku wstępnych prac ustalono, że możliwa jest względnie niskotemperaturowa reakcja syntezy umożliwiająca neutralizację metali ciężkich znajdujących się w osadach ściekowych. Wynikiem badań wstępnych było również uzyskanie w wyniku syntezy termicznej takich próbek kruszyw, które spełniały wymagania odpowiednich norm dla kruszyw sztucznych.

W wyniku wstępnych badań zawężono zakres parametrów wejściowych dla prowadzenia reakcji umożliwiających neutralizację osadów ściekowych zawierających metale ciężkie.

Ustalono, że:

- stosunek wagowy krzemionka : szkło : osad ściekowy powinien się zawierać w zakresie 4:1:5
- uziarnienie surowców sypkich powinno mieć uziarnienie < 0,125 mm
- temperatura spiekania gwarantująca pełną reakcję syntezy wynosi 1100 +/- 50°C
- czas spiekania wynosi około 1 godziny

Założono, że bardzo istotnym warunkiem unieszkodliwiania osadów ściekowych jest efektywność technologii recyklingu i dlatego do unieszkodliwiania osadów ściekowych postanowiono użyć dotychczas



Fot. 1. Widok zeszkliwionych w temperaturach 900-1100°C do postaci kruszyw sztucznych mieszanek osadów ściekowych, odpadów krzemionki i szkła dowolnego rodzaju

niezagospodarowanych odpadów wydobywczych z górnictwa kruszyw i węgla oraz odpadowego szkła.

W wyniku wstępnych badań laboratoryjnych potwierdzono możliwość otrzymywania kruszyw sztucznych z osadów ściekowych. Z tego powodu celem bardziej szczegółowych badań parametrycznych było ustalenie jaki wpływ na jakość otrzymywanych sztucznych kruszyw mają warunki prowadzenia procesu. Dotyczyło to zwłaszcza temperatury i czasu reakcji termicznych, gdyż te parametry decydują o efektywności unieszkodliwiania osadów ściekowych oraz właściwości fizykochemicznych kruszywa sztucznego powstającego w wyniku unieszkodliwiania.

### 3. Przebieg badań celowych

- Surowcami użytymi w badaniach były:
- chalcedonit, frakcja 0-1,0 mm o zawartości krzemionki – 98,7%,  $Al_2O_3$  – 0,2% i CaO – 0,1%),
  - osad ściekowy uwodniony o zawartości suchej masy 20,36%, (z oczyszczalni ścieków Gniezno),
  - odpad szklany z różnych źródeł.

Przebieg procesu otrzymywania kruszyw sztucznych z osadów ściekowych i topników przebiegał według zaprogramowanych procedur doboru składu mieszaniny i temperatur reakcji termicznej.

Ustalono, że przebieg reakcji w fazie stałej będzie zależał od:

- składu mieszaniny,
- stopnia rozdrobnienia poszczególnych składników,
- minimalnej temperatury topnienia topnika,
- temperatury spiekania i czasu spiekania.

Badania parametrów cyklu technologii zeszkliwania osadów ściekowych do postaci kruszyw sztucznych odbywało się według następujących operacji technologicznych:

- dobór i ustalenie proporcji mieszaniny surowców sypkich oraz osadów ściekowych,
- mieszanie w celu ujednorodnienia składu mieszaniny składników sypkich tj. piasków, odpadowego
- szkła i chalcedonitu – P z ciekłymi osadami ściekowymi – O,
- granulowanie powstałej mieszaniny P+O,
- poddanie reakcji syntezy termicznej mieszaniny P+O w celu uzyskania fazy stałej – S,
- poddanie obróbce kruszenia i klasyfikacji zeszkliwionej fazy S w celu uzyskania określonych frakcji
- użytecznych kruszyw sztucznych – SK.

Przyjęto, że optymalnym sposobem otrzymywania jednorodnej mieszaniny granulatu do spiekania jest dokładne, wstępne wymieszanie odpadowych frakcji piaskowych odpadu chalcedonitu i odpadu szkła, a następnie po ujednorodnieniu tej mieszaniny, zmieszanie jej w odpowiedniej proporcji z osadami ściekowymi. Założono, że ustalona kolejność procesu mieszania daje gwarancje równomiernego rozprowadzenia topnika w całości mieszaniny.

