

Strona czasopisma: <http://analit.agh.edu.pl/>

Określenie zdolności sorpcyjnych bentonitów na przykładzie usuwania jonów fosforanowych i azotanowych z roztworów wodnych

Determination of the sorption capacity of bentonites on the example of removing phosphate and nitrate ions from water solutions

Paulina Kalisz¹, Edyta Kosińska, Dominika Kowalczyk, Tomasz Kurek

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

ABSTRAKT: W niniejszej pracy dokonano analizy własności sorpcyjnych bentonitów, poprzez oznaczanie jonów fosforanowych i azotanowych przy pomocy spektrofotometrii UV-VIS. Badanym materiałem były dwa rodzaje osadowych skał ilastych w postaci bentonitów nieaktywowanych i bentonitów aktywowanych, gdzie jony Ca^{2+} zastępowane są jonami Na^+ , pochodzących z firmy CERTECH w Niedomicach, której głównym filarem działalności jest produkcja żwirków higienicznych dla kotów wytworzonych z bentonitów. Otrzymane wyniki wykazały, iż największą efektywnością adsorpcji charakteryzują się bentonity nieaktywowane w przypadku oznaczania zawartości fosforanów, gdyż wartości te osiągnęły ok. 86%, a stopień sorpcji wzrastał wraz ze stężeniem jonów. Niestety w przypadku badania jonów azotanowych nie udało się otrzymać zadowalających wyników w obu przypadkach. Zerowe wartości zarówno postępu, jak i efektywności adsorpcji niestety nie potwierdzają opisywanych w literaturze znakomych własności tego typu skał osadowych, znajdujących zastosowanie jako środek uzdatniający skażoną glebę czy też higieniczny żwirek dla kotów.

ABSTRACT: In this work, the sorption properties of bentonites were analyzed by determining phosphate and nitrate ions using UV-VIS spectrophotometry. The tested material was two types of sedimentary clay rocks in the form of non-activated bentonites and activated bentonites, where Ca^{2+} ions are replaced by Na^+ ions, from the CERTECH company in Niedomice, whose main activity is the production of cat litter made of bentonites. The obtained results showed that the highest adsorption efficiency is characterized by non-activated bentonites in the determination of phosphate content, as these values reached approx. 86%, and the degree of sorption increased with the concentration of ions. Unfortunately, in the case of the study of nitrate ions, satisfactory results were not obtained in both cases. Zero values of both progress and adsorption efficiency, unfortunately, do not confirm the excellent properties of this type of sedimentary rocks described in the literature, which are used as a means of treating contaminated soil or hygienic cat litter.

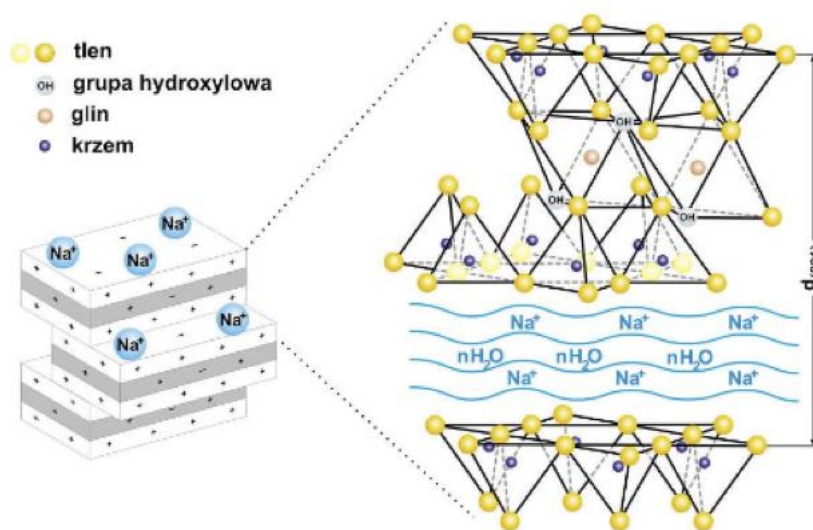
Słowa kluczowe: bentonity nieaktywowane, bentonity aktywowane, właściwości sorpcyjne, jony fosforanowe, jony azotanowe.

1. Wstęp

Bentonity są to skały osadowe ilaste, pochodzenia wulkanicznego. Powstały one na skutek wietrzenia tufów wulkanicznych w środowiskach alkaicznych i mocno zasolonych. Omawiane minerały swoją nazwę zawdzięczają Forcie Benton (USA), skąd były wydobywane pierwsze złoża bentonitów. Najważniejszymi dostawcami bentonitów do Polski są Słowacja, a także Ukraina i Włochy. W naszym kraju złoża omawianych skał występują w szczególności na południu kraju, a ich największym dostawcą są Zakłady Zębica S.A. koło Starachowic. Głównym, a jednocześnie najistotniejszym składnikiem bentonitu jest montmorylonit (MMT). Jest to minerał ilasty, zaliczany do glinokrzemianów warstwowych, do grupy smektytów. Budowa montmorylonitu warunkuje właściwości fizykochemiczne bentonitów. Szczególnie wpływa na aktywność MMT podczas

