



AGH  
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

## Technologie odzysku odpadów energetycznych



Barbara Tora

XXVI Międzynarodowa Konferencja  
POPIOŁY Z ENERGETYKI  
Sopot, 08–10.10.2019

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



AGH

## Uwarunkowania zagospodarowania UPS



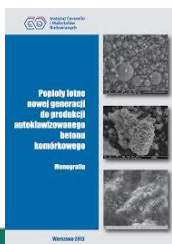
- gospodarka o obiegu zamkniętym
- bezpieczeństwo surowcowe





## Determinanty wykorzystania odpadów energetycznych

- ilość i jakość wytworzonych odpadów – stopień zgodności z normami dla danego produktu lub grupy produktów wyprodukowanych na ich bazie;
- właściwości fizykochemiczne, poziom toksyczności i radioaktywności (m.in. zmiany masy przy prażeniu, skład granulometryczny i fazowy, zawartość związków siarki, stężenie pierwiastków naturalnie promieniotwórczych oraz ilość wolnego tlenu wapnia);



[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Determinanty

- lokalizacja odbiorców względem wytwórców;
- możliwości i koszty transportu odpadów do miejsc ich magazynowania, odzysku i do odbiorców końcowych (miejsc ich wykorzystania);
- możliwości magazynowania odpadów;
- możliwości i koszt poddania wytworzonych odpadów uzdatnieniu;
- warunki i koszty wytwarzania produktów na bazie odpadów;
- chłonność rynku dla danego produktu lub grup produktów na bazie odpadów



## Rodzaje odpadów energetycznych

- popioły lotne,
- żużle paleniskowe,
- popioły denne,
- mieszanki popiołowo-żużlowe,
- mikrosfery (odzyskiwane z popiołów lotnych i żużli oraz ich mieszanin),
- produkty odsiarczania spalin,
- gipsy poreakcyjne

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Właściwości UPS zależą od

- zapotrzebowania na energię – wielkości produkcji (sezonowość),
- rodzaju i jakości zastosowanego paliwa (węgiel brunatny/kamienny lub współspalanie z biomasą, paliwami alternatywnymi),
- różnych dostawców paliwa,
- rodzaju kotłów, sposobu prowadzenia spalania,
- rodzaju instalacji do odsiarczania spalin,
- rodzaju sorbentu zastosowanego w procesie odsiarczania,
- parametrów poszczególnych urządzeń,
- sprawności kotłów i innych instalacji – stanu technicznego.

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



AGH

## Zagospodarowanie

- przemysł materiałów budowlanych – w tym przemysł cementowy, ceramiczny i budownictwo (ok. 23% wytworzonych odpadów)
- drogownictwo i prace inżynieryjne (ok. 18%),
- górnictwo – (niektórzy traktują wykorzystanie UPS-ów w podziemnych technologiach górniczych jako składowanie (ok. 8%).

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



AGH

## Zagospodarowanie – inne (ok. 10%)

- rolnictwo,
- rekultywacja terenów zdegradowanych, ochrona środowiska,
- synteza zeolitów,
- odzysk metali ziem rzadkich,
- produkcja tworzyw sztucznych i farb

Deponowanie na składowiskach 41%

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Zastosowanie w górnictwie

- Podsadzka hydrauliczna i samozestalająca
- Profilaktyka przeciwpożarowa,
- Wzmacnianie i stabilizacja górotworu
- Doszczelnianie zrobów
- Likwidacja wyrobisk
- Wydzielanie pól metanowych (odzysk metanu)

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Materiały budowlane i budownictwo

- produkcja klinkieru cementu portlandzkiego
- produkcja cementu i spoiw pucalanowych
- produkcja betonów komórkowych i prefabrykatów betonowych
- produkcja lekkiego kruszywa
- produkcja ceramiki budowlanej (jako dodatek schudzający lub surowiec podstawowy)
- produkcja asfaltobetonu
- produkcja materiałów termoizolacyjnych

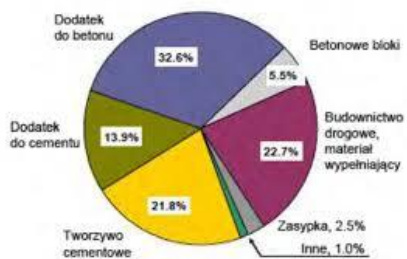
[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Rolnictwo