Założono, że stosunek wagowy surowców sypkich do osadów ściekowych musi umożliwić otrzymanie masy o gęstości pozwalającej formowanie mieszaniny do postaci granulatu.



Fot. 2. Osady ściekowe

Analiza procesu dotyczyła określenia wpływu rodzaju topnika w reakcji na temperaturę zeszkliwania i jakość otrzymanych produktów tj. stopień zapiecenia (zeszkliwienia) i jednorodności spieku.

Jednym z obszarów badań było ustalenie, jaki wpływ na właściwości i jakość uzyskanych spieków ma stosunek wagowy surowców sypkich, zwłaszcza zawierających topnik, w funkcji temperatury syntezy termicznej.

Założono, że temperatury syntezy – procesu zeszkliwania prowadzone dla mieszanin k1-k4 szkła odpadowego i krzemionki będą realizowane w zakresie stopniowanych temperatur  $T =$  od 900 do 1100°C.

Ilość topnika decydująca o obniżeniu temperatury reakcji w fazie stałej oraz dostępność i cena topnika miała decydujący wpływ na jego zawartość w mieszaninie z krzemionką odpadową. Założono, że max ilość krzemionki nie powinna przekraczać 15 %, gdyż we wstępnych doświadczeniach ustalono, że taka proporcja powinna być wystarczająca do zainicjowania reakcji syntezy termicznej.

Dokonano ujednorodnienia mieszaniny sypkiej i osadów ściekowych zawierających około 80% wody w proporcji 1:1. Osady ściekowe, bez wstępnego suszenia, po wymieszaniu z składnikami sypkimi utworzy-

ły plastyczną masę, która nadawała się do formowania w postaci granulki.

Uformowaną masę granulki umieszczano w parownicach kwarcowych i spiekano



Fot. 3. Kruszywa sztuczne



Fot. 4. Ziarna kruszyw

Tab. 1. Przykładowa ocena organoleptyczna spieków otrzymanych w procesie zeszkliwania i wyniki badań dla kolejnych zestawień parametrów wejściowych mieszaniny; rezultaty reakcji termicznej w 900°C mieszanin zawierających jako topnik odpadowe szkło oświetleniowe

Lp.	Skład mieszaniny [%]	Temp. syntezy termicznej [°C]	Czas syntezy termicznej [h]	Ocena spieku	Wnioski		
1	Osad ściekowy 20% s.m	50	900	1	Spiek miękki rozsypujący się pod palcami, zabarwiony jednorodnie w całej masie.	Brak reakcji	
	Chalcedonit, frakcja <0,125mm						42,5
	Szkło oświetleniowe, frakcja <0,125mm						7,5
2	Osad ściekowy 20% s.m	50	900	1	Spiek nieco twardszy miękki, ale rozsypujący się, zabarwienie nieco jaśniejsze jednorodne w całej masie.	Brak reakcji	
	Chalcedonit, frakcja <0,125mm						40
	Szkło oświetleniowe, frakcja <0,125mm						10
3	Osad ściekowy 20% s.m	50	900	1	Spiek twardy, porowaty, zabarwienie najjaśniejsze w tej serii pomiarowej	Reakcja syntezy zapoczątkowana, niekompletna	
	Chalcedonit, frakcja <0,125mm						35
	Szkło oświetleniowe, frakcja <0,125mm						15

w piecu komorowym. Czas spiekania granulak był równy 1 godzinę.

Końcowe temperatury spiekania dla kolejnych prób były 1100, 1000, 900°C.

Po zakończeniu procesu termicznego spieki wyjmowano z pieca i studzono do temperatury pokojowej. Wstępnej oceny jakości procesu zeszkliwania dokonywano organoleptycznie.

Wizualnie oceniano jednorodność, spoiłość i jakość powierzchni zeszkliwionych mieszanin.