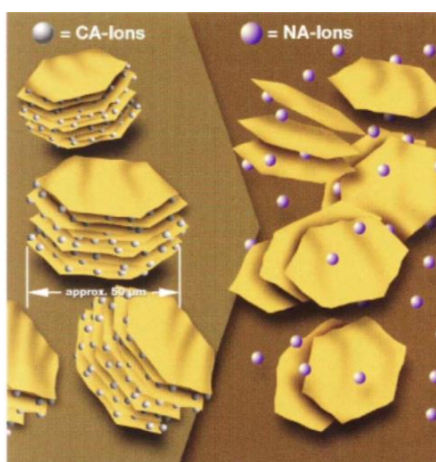
¹ autor korespondencyjny, adres e-mail: pkalisz@student.agh.edu.pl

modyfikacji. Montmorylonit zbudowany jest z trzech warstw w pakiecie 2:1. Możemy wyróżnić dwie warstwy tetraedryczne T zbudowane z krzemu oraz znajdującą się pomiędzy nimi warstwę oktaedryczną O, zawierającą glin. Pomiedzy poszczególnymi pakietami można wyróżnić przestrzeń, w obrębie której znajdują się wymienne kationy metali, m.in. Na^+ , Mg^{2+} , Li^+ , Ca^{2+} czy Al^{3+} . Te kationy mogą zostać poddane procesowi wymiany. Zachodzi wówczas wymiana jonowa, co prowadzi do zmiany właściwości montmorylonitu. Umiejętność ta jest jedną z najistotniejszych cech minerałów ilastych. Ze względu na występujące kationy w warstwie międzypakietowej możemy wyróżnić szereg rodzajów montmorylonitu. Są to między innymi montmorylonit sodowy, potasowy, wapniowy, wodorowy czy amonowy. Najczęściej spotykaną formą bentonitu jest bentonit zawierający wymienne kationy wapnia Ca^{2+} . Nazywa się go bentonitem nieaktywowanym. Zawiera on słabe wiązania chemiczne co umożliwia aktywowanie go. Polega ono na zastąpieniu jonów wapnia jonami sodowymi Na^+ . Jest to możliwe poprzez dodanie np. węglanu sodu Na_2CO_3 . Schemat struktury bentonitu sodowego przedstawiono na **Rysunku 1** [1-3].



Rysunek 1. Struktura budowy pakietowej bentonitu sodowego [3].

Należy podkreślić, że aktywacja bentonitu przynosi wiele korzyści, które prowadzą do uzyskania lepszych właściwości, tj. podwyższona zdolność wiązania, większa zdolność pęcznienia, a także większa odporność na działanie temperatury ciekłego metalu [2].



Rysunek 2. Aktywacja bentonitu [2].

Najważniejszą cechą bentonitu sodowego jest szczególna zdolność pęcznienia. Posiada on zdolność do wiązania pięciokrotnie większej ilości wody niż on sam waży. Dzięki tej cesze jest on także bardzo plastyczny. Najważniejsze cechy bentonitu przydatne do różnych zastosowań to:

- Zawartość montmorylonitu powyżej 70%
- Wysoka stabilność termiczna
- Mała wrażliwość na domieszki wprowadzane np. z masą.

Budowa montmorylonitu zawartego w bentonicie oraz jego właściwości fizykochemiczne sprawiają, że jest on stosowany w wielu dziedzinach. Można wyróżnić przemysł rolniczy, wiertniczy, chemiczny budowlany, a także kosmetyczny czy farmaceutyczny.

Jednym z ich najszerzych zastosowań jest wiertnictwo, gdzie stanowią podstawowy składnik płuczek wiertniczych. Stosowany jest także do mas formierskich i ciekłych powłok ochronnych na farby. Ich właściwości pęczniące pod wpływem wody są wykorzystywane także do wytwarzania materiałów izolacyjnych.

Ciekawą dziedziną, która wykorzystuje bentonity jest hodowla zwierząt. Dodawany jest on do pasz przeznaczonych dla zwierząt hodowlanych, substancji owadobójczych czy nawozów. Omawiane minerały, za przyczyną silnych właściwości sorpcyjnych znalazły zastosowanie także w ściółkach dla zwierząt. Mają one także zdolność pochłaniania zapachów [2-4].

Istnieje szereg badań, które umożliwiają określenie własności fizykochemicznych bentonitów. Badania wstępne zawierają przygotowanie próbek analitycznych, oznaczanie zawartości wody oraz analizę sitową. Do badań fizykochemicznych można zaliczyć:

- Oznaczenie wskaźnika pęcznienia
- Oznaczenie plastyczności bentonitu
- Higroskopijność bentonitu
- pH bentonitu
- Zawartość węglanów
- Oznaczanie termostabilności
- Oznaczanie montmorylonitu w bentonitach

Spektroskopia jest dziedziną nauki, która zajmuje się badaniem oddziaływań pomiędzy promieniowaniem elektromagnetycznym, a materią. Jest ona uznawana za najpotężniejsze, dostępne narzędzie, które pozwala na analizę struktury atomowej oraz molekularnej. Spektroskopia optyczna obejmuje obszar widma elektromagnetycznego między 100 Å a 400 μm. Próbkę poddana badaniu w sposób selektywny absorbuje promieniowanie, co umożliwi dokładne oznaczenie występujących w niej związków w sposób ilościowy [5]. Metody spektroskopowe można podzielić ze względu na rodzaj użytego promieniowania na UV, VIS, IR i NMR.