- Nawozy,
- Odkwaszanie gleb,
- Porost traw

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



Źródło: Instytut Odlewnictwa Kraków



## Najważniejsze kierunki odzysku odpadów energetycznych

- przemysł materiałów budowlanych
- budownictwo,
- drogownictwo
- górnictwo podziemne,



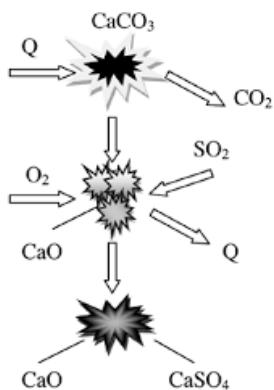
## Drogi i roboty inżynieryjne

- Stabilizacja gruntów
- Budowa nasypów
- Wały przeciwpowodziowe





## Ochrona środowiska



- Neutralizacja ścieków ,
- Sorbenty dla ropopochodnych,
- Oczyszczanie spalin
- Spalanie osadów ściekowych

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Materiały zaawansowane

- Zeolity
- Sialony
- Geopolimery
- Odzysk metali ziem rzadkich
- Odzysk magnetytu
- Zamrażanie górotworu w wiertnictwie ropy i gazu
- Kompozyty polimerowe,
- Tworzywa sztuczne i farby
- Składnik zasyпки hutniczej

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)





AGH

## Materiały zaawansowane

- produkcja kruszyw lekkich (np. Certyd®, Pollytag®)
- nawozów mineralnych, wykorzystanie odpadów jako napełniaczy w technologiach przetwarzania materiałów polimerowych
- Jako składniki kompozytowe czy jako źródło metali ziem rzadkich.
- Odpady energetyczne znajdują zastosowanie w ochronie środowiska jako sorbenty pochłaniające substancje ropopochodne lub zawiesiny stosowane w mineralnej sekwestracji CO<sub>2</sub>

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



AGH

Badania prowadzone są również nad możliwościami zastosowania do tej pory niewykorzystywanych na szeroką skalę odpadów energetycznych w znanych produktach/procesach, np. wykorzystanie popiołu lotnego wapiennego, powstającego przy spalaniu węgla brunatnego, w produkcji innowacyjnych **spoiw cementowych i betonów**.

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## AGH Zeolity

Uwodnione glinokrzemiany o porowatej strukturze krystalicznej, występują powszechnie w środowisku naturalnym.



Dzięki specyficznym właściwościom popiołów lotnych (znaczny udział materiału szklanego, porowatość, regularność kształtów i jonowymiennosc) możliwe jest otrzymywanie z nich syntetycznych zeolitów.

Najczęściej stosuje się popioły lotne z kotłów pyłowych, gdyż zawierają one dużą ilość  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  w postaci amorficznego szkliwa glinokrzemianowego oraz niewielką ilość  $\text{CaO}$ .

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## AGH Zeolity – zastosowanie

- w wielu gałęziach przemysłu
- przemyśle chemicznym, mikroelektronice,
- ochronie środowiska, medycynie, optyce i rolnictwie.

Szerokie zastosowanie zeolitów jest możliwe dzięki ich właściwościom adsorpcyjnym, katalitycznym oraz jonowymiennym

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Sialony

Sialony to materiały ceramiczne nowej generacji, są to związki tlenoazotowe krzemu i glinu, które cechuje:

- wysoka wytrzymałość,
- doskonała odporność na wstrząsy termiczne,
- niski współczynnik tarcia,
- odporność na ścieranie.



[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Sialony – zastosowanie

- do produkcji narzędzi skrawających oraz elementów silników tłokowych i turbinowych
- Wykorzystanie popiołów lotnych w syntezie sialonów (np.  $\beta$ -Sialonów) ma przede wszystkim znaczenie ekonomiczne – znacznie obniża koszt ich produkcji i może zastąpić dodatki takie jak  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{ON}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}$  i  $\text{Al}$ , które są relatywnie drogie

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Geopolimery



Geopolimery to *nieorganiczne, amorficzne, syntetyczne polimery glinokrzemianowe*, składem chemicznym przypominają zeolity.

Na bazie geopolimerów uzyskanych z popiołów lotnych (a także żużli) tworzy się przede wszystkim betony geopolimerowe, odznaczające się wysoką porowatością (co wpływa na ich wytrzymałość), stabilnością wymiarów, wysoką wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie, zwiększoną odpornością na korozję chemiczną oraz na działanie niskich temperatur, wysoką ogniotrwałością, a także silnie zasadowym składem.