#### 4. Wyniki badań celowych

Ocenę procesu zeszkliwania kruszyw sztucznych dokonano według następujących wyznaczników:

Tab. 2. Zestawienie wyników badań zeszkliwania dla kolejnych temperatur; badanie reakcji zeszkliwania osadów ściekowych i surowców sypkich o różnym stopniu rozdrobnienia materiałów sypkich, w tym chalcedonit i odpad szkła oświetleniowego

Lp.	Skład mieszaniny surowców sypkich [%]		Stosunek wagowy materiały sypkie: osady ściekowe	Ocena twardości spieku	Temperatura spiekania [°C]		
	Chalcedonit	Szkło oświetleniowe			900	1000	1100
1	frakcja <0,125 mm	frakcja <0,125 mm		-/+ spiek się kruszy + spiek twardy, porowaty ++ spiek twardy, jednorodny			
	85	15	1:1		-/+	-/+	+
	80	20	1:1		+	++	++
	70	30	1:1		++	++	++
2	frakcja <0,063 mm	frakcja <0,125 mm		-/+ spiek się kruszy + spiek twardy, porowaty ++ spiek twardy, jednorodny			
	85	15	1:1		-/+	-/+	+
	80	20	1:1		+	++	++
	70	30	1:1		++	++	++
3	frakcja <0,063 mm	frakcja <0,063 mm		-/+ spiek się kruszy + spiek twardy, porowaty ++ spiek twardy, jednorodny			
	85	15	1:1		-/+	-/+	+
	80	20	1:1		+	++	++
	70	30	1:1		++	++	++
4	frakcja <0,250 mm	frakcja <0,250 mm		-/+ spiek się kruszy + spiek twardy, porowaty ++ spiek twardy, jednorodny			
	85	15	1:1		-/+	-/+	+
	80	20	1:1		+	++	++
	70	30	1:1		++	++	++

- ocena organoleptyczna twardości i barwy,
- ocena wymywalności substancji niebezpiecznych,
- ocena nasiąkliwości.

#### 4.1. Wstępna ocena organoleptyczna spieków

Przykładową ocenę organoleptyczną spieków otrzymanych w procesie zeszkliwania i wyniki badań dla kolejnych zestawień parametrów wejściowych mieszaniny przedstawiono w Tab. 1.

Na podstawie wykonanych prób stwierdzono, że pyły z frakcji <0,125mm i <0,065mm reagują analogicznie podczas procesu syntezy termicznej, natomiast jeśli zastosować frakcje <0,250 mm obserwuje się miejscowe przebarwienia, świadczące o niejednorodności uzyskanego spieku, natomiast ich twardość jest porównywalna.

#### 4.2. Ocena właściwości fizykochemicznych kruszyw sztucznych

##### 4.2.1. Ocena wymywalności substancji niebezpiecznych kruszyw sztucznych

Ocenę wymywalności substancji niebezpiecznych z poszczególnych próbek sztucznych kruszyw wykonano wg metodyki PN-EN, przyjętej do badania kruszyw.

Wyniki badań wymywalności Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn ze spieków uzyskanych po zeszkliwieniu osadów ściekowych przedstawiono w Tab. 3.

Analizując wyniki badań wymywalności substancji niebezpiecznych z otrzymanego sztucznego kruszywa stwierdzono brak wymywania metali ciężkich powyżej dopuszczalnych normatywnych. Oznacza to, że poprzez realizację operacji zeszkliwania we wszystkich badanych temperaturach otrzymuje się neutralny produkt, w pełni bezpieczny dla środowiska naturalnego.

##### 4.2.2. Badanie nasiąkliwości kruszyw sztucznych

Zbadano nasiąkliwość otrzymywanych spieków wg metodyki określonej w PN-EN 1097-6:2002

Otrzymane rezultaty przedstawia Tab. 4.

Badanie nasiąkliwości otrzymywanych kruszyw sztucznych wykonano w/g PN EN 1097-6:2002

Przedstawione wyniki badań potwierdzają, że nasiąkliwość otrzymanych w procesie syntezy termicznej produktów jest niższa dla spieków, w których reakcja syntezy termicznej zachodzi w sposób kompletny. Produkt końcowy- spiek krzemianowy, w którym wszystkie związki nieorganiczne z osadów ściekowych są wbudowane w sieć krystaliczną krzemianu ma strukturę porowatą, wynikającą z wypalenia części organicznych osadów ściekowych. Wielkość i ilość tych porów, która wpływa na nasiąkliwość otrzymywanego kruszywa sztucznego jest uzależniona nie tylko od ilości osadów ściekowych w mieszaninie do spiekania, ale także od sposobu ujednorodnienia ww. osadów z odpadami mineralnymi.