Spektroskopia UV-VIS jest metodą, która polega na pomiarze ilości promieniowania ultrafioletowego oraz widzialnego pochłanianego przez roztwory barwnych jonów, związków organicznych, czy barwnych kompleksów jonów [6]. Instrumentem, który pozwala na wykonywanie tego typu pomiarów jest spektrofotometr UV-VIS. Podstawowymi częściami spektrofotometru są [6]:

- 1) Źródło promieniowania (lampa wodorowa, ksenonowa, wolframowa, halogenowa)
- 2) Monochromator (siatka dyfrakcyjna, pryzmat)
- 3) Kuweta (roztwór badany)
- 4) Detektor (fotopowielacz, fotokomórka, fotoopornik, fotodioda)
- 5) Układ pomiarowy (mikroprocesor, galwanometr).

Celem pracy jest ocena zdolności sorpcyjnych bentonitu nieaktywowanego oraz bentonitu poddanego procesowi aktywacji sodowej na przykładzie sorpcji anionów azotanowych (V) oraz fosforanowych (V). W celu oceny tej właściwości wykorzystano spektrofotometrię UV-Vis, a oznaczenia dokonano z wykorzystaniem testów kuwetowych.

2. Część doświadczalna

2.1. Charakterystyka materiałów

Przedmiotem tego badania są próbki bentonitu nieaktywowanego oraz bentonitu aktywowanego pobrane 18.10.2022 roku na terenie firmy CERTECH w Niedomicach, której głównym filarem działalności jest produkcja żwirków higienicznych dla kotów wytworzonych z bentonitów. Pobrane próbki zostały poddane analizie w laboratorium należącym do Katedry Chemii Analitycznej i Biochemii, na terenie Akademii Górniczo - Hutniczej w Krakowie.

2.2. Przygotowanie próbek

Pierwszym krokiem, który wykonano po dostarczeniu próbek bentonitów do laboratorium było naważenie odpowiedniej ilości materiałów za pomocą wagi analitycznej XA 52/X. Naważono do osobnych probówek po 100 mg bentonitu nieaktywowanego oraz bentonitu aktywowanego. W dalszej kolejności przygotowano roztwory wzorcowe Na_3PO_4 o stężeniu jonów PO_4^{3-} 100 mg/l oraz KNO_3 o stężeniu jonów NO_3^- 1000 mg/l. W celu ich przygotowania naważono do kolb miarowych odpowiednie ilości odczynników o czystości cz.d.a., a następnie dopełniono wodą destylowaną do kreski. Do odważonych w probówkach bentonitów dodano przygotowane wcześniej roztwory o odpowiednich stężeniach. Stężenia dodawanych roztworów zamieszczono w **Tabeli 1** oraz **Tabeli 2**. W tym celu wzorce rozcieńczano za pomocą wody, tak aby uzyskać odpowiednie stężenie oraz końcową objętość wody, wzorca i bentonitu równą 5 ml. Tak przygotowane próbki bentonitów nieaktywowanych oraz bentonitów aktywowanych zostały poddane 2 – godzinnemu wytrząsaniu na wytrząsarce Elpan laboratory shaker type 358S, a następnie wirowaniu w wirówce model MPW-260, przez 15 minut z szybkością wirowania 13500 obrotów/minutę. Po tych czynnościach, za pomocą pipety automatycznej pobrano do probówek roztwór z nad bentonitów w celu oddzielenia części stałej od roztworu.

Tabela 1. Stężenie oraz objętość roztworów dodanych do próbek bentonitu w celu przeprowadzenia procesu sorpcji jonów fosforanowych.

| Stężenia jonów fosforanowych [mg/l] | Objętość r-ru dodanego [μl] | Objętość wody [μl] |
|-------------------------------------|--|---------------------------------|
| 1 | 50 | 4950 |
| 3 | 150 | 4850 |
| 6 | 300 | 4700 |
| 9 | 450 | 4550 |
| 12 | 600 | 4400 |
| 15 | 750 | 4250 |

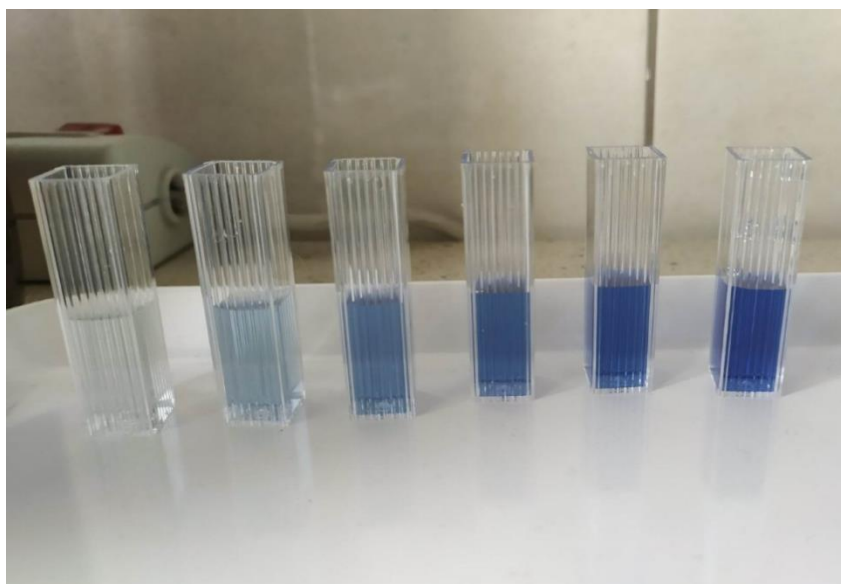
Tabela 2. Stężenie oraz objętość roztworów dodanych do próbek bentonitu w celu przeprowadzenia procesu sorpcji jonów azotanowych.

| Stężenia jonów azotanowych [mg/l] | Objętość r-ru dodanego [μ l] | Objętość wody [μ l] |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 5 | 25 | 4975 |
| 15 | 75 | 4925 |
| 25 | 125 | 4875 |
| 45 | 225 | 4775 |
| 55 | 275 | 4725 |

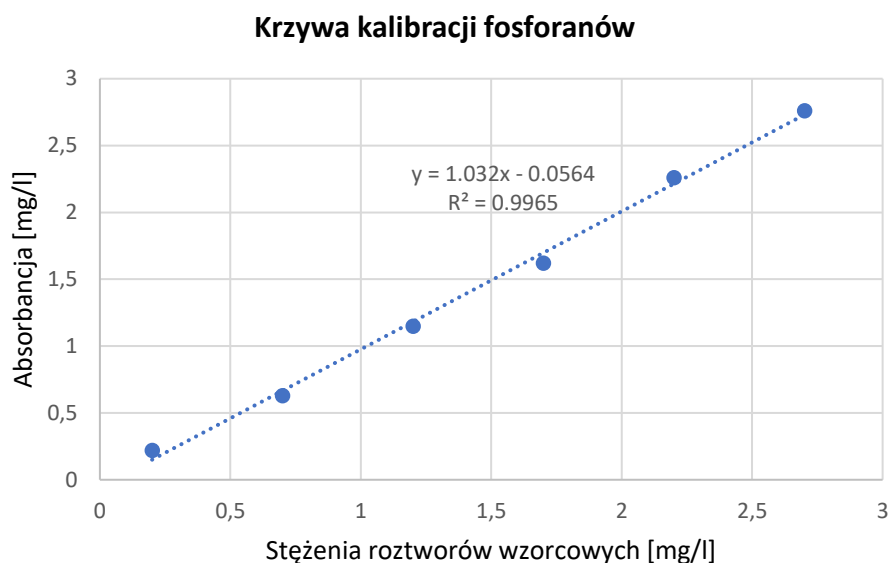
3. Dyskusja wyników

3.1. Oznaczanie fosforanów

Oznaczenia sorpcji jonów fosforanowych przez bentonity oraz bentonity aktywowane dokonano z wykorzystaniem testów kuwetowych. W tym celu, w pierwszej kolejności wykonano krzywą wzorcową dla szeregu roztworów wzorcowych o odpowiednich stężeniach. Pomiar wykonano za pomocą fotometru NOVA 60 firmy MERCK. Następnie przeprowadzono oznaczenie sorpcji jonów fosforanowych w analizowanych próbkach. Do każdej z probówek dodano odpowiednie ilości reagentów dołączonych do testu. Po 5 kropli reagenta PO_4^{-1} oraz 1 łyżeczkę reagenta PO_4^{-2} . Probówki szczelnie zamknięto i energicznie wymieszano w celu całkowitego rozpuszczenia reagenta PO_4^{-2} . Następnie próbki pozostawiono na 5 minut (czas reakcji), po czym dokonano oznaczenia z wykorzystaniem fotometru NOVA 60 firmy MERCK.

**Rysunek 3.** Kuwety wraz z analizowanymi roztworami (oznaczanie fosforanów).

Wykorzystując roztwory wzorcowe o stężeniach 0,2, 0,7, 1,2, 1,7, 2,2 i 2,7 mg/l sporządzono krzywą kalibracji (**Rysunek 4**).

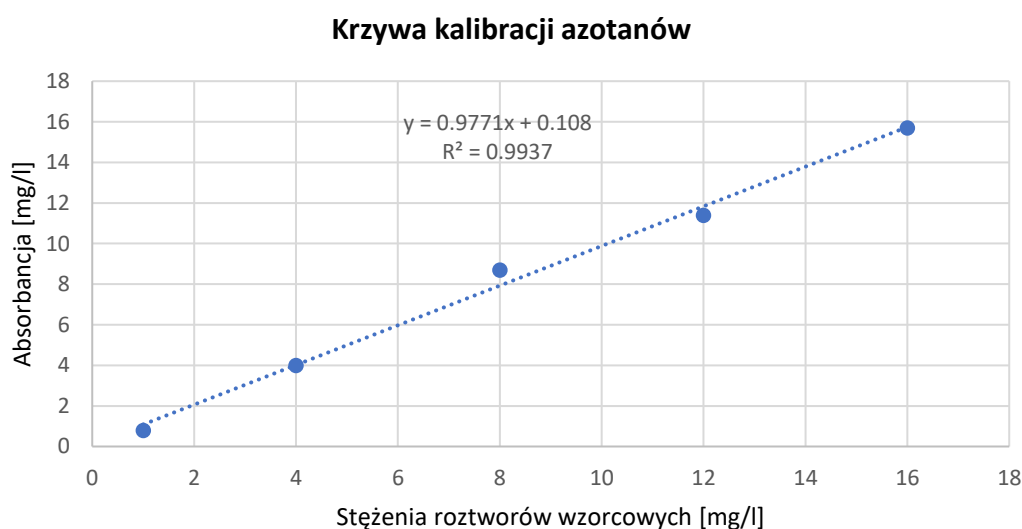


Rysunek 4. Krzywa kalibracji fosforanów.

3.2. Oznaczanie azotanów

Oznaczenia sorpcji jonów azotanowych dokonano tą samą metodą, którą zastosowano w przypadku jonów fosforanowych. Po wykonaniu krzywej kalibracyjnej analizowano badane próbki. W tym celu do próbki o pojemności 10 ml pobrano za pomocą pipety automatycznej 4 ml reagenta NO_3^- , następnie dodano 0.5 ml analizowanej próbki oraz 0.5 ml NO_3^- . Probówki zamknięto i wymieszano ich zawartość, trzymając jednocześnie za ich górną część. Oczekano 10 minut (czas reakcji), po czym dokonano pomiaru za pomocą fotometru NOVA 60 firmy MERCK. Wyniki przedstawiono w **Tabeli 3** i **Tabeli 4**.

Wykorzystując roztwory wzorcowe o stężeniach 1.0, 4.0, 8.0, 12.0 i 16.0 mg/l sporządzono krzywą kalibracji (**Rysunek 5**).



Rysunek 5. Krzywa kalibracji azotanów.



Rysunek 6. Fotometr NOVA 60 firmy MERCK wykorzystywany do badań.

3.3. Wielkość i efektywność sorpcji jonów fosforanowych i azotanowych w próbkach bentonitu

Na podstawie znajomości stężeń jonów w roztworach wyjściowych użytych w procesie sorpcji, stężenie roztworów równowagowych po procesie sorpcji oraz objętości roztworów sorpcyjnych obliczono wielkości sorpcji (q_t) oraz jej efektywność (S) wg poniższych wzorów.

Wielkość sorpcji:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \cdot V}{m} \quad [\text{mg/kg}] \quad (1)$$

Efektywność adsorpcji:

$$S = \frac{(C_0 - C_t)}{C_t} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (2)$$

gdzie:

C_0 - stężenie jonów przed rozpoczęciem sorpcji (teoretyczne, krzywej kalibracyjnej) [mg/dm^3],

C_t - stężenie jonów po sorpcji [mg/dm^3],

V - objętość roztworu jonów [dm^3],

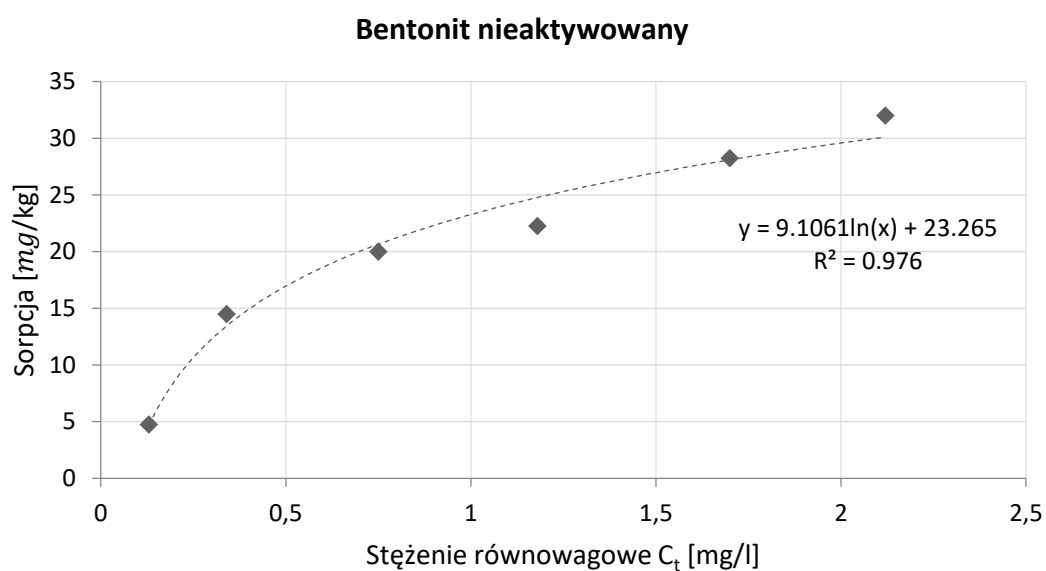
m - masa próbki [kg].

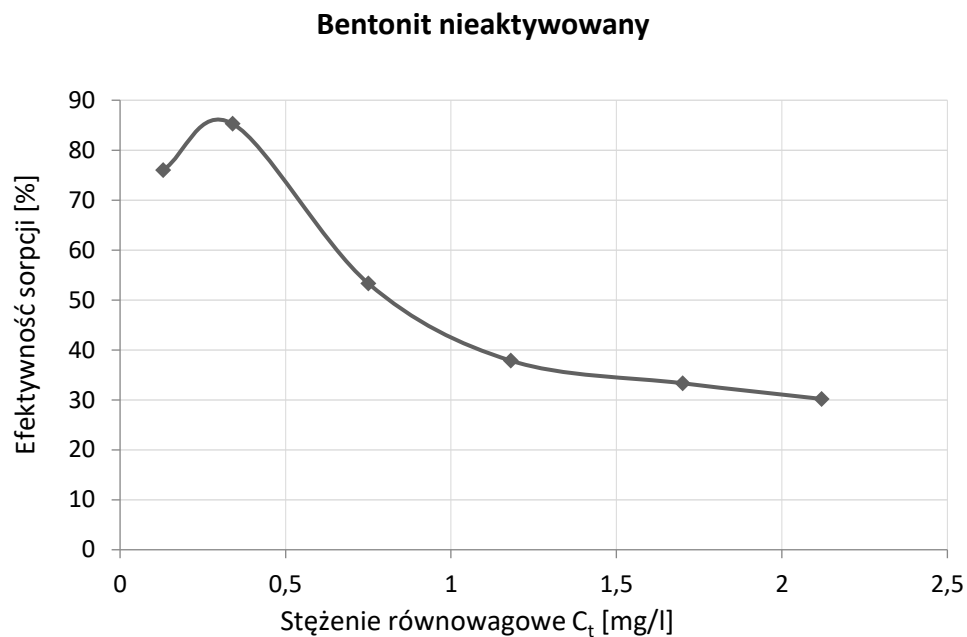
3.4. Wielkość i efektywność sorpcji jonów fosforanowych w próbkach bentonitu nieaktywowanego

W **Tabeli 3** zestawiono wyniki z wyliczonych wielkości sorpcji oraz jej efektywności dla poszczególnych stężeń roztworów.

Tabela 3. Zestawienie wyników dla roztworów nieaktywowanych

| Stężenie początkowe | | Stężenia równowagowe C_t | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|------------------|------------|
| C_0 [mg/dm ³] | C_{t1} [mg/dm ³] | C_{t2} [mg/dm ³] | $C_{t\text{sr}}$ [mg/dm ³] | q_t [mg/kg] | S [%] |
| 1 | 0.14 | 0.11 | 0.13 | 4.75 | 76.00 |
| 3 | 0.37 | 0.31 | 0.34 | 14.50 | 85.29 |
| 6 | 0.76 | 0.74 | 0.75 | 20.00 | 53.33 |
| 9 | 1.17 | 1.18 | 1.18 | 22.25 | 37.87 |
| 12 | 1.73 | 1.66 | 1.70 | 28.25 | 33.33 |
| 15 | 2.09 | 2.15 | 2.12 | 32.00 | 30.19 |

**Rysunek 7.** Wykres zależności stężenia jonów fosforanowych od wielkości sorpcji, w próbkach bentonitu nieaktywowanego.



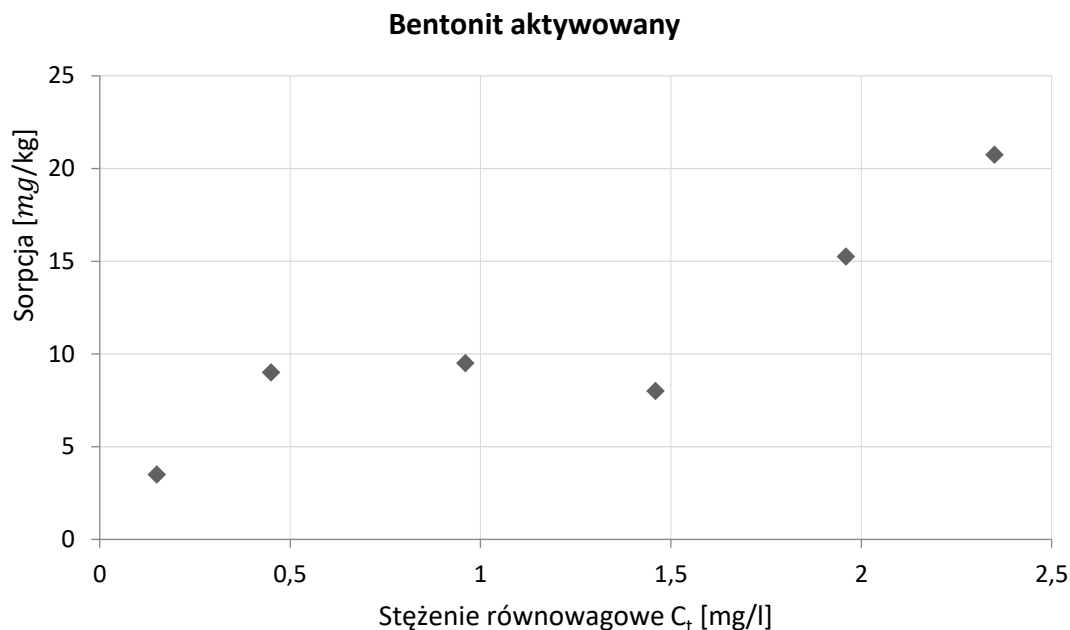
Rysunek 8. Wykres zależności stężenia jonów fosforanowych od efektywności adsorpcji, w próbkach bentonitu nieaktywowanego.

W przypadku próbek bentonitu nieaktywowanego, wielkość sorpcji można z dużą dokładnością sprowadzić do zależności logarytmicznej. Jedynie próbka numer 4 (r-r o stężeniu 9 mg/l) wyraźnie odbiega od krzywej. Największą efektywność sorpcji można zaobserwować dla niskich stężeń od około 0.2 mg/l do 0.5 mg/l powyżej których bardzo szybko maleje wraz ze wzrostem stężenia jonów fosforanowych.

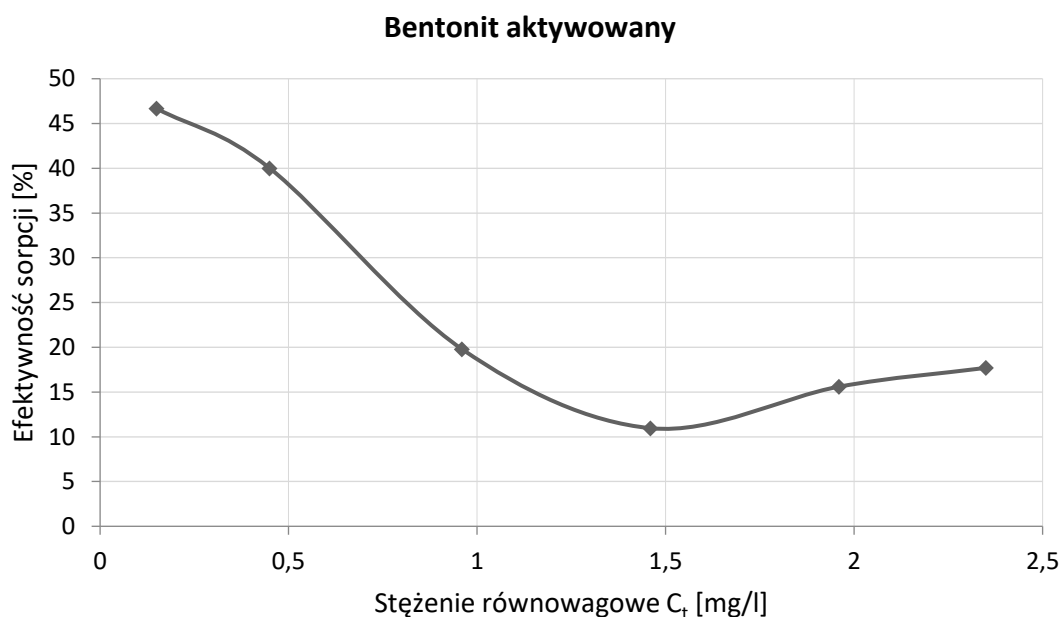
3.5. Wielkość i efektywność sorpcji jonów fosforanowych w próbkach bentonitu aktywowanego

Tabela 4. Zestawienie wyników dla roztworów aktywowanych.

| Stężenie początkowe | Stężenia równowagowe C_t | | | | | |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|------------------|------------|
| | C_0 [mg/dm ³] | C_{t1} [mg/dm ³] | C_{t2} [mg/dm ³] | $C_{t\text{sr}}$ [mg/dm ³] | q_t [mg/kg] | S [%] |
| 1 | | 0.13 | 0.17 | 0.15 | 3.50 | 46.67 |
| 3 | | 0.4 | 0.5 | 0.45 | 9.00 | 40.00 |
| 6 | | 0.91 | 1.01 | 0.96 | 9.50 | 19.79 |
| 9 | | 1.49 | 1.43 | 1.46 | 8.00 | 10.96 |
| 12 | | 2.01 | 1.9 | 1.96 | 15.25 | 15.60 |
| 15 | | 2.31 | 2.38 | 2.35 | 20.75 | 17.70 |



Rysunek 9. Wykres zależności stężenia jonów fosforanowych od wielkości sorpcji, w próbkach bentonitu aktywowanego.



Rysunek 10. Wykres zależności stężenia jonów fosforanowych od efektywności sorpcji, w próbkach bentonitu aktywowanego.

W przypadku bentonitu aktywowanego nie udało się z dobrą dokładnością dopasować krzywej do **Rysunku 7**. Wynik pomiarów nie jest systematyczny. Wartości sorpcji dla próbki 4 są wyraźnie niższe od tych dla próbki 3. Może to być skutkiem charakterystycznego zachowania się bentonitu aktywowanego w wodzie. Po kontakcie z cieczą agregował on w bardziej solidną bryłę i stracił swoją pierwotną postać proszku. Prawdopodobnie zmniejszyło to powierzchnię na której zachodziła sorpcja jonów. Może to oznaczać, że zastosowana metoda nie nadaje się do pomiaru sorpcji dla bentonitu aktywowanego.

3.6. Wielkość i efektywność sorpcji jonów azotanowych w próbkach bentonitu.

Przeprowadzone badania wyraźnie pokazały, że jony azotanowe nie ulegają sorpcji na badanej próbce. Wielkość sorpcji, a co za tym idzie jej efektywność w wielu próbkach wskazał wartość 0. Wielkość tą można zaobserwować zarówno dla bentonitu aktywowanego jak i nieaktywowanego, co wyklucza wniosek, iż jest to spowodowane charakterystycznym zachowaniem próbki w cieczy. Na szczególną uwagę zasługuje fakt niezerowej sorpcji dla stężenia jonów 25 mg/l, oraz 15 mg/l dla bentonitu aktywowanego. Nie jest do końca znany powód dla którego próbka nagle i punktowo zachowała się inaczej, jednak prawdopodobnie jest to spowodowane błędem maszyny pomiarowej. Wyniki całego badania zamieszczono w **Tabeli 5** i **Tabeli 6**.

Tabela 5. Wielkość i efektywność sorpcji w zależności od stężenia jonów azotanowych w próbkach bentonitu nieaktywowanego.

| Stężenia równowagowe C_t [mg/l] | Postęp sorpcji [mg/kg] | Efektywność sorpcji [%] |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 5 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 |
| 25 | 115 | 35.94 |
| 45 | 0 | 0 |
| 55 | 0 | 0 |

Tabela 6. Wielkość i efektywność sorpcji w zależności od stężenia jonów azotanowych w próbkach bentonitu aktywowanego.

| Stężenia równowagowe C_t [mg/l] | Postęp sorpcji [mg/kg] | Efektywność sorpcji [%] |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 5 | 0 | 0 |
| 15 | 20 | 11.11 |
| 25 | 240 | 123.08 |
| 45 | 0 | 0 |
| 55 | 0 | 0 |

4. Wnioski i podsumowanie

W celu określenia własności sorpcyjnych bentonitów aktywowanych i bentonitów nieaktywowanych przeprowadzono badania stopnia usuwania (pochłaniania) jonów fosforanowych i azotanowych z roztworów wodnych na drodze sorpcji przez bentonit nieaktywowany i jego aktywowaną formę sodową przy pomocy spektrofotometrii UV-VIS.

W przypadku sorpcji jonów fosforanowych przez próbki bentonitów nieaktywowanych, wielkość sorpcji można z dużą dokładnością sprowadzić do zależności logarytmicznej. Tłumaczy się to zjawiskiem, gdzie przy małych stężeniach sorbatu, kiedy większość centrów sorpcji nie jest związana z cząsteczkami sorbatu, sorpcja zachodzi bardzo łatwo i część cząsteczki ulega sorpcji. W miarę pokrywania powierzchni sorbentu cząsteczkami sorbatu, liczba centrów sorpcji niezwiązanych z sorbatem maleje. W końcu, cała powierzchnia sorbentu pokryta jest jednocząsteczkową warstwą cząsteczek sorbatu i dalsza sorpcja może zachodzić tylko wtedy, kiedy cząsteczki sorbatu sorbują się na istniejącej już warstwie cząsteczek sorbatu. Jednak wynik ten odbiega od danych literaturowych,

gdzie bentonit aktywowany charakteryzuje się większą wydajnością i właściwościami sorpcyjnymi [7].

W przypadku próbek bentonitu aktywowanego nie udało się z dobrą dokładnością dopasować krzywej do punktów pomiarowych z **Rysunku 7**. Wynik pomiarów nie jest systematyczny. Wartości postępu adsorpcji dla próbki 4 są wyraźnie niższe od tych dla próbki 3. Może to być skutkiem charakterystycznego zachowania się bentonitu aktywowanego w wodzie. Po kontakcie z cieczą agregował on w bardziej solidną bryłę i tracił swoją pierwotną postać proszku. Prawdopodobnie zmniejszyło to powierzchnię na której zachodziła adsorpcja jonów. Może to oznaczać, że zastosowana metoda nie nadaje się do pomiaru adsorpcji dla bentonitu aktywowanego.

Przeprowadzone badania wyraźnie pokazały, że jony azotanowe nie ulegają adsorpcji na badanej próbce. Postęp adsorpcji, a co za tym idzie jej efektywność w wielu próbkach wykazała wartość 0, co zaobserwowano zarówno dla bentonitu aktywowanego jak i nieaktywowanego. Wyklucza to wniosek, iż jest to spowodowane charakterystycznym zachowaniem próbki w cieczy. Zerowe wartości zarówno postępu, jak i efektywności adsorpcji niestety nie potwierdzają opisywanych w literaturze znakomitych własności tego typu skał osadowych, znajdujących zastosowanie jako środek uzdatniający skażoną glebę czy też higieniczny żwirek dla kotów. Na szczególną uwagę zasługuje fakt niezerowej adsorpcji dla stężenia jonów 25 mg/l, oraz 15 mg/l dla bentonitu aktywowanego. Dla stężenia jonów azotanowych równego 25 mg/l efektywność sorpcji wyniosła ponad 100%, co jest wartością niemożliwą do osiągnięcia.

Występujące w pomiarach odstępstwa mogą być składową wielu czynników, od niedokładności w przygotowaniu próbek, spowodowanych czynnikiem ludzkim, poprzez nieodpowiednie warunki badań, do wadliwego sprzętu pomiarowego dającego niewspółmierne wyniki. Różnice te mogą być również powiązane z bentonitem oraz procesem jego aktywacji. W celu określenia właściwej przyczyny, która wpłynęła na uzyskane wyniki należy wykonać ponowny pomiar sorpcji jonów azotanowych przez próbki bentonitów, wykorzystując do tego celu również inne metody badawcze, które pozwolą na dokładniejszą ocenę właściwości sorpcyjnych.

Literatura

- [1] „Badania spektralne (FTIR, UV-Vis) montmorylonitu modyfikowanego ultradźwiękami i kationami potasu” Beata Grabowska, Żaneta Kurlito-Kozioł, Prace Instytutu Odlewnictwa, vol 57, no.2, 2017
- [2] „Metodyka badań materiałów ilastych”, Kościółko H. ,Wyrwicki R, Państwowy instytut geologiczny, Warszawa-Wrocław 1996
- [3] „Tworzywa na formy odlewnicze”, Lewandowski J.L, Wydawnictwo Akapit, Kraków 1997
- [4] „Adsorbenty i katalizatory Wybrane technologie a środowisko” , red. Ryczkowski J, Rzeszów 2012
- [5] „UV-Visible Spectrophotometric Method Development and Validation of Assay of Paracetamol Tablet Formulation” Behera S, Ghanty S, Ahmad F, Santra S, Banerjee S, Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques, vol 3, 2012
- [6] ”Instrumentalne metody analizy chemicznej” – p.red.W.W.Kubiaka, J.Gołasia - skrypt dla studentów Wydziałów Inżynierii Materiałowej i Ceramiki oraz Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiskowej 2005
- [7] https://www.umlub.pl/gfx/umlub/userfiles/_shared/przedmioty_pl_rw/chemia_fizyczna/farmacja/cwiczenia/materialy_teoretyczne/cwicz.1/1._adsorpcja_2020..pdf