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Geopolimery (zielony beton) zastosowanie

- w budownictwie (przemysłowym lub komunikacyjnym),
- w odlewnictwie,
- przy produkcji kompozytów,
- w przemyśle aeronautycznym.
- spoiwa przy produkcji materiałów żaroodpornych, izolacji termicznych, żywic, farb, materiałów biomedycznych, kompozytów oraz stabilizacji odpadów radioaktywnych i toksycznych,
- powłoki ochronne na rurociągi i kominy przemysłowe, powłoki antykorozyjne, pochłaniacz wilgoci

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Kruszywa lekkie – Certyd®

Certyd® jest nazwą handlową lekkiego kruszywa spiekanego stosowanego między innymi w drogownictwie, budownictwie i ogrodnictwie.

Wykorzystywany w produkcji betonów konstrukcyjnych i jamistych, posadzek i stropów przemysłowych, warstw termoizolacyjnych i drenażowych, zapraw, tynków i elementów ciepłochronnych.



[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Certyd® właściwości

- wysoka wytrzymałość mechaniczna,
- doskonałe parametry termoizolacyjnymi,
- wysoka ognioodporność,
- mała waga,
- wysoka mrozoodporność,
- wysoka odporność na działanie czynników chemicznych i atmosferycznych

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



AGH

## Kruszywa lekkie - zastosowanie

warstwy drenujące i filtracyjne,  
pasy wytracania szybkości oraz podbudowy  
drogowe.

W budownictwie,  
składniki betonów i materiałów termoizolacyjnych,  
stosowane w budowie mostów i wiaduktów.

Kruszywa lekkie wykorzystywane są również w  
górnictwie jako składnik materiału podsadzkowego

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)

AGH

## Nawozy

Zastosowanie w produkcji nawozów popiołów  
lotnych poprawia własności fizyczne gleby,  
zwiększa pojemność sorbentów glebowych  
(stałych składników gleby, które biorą udział w  
wymiennej sorpcji jonów z roztworu glebowego),  
chłonność wody, zmniejsza gęstość gleby i alkalizuje  
gleby kwaśne.

Popioły zawierają niezbędne składniki do życia  
roślin, między innymi magnez

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Reagips w rolnictwie

dostarcza odpowiednie składniki odżywcze dla roślin, takie jak **wapń i siarka**, przyczynia się do zmniejszenia spływu nawozów i środków owadobójczych, eliminuje z gleby toksyczny dla roślin **glin**. **Gips** poprawia struktury gleby oraz usuwa z niej **sód**. Dostarczana do gleby siarka podtrzymuje funkcje życiowe roślin, pozwala na uniknięcie strat azotu i chroni rośliny przed infekcją grzybów; **wapń** reguluje odczyn gleby

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Odzysk metali ziem rzadkich

Spalanie węgla prowadzi do wzbogacenia pierwiastków metali w jego stałych odpadach, tj. popiołach lotnych i żużlach oraz ich mieszaninach.

Zawartość REE zależy od:

- rodzaju związków chemicznych w węglu;
- procesów termiczny – spalanie, zgazowanie, koksowanie lub spiekanie;
- rodzaju paleniska;
- systemu wydzielenia stałych odpadów procesu spalania węgla.

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Napełniacze w kompozytach

polipropylen, poli(chlorek winylu), polietylen,  
poli(tereftalan etylenu)

Produkty charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi, większą odpornością na ścieranie oraz mniejszą palnością.

Zastosowanie popiołów lotnych jako napełniaczy powoduje obniżenie naprężenia zrywającego i odkształcania kompozytów, wzrost modułu sprężystości i twardości, a kompozyty nie ulegają kruchemu pękaniu.

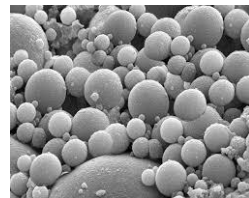
[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Mikrosfery

Jako wypełniacze w produkcji kompozytów stosuje się również mikrosfery (zwane także cenosferami), frakcję wydzieloną z popiołów podczas spalania węgla kamiennego.