Tab. 3. Wyniki badań wymywalności Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn ze spieków uzyskanych po zeszkliwieniu osadów ściekowych; ocena wymywalności substancji niebezpiecznych

Lp	Próbka zeszkliwiona		Rodzaj badania	Metoda	Wyniki badań [mg/l]	Dopuszczalne do [mg/l]
	Temperatura [°C]	Zawartość topnika [%]				
1	900	7,5	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233:2000	Cr- 0,110	0,5
				PN-EN ISO8288:2002	Cd- <0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- 0,124 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2
2	900	10	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233:2000	Cr- 0,092	0,5
				PN-EN ISO8288:2002	Cd- < 0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- 0,087 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2
3	900	15	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233:2000	Cr <0,05	0,5
				PN-EN ISO8288:2002	Cd- <0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- 0,51 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2
4	1000	7,5	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233:2000	Cr <0,05	0,5
				PN-EN ISO:2002 8288	Cd- <0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- <0,2 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2
5	1000	10	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233:2000	Cr <0,05	0,5
				PN-EN ISO 8288:2002	Cd- <0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- <0,2 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2
6	1000	15	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233: 2000	Cr <0,05	0,5
				PN-EN ISO8288:2002	Cd- <0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- <0,2 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2
7	1100	7,5	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233:2000	Cr <0,05	0,5
				PN-EN ISO 8288:2002	Cd- <0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- <0,2 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2
8	1100	10	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233: 2000	Cr <0,05	0,5
				PN-EN ISO8288:2002	Cd- <0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- <0,2 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2
9	1100	15	Oznaczanie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233: 2000	Cr <0,05	0,5
				PN-EN ISO8288:2002	Cd- <0,02 Cu <0,05 Ni- <0,1 Pb- <0,2 Zn- <0,09	0,2 0,5 0,5 0,5 2

#### 4.2.3. Badania odporności na ścieranie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zmiana rodzaju topnika pozwala uzyskać poprawę właściwości mechanicznych uzyskanych spieków, ale w dalszym ciągu otrzymane kruszywo jest mało odporne na ścieranie podczas spiekania w temperaturze 1100°C. Zwiększenie temperatury powoduje wzrost odporności na ścieranie, ale uważamy, że należy poszukiwać innych niż temperaturowe sposobów na osiągnięcie lepszych rezultatów, np. przez dopracowanie sposobu homogenizacji frakcji organicznych i nieorganicznych oraz zbadanie możliwości stosowania innych niż chalcodonit odpadów mineralnych.

Tab. 4. Wyniki badań nasiąkliwości spieków o różnej zawartości topnika, uzyskiwanych w temperaturach od 900 do 1100°C

Zawartość topnika [%]	Temperatura spiekania [°C]	Nasiąkliwość [%]
7	900	32,9
	1000	31,7
	1100	16,6
10	900	20,6
	1000	25,8
15	1100	15,1
	900	22,3
	1000	13,9
	1100	12,9

Tab. 5. Wyniki badań mechanicznych fizycznych właściwości kruszyw sztucznych – oznaczenie odporności na ścieranie

Lp.	Rodzaj topnika	Temperatura zeszkliwania [°C]	Rodzaj badania	Metoda	M <sub>DE</sub> [%]	Uwagi
1	Szkoł odpadowe S.k	1100	Oznaczenie odporności na ścieranie	PN-EN 1097-1:2000	94,57	M <sub>DE</sub> dla kruszyw naturalnych wynosi około 30
2	Szkoł odpadowe S.o.	1100			90,12	
3	Szkoł odpadowe z przemysłu S.op.	1200			77,15	

Tab. 6. Badania wybranych właściwości mechanicznych i fizycznych kruszyw sztucznych, otrzymywanych z osadów ściekowych i odpadów mineralnych

Lp.	Rodzaj badania	Metoda	Wyniki badań
1	Oznaczenie nasiąkliwości	PN-EN 1097-6:2002	13,1%
2	Oznaczenie odporności na ścieranie.	PN-EN 1097-1:2000	M <sub>DE</sub> 77,15 %

## 5. Wnioski z laboratoryjnej technologii otrzymywania sztucznych kruszyw z osadów ściekowych

Na podstawie dotychczasowych prób ustalono parametry procesu otrzymywania sztucznych kruszyw z osadów ściekowych.

