

## **Removal of selected toxic compounds from water by adsorption on activated carbon from agricultural by-products**

### **STRESZCZENIE**

W pracy zbadano zdolność węgla aktywnych otrzymanych z łodyg konopi i łupin orzecha palmowego w procesach adsorpcyjnego usuwania z roztworów wodnych wybranych zanieczyszczeń organicznych z grupy pestycydów (atrazyna) i barwników (błękit metylenowy, czerwien Kongo, cyjanokobalamina) oraz chromu (VI) jako przykład zanieczyszczeń nieorganicznych. Serię węgla aktywnych z łodyg konopi otrzymano poddając prekursor roślinny aktywacji fizycznej parą wodną i dwutlenkiem węgla oraz aktywacji chemicznej wodorotlenkiem potasu i kwasem fosforowym. Węgla aktywne z łupin orzecha palmowego otrzymano metodą aktywacji fizycznej parą wodną i aktywacji chemicznej wodorotlenkiem potasu. Właściwości otrzymanych węgla aktywnych zależały od rodzaju zastosowanego prekursora roślinnego, metody aktywacji (fizyczna i chemiczna), rodzaju czynnika aktywującego i parametrów procesów aktywacji takich jak temperatura, czas wygrzewania i stopień impregnacji. Węgla aktywne charakteryzowały się szerokim spektrum porowatości począwszy od mikroporowatych do mezoporowatych materiałów. Duża zawartość ligniny w łupinach orzecha palmowego pozwoliła otrzymać węgle aktywne charakteryzujące się bardziej rozwiniętą strukturą porowatą w porównaniu do bogatych w celulozę łodyg konopi.

Wybrane węgle aktywne z łodyg konopi i łupin orzecha palmowego poddano procesom utleniania kwasem azotowym i nadtlaniem wodoru, amonizacji oraz wygrzewania w przepływie azotu i wodoru w celu modyfikacji struktury chemicznej powierzchni tych materiałów i poprawy ich właściwości adsorpcyjnych wobec wybranych zanieczyszczeń. Węgla aktywne utlenione kwasem azotowym charakteryzowały się silnie kwasowym charakterem chemicznym powierzchni z powodu dużego udziału grup karboksylowych. Wysokotemperaturowe wygrzewanie węgla aktywnych w atmosferze azotu i wodoru spowodowało częściowe usunięcie powierzchniowych grup tlenowych i tym samym zmianę kwasowego charakteru ich powierzchni na zasadowy. Węgla aktywne poddane procesowi amonizacji wykazywały zasadowy charakter chemiczny powierzchni, który wynikał ze zwiększonej zawartości azotu, głównie w połączeniach pirydynowych.

Chemiczny charakter powierzchni węgla aktywnych otrzymanych w procesie aktywacji łodyg konopi wodorotlenkiem potasu miał istotny wpływ na adsorpcję atrazyny z roztworów

wodnych. Węgiel aktywny wygrzewany w atmosferze azotu o bardzo zasadowej powierzchni, pozbawiony grup funkcyjnych zawierających heteroatomy, wykazywał najwyższą pojemność sorpcyjną w roztworze wodnym o pH 6. Za adsorpcję atrazyny na modyfikowanych węglach aktywnych z łodyg konopi odpowiedzialne były głównie oddziaływania dyspersyjne typu  $\pi$ - $\pi$ .

Adsorpcję trzech wielkocząsteczkowych barwników o różnej strukturze, wymiarach cząsteczki i postaci jonowej, to jest błękitu metylenowego o charakterze kationowym, czerwieni Kongo o charakterze anionowym i niejonowej cyjanokobalaminy, przeprowadzono na mezoporowatym węglu aktywnym z łodyg konopi otrzymanym metodą aktywacji kwasem fosforowym i poddanemu wygrzewaniu w przepływie wodoru. Pojemność sorpcyjna węgla aktywnego zależała od objętości porów o szerokości dostatecznie większej od rozmiarów cząsteczek barwników i ich struktury, która określa wzajemne oddziaływania z powierzchnią adsorbentu. Z powodu najmniejszych wymiarów cząsteczki, adsorpcja błękitu metylenowego przebiegała najszybciej, a najwolniej adsorbowały się cząsteczki czerwieni Kongo z powodu ich dużych wymiarów. Szybkość adsorpcji cyjanokobalaminy, która w roztworze wodnym występuje w postaci niejonowej, była wysoka i porównywalna z szybkością adsorpcji błękitu metylenowego. Najbardziej prawdopodobnym mechanizmem adsorpcji cyjanokobalaminy było tworzenie się wiązań wodorowych pomiędzy grupami aminowymi barwnika a grupami karboksylowymi, karbonyłowymi lub fenolowymi obecnymi na powierzchni węgla aktywnego.

Badania wpływu tekstury porowatej mezoporowatych węgli aktywnych otrzymanych w procesie aktywacji łodyg konopi kwasem fosforowym na kinetykę adsorpcji błękitu metylenowego wykazały, że im silniej rozwinięta struktura mezoporowata, tym krótszy jest czas osiągnięcia stanu równowagi adsorpcyjnej. Zbadano wpływ struktury chemicznej powierzchni węgla aktywnych aktywowanych kwasem fosforowym i wygrzewanych w atmosferze azotu i wodoru na adsorpcję błękitu metylenowego. Większą pojemność sorpcyjną uzyskano dla węgla aktywnego wygrzewanego w przepływie azotu, który zawierał więcej powierzchniowych tlenowych grup funkcyjnych niż wygrzewany w przepływie wodoru. Prawdopodobnie grupy tlenowe wymuszały oddziaływania elektrostatyczne, które przyczyniły się do wzrostu adsorpcji błękitu metylenowego.

Wykazano, że adsorpcja jonów chromu (VI) na mikroporowatych węglach aktywnych z łupin orzecha palmowego otrzymanych w procesie aktywacji fizycznej parą wodną i modyfikowanych poprzez utlenianie kwasem azotowym i nadtlenkiem wodoru oraz reakcję z amoniakiem była silnie zależna od pH roztworu i struktury chemicznej powierzchni adsorbentu. pH 2 było najbardziej optymalnym odczynem w procesie adsorpcji jonów Cr(VI). Z kolei adsorpcja połączona z redukcją była głównym mechanizmem usuwania Cr(VI) z

roztworu wodnego na badanych węglach aktywnych. Zasadowy charakter powierzchni amonizowanego węgla aktywnego zwiększył jego pojemność sorpcyjną względem Cr(VI) w porównaniu do pozostałych węgli.

Praca ta podkreśla znaczenie struktury porowatej węgla aktywnego w połączeniu ze strukturą chemiczną powierzchni dla adsorpcyjnego usuwania organicznych i nieorganicznych zanieczyszczeń z wody. Znaczącą poprawę kinetyki adsorpcji i pojemności sorpcyjnej węgla aktywnego można osiągnąć poprzez odpowiednią modyfikację jego powierzchni.