# WYKORZYSTANIE ZUŻYTYCH PANELI FOTOWOLTAICZNYCH DO SYNTEZY SORBENTÓW WYCHWYTUJĄCYCH GAZOWE FORMY RTĘCI EMITOWANE Z KONWENCJONALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

**CZARNA-JUSZKIEWICZ D.**; KUNECKI P.*; WDOWIN M.*; GŁOWIENKO T.**; OSUCHOWSKI Ł.***; LELEK Ł.***

*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków
**Geminus Sp. z o.o.
*** Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego

## WPROWADZENIE

### PORUSZONE PROBLEMY BADAWCZE:

1. **Rosnąca ilość odpadów w postaci zużytych paneli fotowoltaicznych.**
2. **Emisja rtęci elementarnej będącej składnikiem gazów spalinowych.**

### POTRZEBA OPRACOWANIA METOD RECYKLINGU ZUŻYTYCH PANELI FOTOWOLTAICZNYCH

Skuteczne zarządzanie zużytymi panelami fotowoltaicznymi jest kluczowe dla zapewnienia zrównoważonej gospodarki oraz gospodarki o obiegu zamkniętym.

Ze względu na obecność szkodliwych związków zawartych w wycofanych z eksploatacji modułach fotowoltaicznych (m.in.: metale ciężkie, substancje polimerowe: octan etylenu i winylu, politereftalan etylenu i polifluorek winylidenu) składowanie ich na składowiskach stanowi poważne zagrożenie dla środowiska.

Szacuje się, że na koniec 2050 r. strumień odpadów stanowiący zużyte panele fotowoltaiczne może osiągnąć nawet 60-70 MT.

### KONIECZNOŚĆ OPRACOWANIA SKUTECZNYCH METOD USUWANIA RTĘCI ELEMENTARNEJ

Rtęć jest niebezpiecznym pierwiastkiem wykazującym silne zdolności biomagnifikacji i bioakumulacji.
Zgodnie z danymi Amerykańskiego Rejestru Substancji Toksycznych i Schorzeń (ang. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) rtęć zajmuje trzecie miejsce wśród substancji najbardziej niebezpiecznych dla zdrowia człowieka.

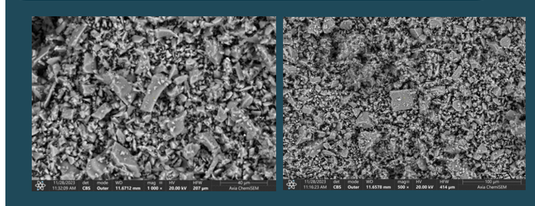
Jednym z głównych źródeł emisji rtęci do środowiska jest przemysł energetyczny, a kwestie dotyczące emisji i jej ograniczeń regulowane są przez akty prawne, głównie dyrektywę w sprawie emisji przemysłowych (IED) - BREF/BAT.

## MATERIAŁ BADAWCZY I METODOLOGIA

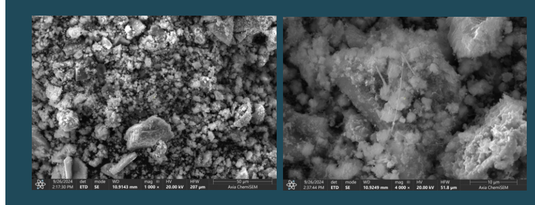
Materiał do syntez stanowiła frakcja bogata w krzem otrzymana jako produkt uboczny termolizy paneli fotowoltaicznych. Syntezę przeprowadzono wykorzystując metodę hydrotermalną. Źródło glinu w reakcji stanowiła folia aluminiowa.

UBOCZNY PRODUKT TERMOLIZY PANELI FOTOWOLTAICZNYCH BOGATY W KRZEM + FOLIA ALUMINIOWA + NaOH c=2,5 M $\xrightarrow[\text{t= 6 dni}]{\text{T=60 °C}}$ ZEOLIT Na-A + RESIDUUM

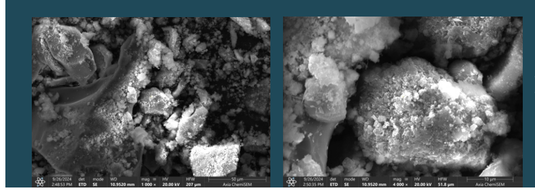
## WYNIKI



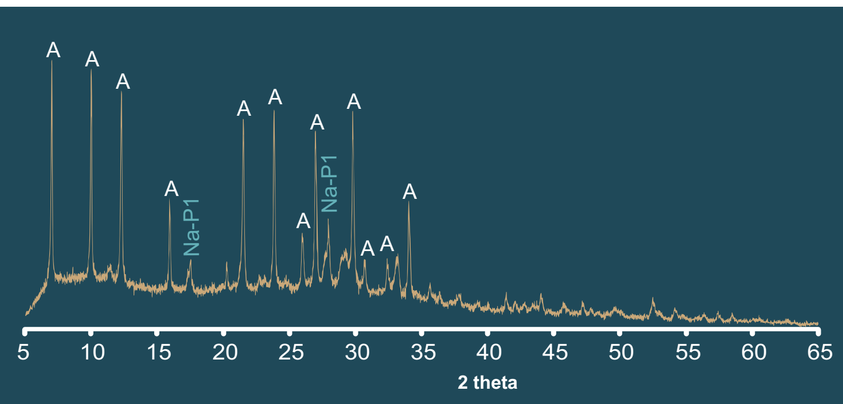
Rys. 1 Mikrofotografie SEM ubocznego produktu termolizy paneli fotowoltaicznych - frakcja bogata w krzem



