

Streszczenie

Rosnące stężenie atmosferycznego CO₂ wymaga opracowania zrównoważonych materiałów sorpcyjnych do efektywnego wychwytywania dwutlenku węgla. Niniejsza rozprawa dotyczy waloryzacji strumieni odpadów bogatych w węgiel do porowatych materiałów węglowych przeznaczonych do wychwytywania CO₂ w ramach koncepcji cyrkularnego wykorzystania materiałów. Zbadano trzy strukturalnie odmienne prekursory: biomasę drzewną, odzyskany sadzę techniczną z opon wycofanych z eksploatacji oraz grafit ze zużytych akumulatorów litowo-jonowych. Aktywacja chemiczna z udziałem związków potasu została zastosowana jako wspólna strategia syntezy w celu określenia zależności struktura–właściwości–efektywność oraz oceny przydatności wybranych materiałów jako stałych adsorbentów.

Systematycznie przeanalizowano wpływ struktury prekursora, warunków aktywacji oraz specjacji potasu na rozwój porowatości, ewolucję szkieletu węglowego i chemię powierzchni. Szczególną uwagę poświęcono mikroporowatości istotnej z punktu widzenia adsorpcji oraz jej roli w determinowaniu pojemności adsorpcyjnej CO₂ i selektywności CO₂/N₂.

Uzyskane wyniki wskazują, że podatność na aktywację była silnie zależna od rodzaju prekursora. Biomasa wykazywała najwyższą reaktywność wobec KOH, prowadząc do powstania gęstych sieci mikroporowatych o powierzchni właściwej BET sięgającej 2655 m² g⁻¹ oraz wysokiej pojemności adsorpcyjnej CO₂, chociaż nadmierna aktywacja powodowała poszerzanie porów i spadek efektywności. Odzyskana sadza techniczna charakteryzowała się ograniczoną podatnością na aktywację ze względu na zwartą morfologię, co prowadziło do struktur zdominowanych przez mezopory i niższej adsorpcji CO₂. Odzyskany grafit był najbardziej odporny na aktywację, a rozwój porowatości zachodził głównie poprzez wytrawianie krawędzi związane z defektami, przy jednoczesnym zachowaniu uporządkowania grafitowego.

Adsorpcja CO₂ we wszystkich analizowanych układach była determinowana obecnością wąskich mikroporów, a nie całkowitą powierzchnią właściwą, co podkreśla, że kluczowym czynnikiem efektywności było dopasowanie rozmiaru porów do średnicy kinetycznej CO₂. KOH zapewniał najwyższą skuteczność aktywacji, natomiast alternatywne sole potasu umożliwiały łagodniejszy rozwój porowatości przy poprawionej wydajności procesu. Tlenowe grupy funkcyjne powstałe w wyniku aktywacji wpływały na energetykę adsorpcji, lecz ich rola pozostawała drugorzędna wobec efektów teksturalnych w warunkach kontrolowanych przez fizysorpcję.

Materiały węglowe otrzymane z biomasy oraz odzyskanej sadzy technicznej wykazywały stabilną pracę cykliczną i korzystną selektywność CO₂/N₂ w warunkach rozcieńczonych oraz odpowiadających gazom spalinowym.

Poza oceną efektywności adsorpcyjnej, niniejsza praca przedstawia skalowalne ścieżki przekształcania odnawialnych, przemysłowych i technologicznych pozostałości węglowych w wysokowartościowe materiały porowate. Wyniki dostarczają wytycznych dotyczących doboru prekursorów, strategii aktywacji oraz inżynierii porów w węglach pochodzących z odpadów, przeznaczonych do separacji gazów i pokrewnych zastosowań środowiskowych.

Słowa kluczowe: węgiel aktywny; waloryzacja odpadów; aktywacja potasowa; odzyskana sadza techniczna; odzyskany grafit; biomasa; wychwytywanie CO₂; CCU; CCUS.