Na szeroką skalę stosowane są one przy produkcji materiałów budowlanych, zwiększając termoizolacyjność i ognioodporność wyrobów. Dzięki ich wykorzystaniu kompozyty zmniejszają nasiąkliwość i zyskują niższą gęstość pozorną



[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)

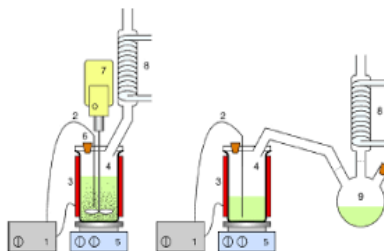




## Zawiesiny w mineralnej sekwestracji CO<sub>2</sub>

Zawiesiny wodne odpadów energetycznych o wysokiej zawartości CaO i wolnego CaO mogą być stosowane do sekwestracji CO<sub>2</sub>.

Badania potwierdziły, że zawiesiny popiołowo-wodne mogą być z powodzeniem stosowane do oddzielania i wychwytywania dwutlenku węgla ze spalin na drodze mineralnej karbonatyzacji.

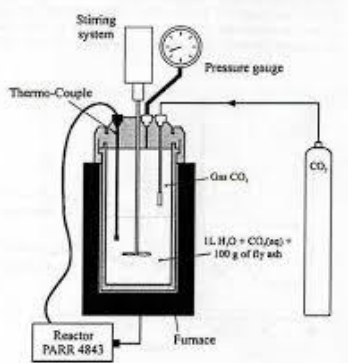


[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Mineralna karbonatyzacja

czyli uwęglanowanie reakcja dwutlenku węgla z tlenkami metali, np. magnezu, wapnia lub żelaza, której wynikiem są nierozpuszczalne węglany



[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



## Literatura



- P. Mazur, J. Mięka i J.S. Kowalski, „Odporność na korozję geopolimeru na bazie popiołu lotnego”, *Archives of Foundry Engineering*, vol. 13, nr 1, s. 83-86, 2013
- E. Piątkowska, A. Pała i J. Biegańska, „Przegląd dostępnych metod unieszkodliwiania i zagospodarowania odpadów pochodzących z procesów termicznych”, w J. Biegańska, M. Landrat i J. Arent, Red. Paliwa z *odpadów. Wyzwania XXI wieku*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013, s. 143-152.
- K. Rajczyk, E. Giergiczny i M. Szota, „Mikrostruktura i właściwości stwardniałych spoiw geopolimerowych z popiołu lotnego”, *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, vol. 8, nr 23, s. 79-89, 2015.  
<http://smconcrete.polsl.pl/> dostęp 21-09-2019
- E. Strzałkowska, *Charakterystyka właściwości fizykochemicznych i mineralogicznych wybranych ubocznych produktów spalania węgla*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2011.
- D. Szczygielska, „Minerały antropogeniczne”, *Express Przemysłowy*, nr 9, s. 16-21, 2016.
- T. Szczygielski, „W kierunku bezodpadowej energetyki węglowej – uzdatnianie minerałów antropogenicznych w procesach energetycznych”, w A. Kornacki, Red., *Popioły z energetyki*. Warszawa: Polska Unia UPS, 2016, s. 249-256.

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)


## Literatura



- M. Cała, A. Tajduś, R. Pomykała, R. Przyszaś, J. Adamczyk, A. Stopkowicz, W. Kępyś, D. Wałach, M. Blajer i M. Kolano, „Odpady energetyczne i wydobywcze jako składniki produktów dla górnictwa, budownictwa i geoinżynierii”, w A. Kornacki, Red. *Popioły z energetyki*, Warszawa: Polska Unia UPS, 2016, s. 145-158.
- K. Galos i A. Uliasz-Bocheńczyk, „Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce”, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, vol. 21, nr 1, s. 23-42, 2015.
- J.J. Hycnar i B. Tora, „Analiza zawartości wybranych metali w węglach i produktach ich spalania”, *Cuprum: czasopismo naukowo-techniczne górnictwa rud*, nr 2, s. 157-168, 2015.
8. J.J. Hycnar, T. Szczygielski i B. Tora, „Current state and prospects of increased product-oriented utilization of CCPs”, *Inżynieria Mineralna*, vol. 15, nr 1, s. 131-142, 2014.
9. J.J. Hycnar, T. Szczygielski, N. Lysek i K. Rajczyk, „Kierunki optymalizacji zagospodarowania ubocznych produktów spalania węgla”, *Piece Przemysłowe & Kotły*, nr 5-6, s. 16-27, 2014  
<http://www.surowcenaturalne.pl/strona/uboczne-produkty-spalania-%E2%80%93-odpadprodukt-surowiec> dostęp: 21-09-2019

Inwentaryzacja innowacyjnych technologii odzysku odpadów energetycznych, 123, 108--