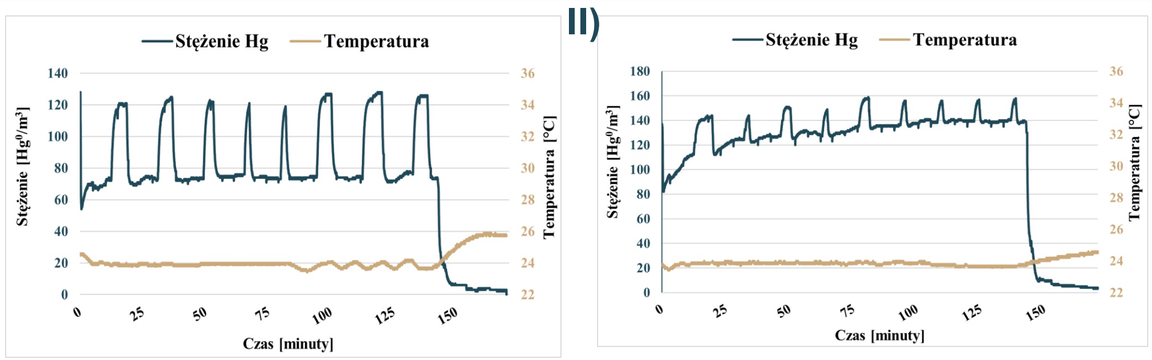
Rys. 2 Mikrofotografie SEM zeolitu aktywowanego roztworem azotanu srebra o stężeniu równym 0,1 M



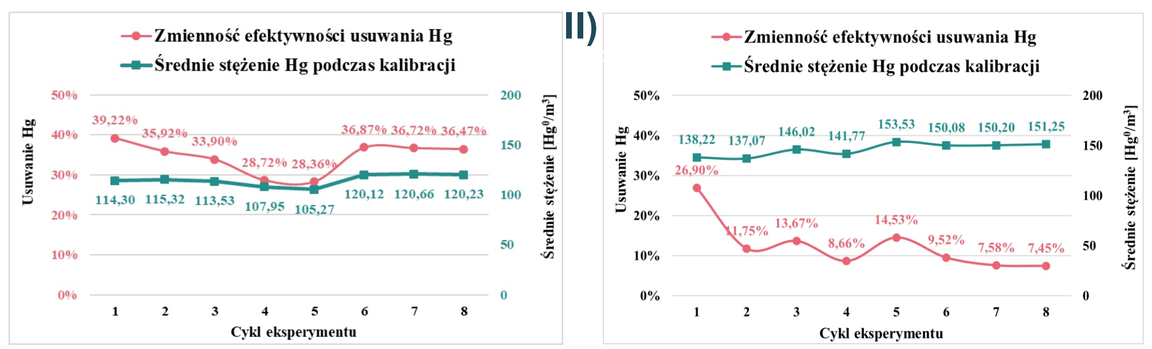
Rys. 3 Mikrofotografie SEM zeolitu aktywowanego roztworem azotanu srebra o stężeniu równym 0,01 M




Rys. 4 Dyfraktogram składu mineralnego zeolitu otrzymanego z produktu ubocznego termolizy paneli fotowoltaicznych.




Rys. 5 Wyniki testu usuwania $Hg^0$ przez zeolit A aktywowany I) 0,1M $AgNO_3$, II) 0,01M $AgNO_3$.




Rys. 6 Przebieg cyklu sorpcji $Hg^0$ dla zeolitu A aktywowanego I) 0,1M $AgNO_3$, II) 0,01M $AgNO_3$.

## WNIOSKI

- Przedstawione badania wykazują możliwość wykorzystania ubocznego produktu powstającego podczas termolizy paneli fotowoltaicznych jako głównego surowca do syntezy zeolitów, które z kolei można wykorzystać jako sorbenty $Hg^0$.
- Przeprowadzona analiza XRD wykazała obecność zeolitu typu A oraz NaP1. Procentowy udział faz krystalicznych ściśle zależał od stosunku molowego głównych składników – Si/Al. Przy stosunku molowym Si/Al wynoszącym około 2 uzyskano dobrze wykształcony zeolit A z niewielkim udziałem NaP1. Zmniejszający się udział Al w reakcji spowodował zmniejszenie ilości zeolitu A na korzyść NaP1. Przy najniższym stosunku molowym Si/Al (poniżej 0,3) zaobserwowano wysoką zawartość fazy amorficznej.
- Aktywacja zeolitu roztworem azotanu srebra zwiększyła efektywność sorpcji $Hg^0$. Najlepszy rezultat (ok. 40 %) uzyskani dla próbek aktywowanych 0,1 mol/dm$^3$ $AgNO_3$. Badanie sorpcji prowadzono w atmosferze argonu, w temperaturze 24°C w celu uniknięcia zmian specjacji rtęci.

XXXVII Konferencja z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, 20-23 października 2024 r., Zakopane

This work was supported by National Science Centre, Poland grant no 2021/41/N/ST5/03214 „Physicochemical modification of natural and synthetic zeolites: how does it affect the mechanisms and interactions with elemental mercury in polluted gas stream?"