Ustalono w skali laboratoryjnej parametry procesu syntezy termicznej sztucznych kruszyw należy traktować jako wstępne oszacowanie, w jakim zakresie temperatur możliwe jest wytwarzanie kruszyw sztucznych z odpadów mineralnych i osadów ściekowych.

Bardziej szczegółowe ustalenia będą zaprezentowane po wykonaniu badań wielkolaboratoryjnych.

Ostateczna optymalizacja procesu zeszkliwania odpadów na podstawie porównania własności fizykomechanicznych wytwarzanego sztucznego kruszywa będzie wynikiem nie tylko zmiany składu, ale również sposobu przygotowania mieszaniny do spiekania, przygotowania granulatu i innych operacji wykonywanych na odpowiednich urządzeniach, np. do granulowania bardziej zagęszczonych osadów itd.

Tab. 7. Badanie wymywalności Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn ze spieków uzyskanych po zeszkliwieniu kruszyw sztucznych, otrzymywanych z osadów ściekowych i odpadów mineralnych

Lp	Rodzaj badania	Metoda badania	Wyniki badań [mg/l]	Dopuszczalne do [mg/l]
1	Oznaczenie zawartości substancji niebezpiecznych w wyciągach wodnych wg PN-EN 1744-3	PN-EN 1233: 2000	Cr <0,05	0,5
		PN-EN ISO8288: 002	Cd- <0,02	0,2
			Cu <0,05	0,5
			Ni- <0,1	0,5
			Pb- <0,2	0,5
			Zn- <0,09	2

## 6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań w warunkach laboratoryjnych otrzymywania kruszyw sztucznych z mieszaniny osadów ściekowych i odpadów mineralnych z kopalni surowców mineralnych i odpadami zużytego nieprzydatnego przemysłowo szkła. Założeniem badań było unieszkodliwienie osadów ściekowych zawierających metale

ciężkie przez zeszkliwanie do postaci granulatu o nierozpuszczalnej strukturze. Granulat w aktualnej postaci nie uzyskał wszystkich cech kruszywa sztucznego, które powstało w procesie syntezy termicznej, ale spełnił założenia pełnej stabilizacji związków metali ciężkich oraz uniemożliwia powstawanie w wyciągach wodnych jonów tych metali. Prace nad uprzemysłowieniem technologii są kontynuowane.



Ad 3. Zaadsorbowana woda w postaci warstwy koloidalnej może być usunięta z osadu na drodze mechanicznego odwadniania, po uprzednim dodaniu polimerów. W wysokospirawnych urządzeniach odwadniających można osiągnąć stężenie osadu nawet do 40% sm. Woda związana wewnątrz komórek może być usunięta tylko drastycznymi metodami np. termicznymi. Suszenie termiczne pozwala na uzyskanie produktu końcowego o stężeniu 92-98% sm.

Ad 2. **Prawda.** Wiązanie fosforu w postaci soli metali (np. Mg, Al, Fe, struwitu) zapobiega powracaniu fosforu w formie rozpuszczonej do strumienia ścieków. W korzystnych warunkach nawet 75% uwolnionego fosforu może być powtórnie wiązane w osadzie.

D. Temperatura – w niższych temperaturach produkowana jest większa ilość osadu nadmiernego, ponieważ następuje spadek intensywności wewnętrznego metabolizmu osadu.

B. Wiek osadu – dłuższy wiek osadu powoduje obniżenie przyrostu osadu na skutek większego stopnia mineralizacji jego frakcji organicznej.

A. Skład ścieków surowych, a zwłaszcza wielkość frakcji ChZT nierozkładalnego i ChZT nierozkładalnego na drodze biologicznej – zwiększona ilość ChZT nierozkładalnej i obecnego w postaci zawiesziny w wodzie zwiększenie ilości osadu produkowanego na oczyszczalni.

Ad 1.

Odpowiedzi: