

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

Wpływ procesu aktywacji na właściwości bentonitów

Effect of the activation process on the properties of bentonites

Kinga Ryłko, Natalia Skorupa, Natalia Sobczyk, Nikola Lenar

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

ABSTRAKT: Bentonit, pod względem geologicznym, zaliczany od jest do skał pochodzenia wulkanicznego. Jest to ił wykazujący silne pęcznienie oraz cechujący się unikalnymi właściwościami fizycznymi. Parametry te wynikają z wysokiej zawartości montmorylonitu (minerał ilasty należący do grupy smektytu). Podczas aktywacji zachodzi proces kontrolowanej wymiany jonów. Wspomniane jony wapnia, znajdujące się początkowo w międzypakietowej przestrzeni montmorylonitu, zastępowane są jonami sodu, które wprowadza się z aktywatorem. Proces aktywacji bentonitu powoduje polepszenie jego właściwości – zwiększoną zdolność pęcznienia czy też podwyższoną zdolność wiązania. W niniejszym artykule skupiono się na zbadaniu podstawowych właściwości bentonitów oraz ich zmiany pod wpływem procesu aktywacji. Badania pH, przeprowadzone przy użyciu elektrody szklanej, wykazały, że stężenia jonów wodorowych były znacznie wyższe i stabilniejsze w czasie w przypadku bentonitu aktywowanego. Na podstawie otrzymanych wyników przewodnictwa mierzonego metodą konduktometrii można zaobserwować wzrost jego wartości wraz z upływem czasu. Tendencja ta była obserwowalna w przypadkach obu bentonitów, z tą różnicą, że wartości przewodnictwa bentonitu aktywowanego przyjmowały kilkukrotnie wyższe wartości w porównaniu z tym niepoddanym aktywacji. Analiza otrzymanych wartości wykazała, że bentonit aktywowany pęczniał 4-krotnie bardziej niż ten nieaktywowany. Zarówno współczynnik pęcznienia, jak i zawartość wody wyznaczone zostały eksperymentalnie. Po usunięciu, w procesie suszenia, wody adsorpcyjnej oraz międzypakietowej, bentonit aktywowany zawierał dwa razy mniej wody niż ten niepoddany aktywacji węglanem sodu.

ABSTRACT: Bentonite is classified as a rock of volcanic origin. It is a clay that shows strong swelling and has unique physical properties. These parameters are caused by the high content of montmorillonite (a clay mineral belonging to the smectite group). During activation, a process of controlled ion exchange takes place. The calcium ions, initially located in the inter-pack space of montmorillonite, are replaced by sodium ions with activator. The activation process of bentonite results in an improvement of its properties - increased swelling capacity or binding capacity. This article focuses on the examination of the basic properties of bentonites and their changes under the effect of the activation process. Studies of pH, conducted using a glass electrode, showed that the concentration of hydrogen ions was much higher and more stable over time for the activated bentonite. The results obtained after conductometric measurements show the incensement of conductivity with time. This trend was visible in the cases of both bentonites, with the difference that the conductivity values of the activated bentonite assumed significantly higher compared to values obtained to inactivated one. Analysis of the obtained values showed that the activated bentonite swelled 4 times more the inactivated one. Values of swelling coefficient and water content were determined experimentally. After removal of adsorption and inter-pack water (during the drying process), the activated bentonite contained twice less water than the one not activated by adding sodium carbonate.

Słowa kluczowe: aktywacja, bentonity, pęcznienie, pH, zawartość wody, przewodnictwo

1. Wstęp

Bentonity to minerały pochodzenia wulkanicznego. O bentonitach, według światowych norm, mówimy w chwili, gdy montmorylonit jest głównym składnikiem [1,2]. Posiada on niezwykłą zdolność do absorpcji wody, potrafi zaabsorbować 5-krotność swojej masy. Ze względu na tę właściwość jest zaliczany do materiałów plastycznych. Z punktu widzenia prowadzonych badań, istotna jest również

jego zdolność do bardzo łatwego oddawania zaadsorbowanej wody w momencie gdy dochodzi do wzrostu temperatury [1].

Najistotniejszym parametrem, w aspekcie wykorzystania i podziału bentonitów, jest zawartość procentowa montmorylonitu. W chwili, gdy jego zawartość waha się w granicach 50-75% [1] (mówimy wtedy o ile bentonitowym) w firmie CERTECH znajduje on głównie zastosowanie jako żwirek dla kotłów. Natomiast wraz ze wzrostem zawartości tego składnika rośnie wachlarz możliwości jego zastosowania, począwszy od materiałów budowlanych, poprzez ogrodnictwo, aż do zastosowań w geoinżynierii lub jako sorbenty w analityce [2,3].

Montmorylonit jest to wielowarstwowy glinokrzemian o wzorze chemicznym $M_x(Al_{4-2}Mg_2)Si_8O_{20}(OH)_4$ [5], gdzie M oznacza kation jednowartościowy, x to stopień podstawienia izomorficznego. Jego bardzo szerokie wykorzystanie spowodowane jest budową pakietową. Składa się on bowiem z jednej warstwy oktaedrycznej (zbudowana z Al_2O_3 lub MgO), która jest umieszczona pomiędzy dwiema krzemowymi warstwami tetraedrycznymi (typ 2:1) [5,6]. W przestrzeni międzypakietowej może dochodzić do wymiany międzykationowej, związanej z stopniem nasycenia materiału wodą [2,3,4].

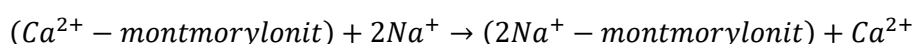
W związku z budową pakietową, montmorylonity charakteryzują się najsilniejszą własnością pęcznienia spośród wszystkich minerałów ilastych, przyjmują pomiędzy pakiety drobiny wody czy cieczy organicznych.

Ze względu na sposób wiązania cząsteczek, wodę występującą w bentonitach (montmorylonicie) można klasyfikować do trzech następujących grup [6]:

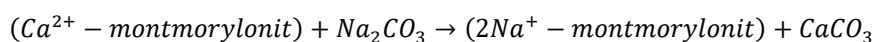
- **woda adsorpcyjna (higroskopijna)** – skondensowana na powierzchni ziaren mineralnych. Tworzy ona cienkie, zorientowane błonki cieczy. Usunięcie tego rodzaju wody może zająć poprzez umieszczenie próbki w eksykatorze lub poddaniu procesowi suszenia w temperaturze 105- 110 °C [7,8,9];
- **woda międzypakietowa** – woda, która wniknęła w głąb przestrzeni międzypakietowych montmorylonitu. Po jej usunięciu, w temperaturze wyższej niż 100°C [7,8,9], możliwe jest odwrócenie tego procesu, (po ponownym nawilżeniu bentonitu) i przywrócenie pierwotnych właściwości;
- **woda sieciowa (konstytucyjna)** – zaliczają się do niej woda krystaliczna, która występuje w stosunku stechiometrycznym oraz woda strukturalna, która jest związana w postaci grup –OH (w sieci przestrzennej). Konsekwencją usunięcia tego rodzaju wody, pod wpływem wysokiej temperatury (400 - 800 °C [7,8,9]), jest rozkład związku i nieodwracalny rozpad sieci montmorylonitu.

Proces suszenia prowadzi do usunięcia wody higroskopijnej i międzypakietowej, natomiast podczas prażenia usuwana jest woda konstytucyjna [7-9].

Aktywacja to proces będący najbardziej istotną operacją technologiczną w procesie produkcji bentonitu, ponieważ stanowi ona decydujący czynnik determinujący jego ostateczną jakość. Najczęściej spotykanymi bentonitami są te wapniowe (na pozycjach wymiennych zawierają kationy Ca^{2+}). Podczas aktywacji zachodzi proces kontrolowanej wymiany jonów. Wspomniane jony wapnia, znajdujące się początkowo w międzypakietowej przestrzeni montmorylonitu, zastępowane są jonami sodu, które wprowadza się z zewnątrz. Jonowy zapis aktywacji prezentuje się następująco:



Jako aktywator zastosowano węglan sodu – ogólnie aktywację można więc przedstawić jako:



Proces aktywacji bentonitu powoduje polepszenie jego właściwości – zwiększoną zdolność pęcznienia czy też podwyższoną zdolność wiązania [6,10,11].

W niniejszej publikacji charakteryzacji poddane zostały bentonit przed i po procesie aktywacji. Celem pracy było porównanie podstawowych właściwości obu materiałów. Morfologię próbek

wstępnie oceniono przy użyciu mikroskopu optycznego. Pomiar pH pozwolił na bezpośrednią ocenę wpływu procesu aktywacji na właściwości bentonitu. Wartość pH w przypadku próbek bentonitu aktywowanego była znacznie wyższa, co było powodem podjęcia decyzji o zbadaniu przewodnictwa w funkcji czasu. Ze względu na duże zdolności sorpcyjne materiału zdecydowano się na pomiar pęcznienia- współczynnik pęcznienia oraz ustalono zawartość wody, po wysuszeniu do stałej masy.

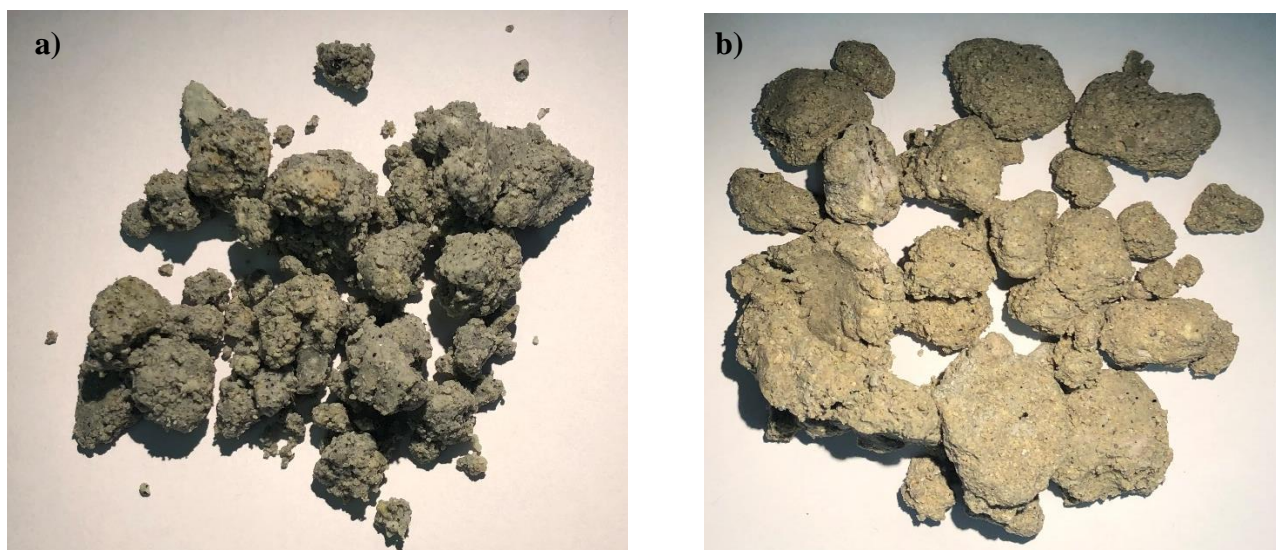
2. Metodyka badań

2.1. Stosowane materiały do badań

Przedmiotem przeprowadzonych badań były dwie próbki bentonitów, które zostały pobrane na terenie firmy CERTECH, mianowicie:

- bentonit przed procesem aktywacji pobrany dnia 18.10.2022r, o godz. 12:21 w hali, gdzie hałdowane są surowce wykorzystywane w firmie CERTECH;
- bentonit poddany procesowi aktywacji pobrany dnia 18.10.2022r, o godz. 12:21 w hali, gdzie hałdowane są surowce wykorzystywane w firmie CERTECH;
- oraz woda destylowana.

Oba bentonity zostały pobrane przy użyciu plastikowej łopatką, a następnie przechowywane w plastikowych woreczkach strunowych.



Rysunek 1. Zdjęcia spod mikroskopu optycznego: a) bentonit nieaktywowany, b) bentonit po aktywacji.

2.2. Wykorzystywana aparatura

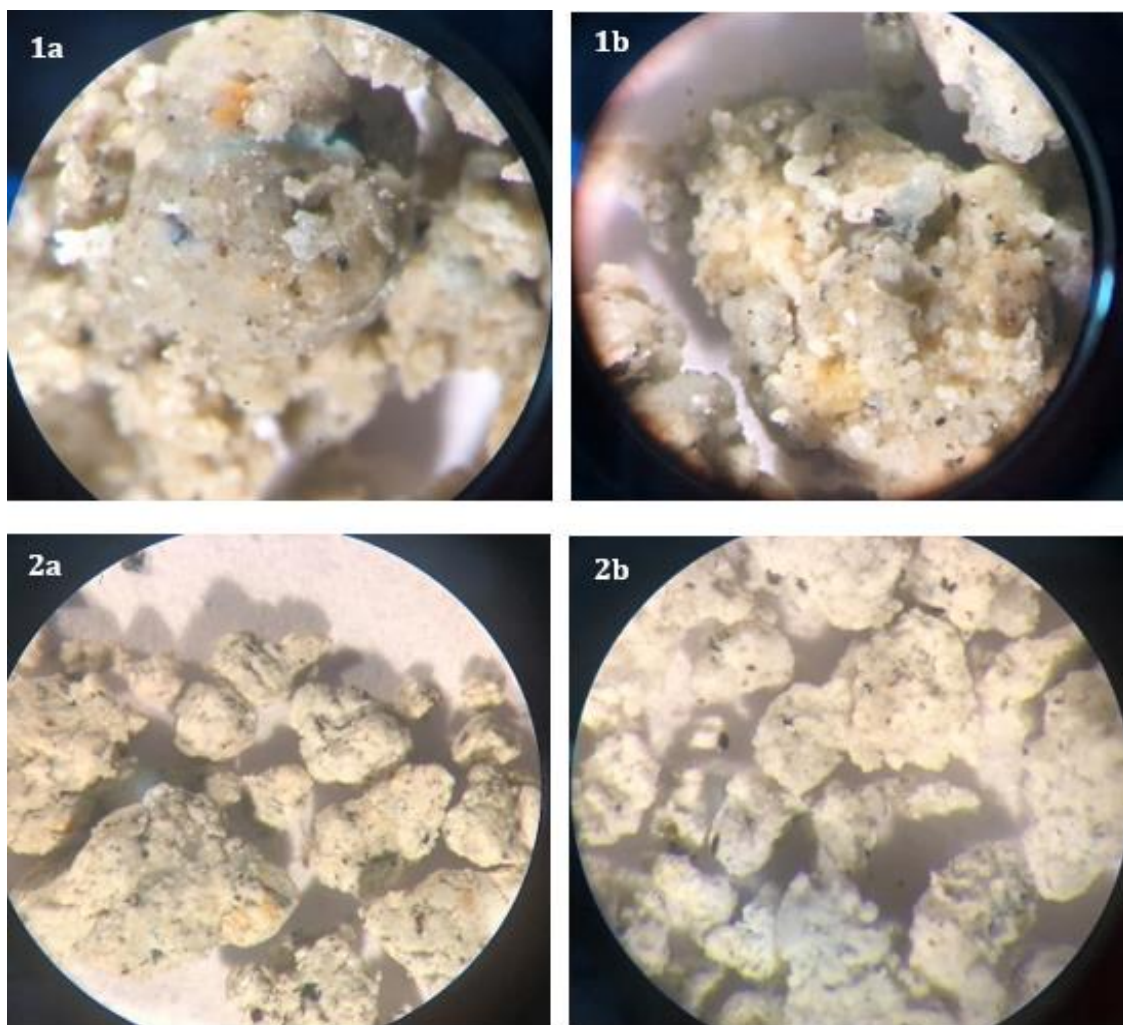
W kolejnych etapach analizy wykorzystano różnego rodzaju aparaturę. Do obserwacji mikrostruktury bentonitów skorzystano z mikroskopu optycznego MLC-150C wyprodukowanego przez firmę Motic. Zakres powiększeń możliwy do uzyskania wahał się od 6-krotnego do 50-krotnego powiększenia. Przed przystąpieniem do pomiarów, należało odważyć odpowiednie ilości obu bentonitów i do tego celu skorzystano z wagi analitycznej RADWAG AS310/X. W przypadku pomiaru pH zastosowanie znalazła elektroda szklana kombinowana, która była podłączona do pH-metru firmy ELEMETRON (model CPI-505). Przewodnictwo zostało określone przy użyciu konduktometru BASIC 30 EC, wyprodukowanego przez firmę CRISON. Natomiast w celu określenia współczynnika pęcznienia niezbędny był wyłącznie cylinder miarowy, którego objętość równa była 100 cm³.

3. Wyniki badań i dyskusja

3.1 Obserwacje wykonane za pomocą mikroskopu optycznego

W trakcie analizy dokonano również obserwacji materiału pod mikroskopem optycznym (**Rysunek 3**). Pozwoliło to na zaobserwowanie niejednorodności próbek obu bentonitów. Z powodu dużej plastyczności materiału jego rozdrobnienie przed wysuszeniem było znacznie utrudnione. Wraz z procesem aktywacji obserwowana jest zmiana w kolorze bentonitu, staje się on jaśniejszy. Identyczny efekt zaobserwowano w przypadku obu bentonitów po wysuszeniu.

W dalszej części pracy skupiono się na porównaniu ze sobą tych dwóch rodzajów bentonitów i poddano ocenie ich inne parametry niż sam wygląd, między innymi pH, przewodnictwo, pęcznienie czy zawartość wody.



Rysunek 2. Zdjęcia bentonitów spod mikroskopu optycznego. Próbkę 1a- bentonit surowy przed suszeniem, 1b- bentonit po aktywacji bez suszenia, 2a- bentonit surowy po suszeniu, 2b- bentonit aktywowany po suszeniu. 1a oraz 2a zdjęcia zrobione pod 6x powiększeniem, natomiast zdjęcia 1b i 2b zdjęcia wykonane pod 50x powiększeniem.

3.2 Pomiar pH

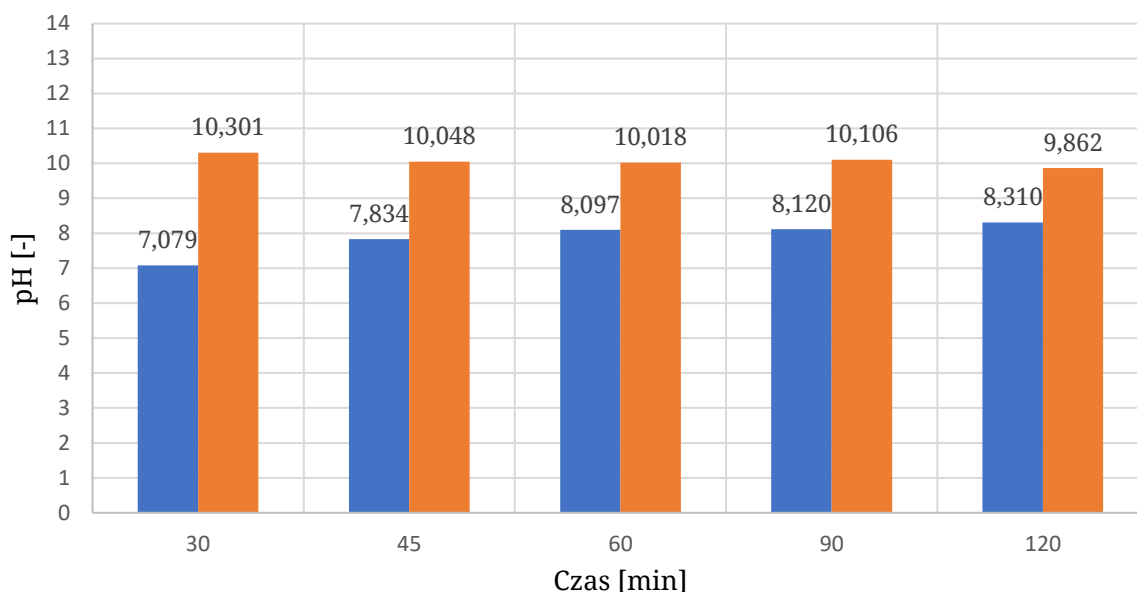
Zmierzono wartości pH roztworów, uzyskanych przez wyługowanie składników bentonitów rozpuszczalnych w wodzie. W tym celu sporządzono po 3 próbki – dla bentonitu nie poddanego procesowi aktywacji oraz bentonitu aktywowanego węglanem sodu. Do zlewek odważono po 0.5g

danego bentonitu, a następnie każdy w tym samym czasie zalano, wykorzystując 50 cm³ wody destylowanej. Przed przystąpieniem do wykonywania pomiaru i w trakcie, roztwory poddawano ciągłemu mieszaniu na mieszalniku z mieszadłem magnetycznym, w celu zapewnienia ich odpowiedniej jednorodności i uzyskania stabilnego odczytu na pH-metrze. Badano jak pH zmienia się w czasie, tj. po 30, 45, 60, 90 i 120 minutach. Wartości średnie z uzyskanych wyników umieszczono w Tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników średnich wartości pH w zależności od czasu dla bentonitu nieaktywowanego i aktywowanego wraz z wartościami odchylenia standardowego (n=3).

Czas [min]	pH [-]				
	30	45	60	90	120
Bentonit nieaktywowany	7.07 ± 0.09	7.8 ± 0.2	8.10 ± 0.04	8.12 ± 0.03	8.3 ± 0.3
Bentonit aktywowany	10.3 ± 0.2	10.05 ± 0.09	10.0 ± 0.2	10.10 ± 0.07	9.9 ± 0.2

Na podstawie wyników sporządzono wykres przedstawiający zależność zmiany pH w zależności od czasu dla bentonitu nieaktywowanego oraz aktywowanego (**Rysunek 3**).



Rysunek 3. Wykres zależności pH od czasu dla bentonitu: ● nieaktywowanego i ● aktywowanego.

Analizując powyższy wykres można zaobserwować, że roztwory bentonitu aktywowanego charakteryzują się wyraźnie wyższymi wartościami pH niż w przypadku „surowego” bentonitu. Jest to spowodowane wymywaniem jonów Na⁺ do roztworu. W miarę upływu czasu, pH bentonitu aktywowanego przyjmuje zbliżone wartości (około 10). W przypadku roztworu bentonitu niepoddanemu procesowi aktywacji, można zauważyć tendencję wzrostu pH w czasie.

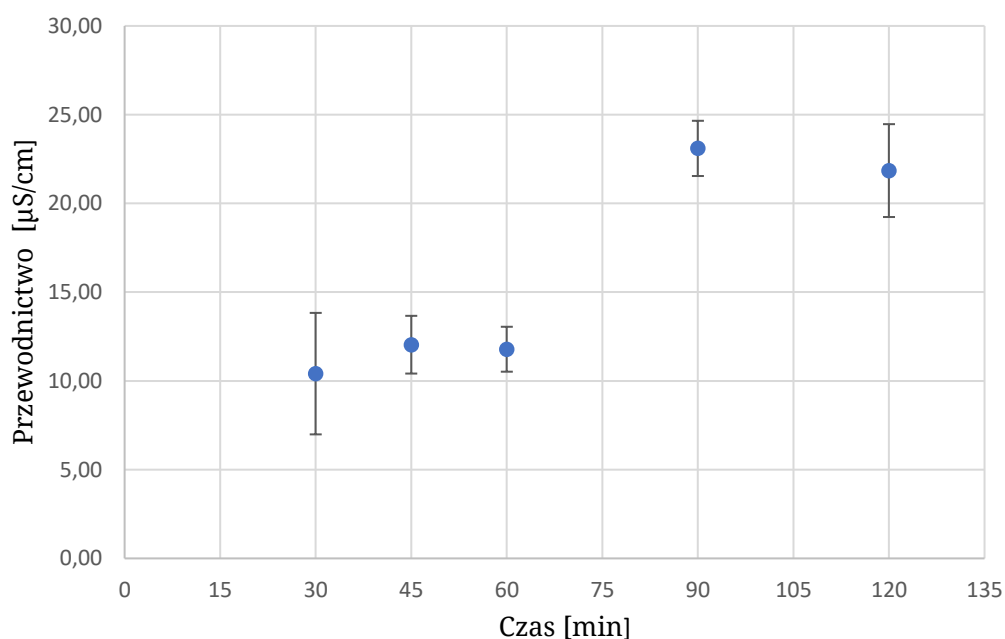
3.2 Przewodnictwo

Próbki do pomiaru przewodnictwa przygotowano poprzez odważenie 0.5 g odpowiednio bentonitu przed i po procesie aktywacji oraz zalanie go 50 cm³ wody destylowanej. Sporządzono po 3 próbki dla każdego z bentonitów. Po przeprowadzeniu pomiarów przewodnictwa odrzucono wyniki otrzymane dla próbki drugiej ze względu na znaczące różnice w porównaniu do dwóch pozostałych. Uśrednione wartości przewodnictwa mierzone po upływie odpowiednich czasów zestawiono w **Tabeli 2**.

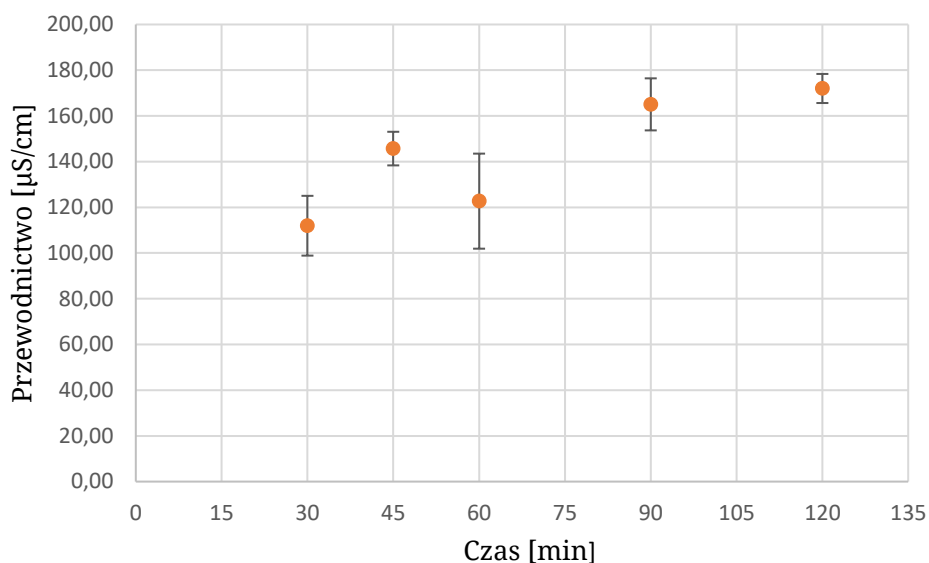
Tabela 2. Zestawienie wyników średnich przewodnictwa w zależności od czasu dla bentonitów przed i po procesie aktywacji.

	Przewodnictwo [$\mu\text{S}/\text{cm}$]					
Czas [min]	30	45	60	90	120	1440 (24h)
Bentonit przed aktywacją	10 ± 3	12 ± 2	12 ± 1.6	23 ± 2	22 ± 3	32 ± 10
Bentonit po aktywacji	112 ± 13	146 ± 7	123 ± 21	165 ± 11	172 ± 6	288 ± 64

Na podstawie wyników sporządzono wykresy zależności wartości przewodnictwa w funkcji czasu dla bentonitu nieaktywowanego (**Rysunek 4**) oraz dla bentonitu aktywowanego (**Rysunek 5**).



Rysunek 4. Wykres zależności przewodnictwa od czasu dla bentonitu nieaktywowanego.



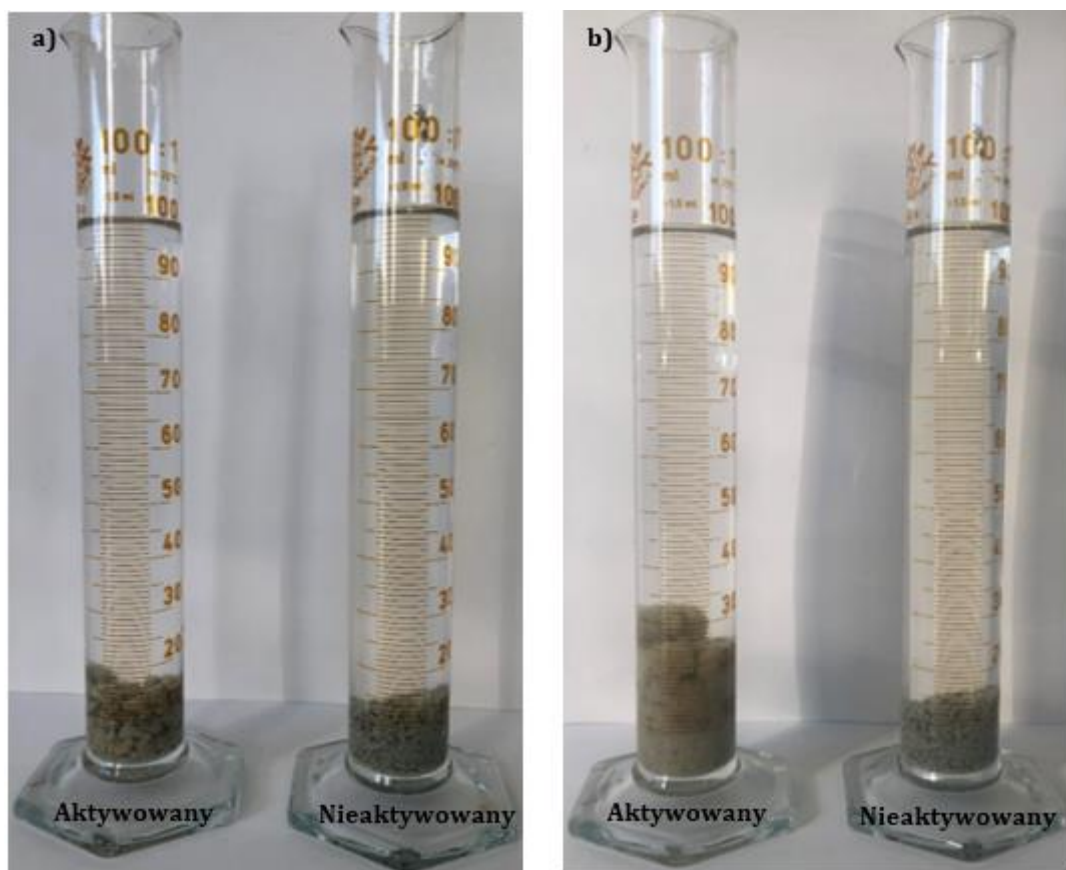
Rysunek 5. Wykres zależności przewodnictwa od czasu dla bentonitu po procesie aktywacji.

Na podstawie otrzymanych wyników można zaobserwować wzrost wartości przewodnictwa wraz z upływem czasu zarówno w przypadku surowego bentonitu, jak i tego po aktywacji. Zauważalne jest, że dla bentonitu poddanego procesowi kontrolowanej wymiany jonów wartości przewodnictwa są kilkukrotnie wyższe niż te uzyskiwane po upływie takiej samej ilości czasu dla próbek bentonitu nieaktywowanego. Przewodnictwo zmierzone po 24 h od sporządzenia roztworu wzrosło 1.5-krotnie w przypadku bentonitu nieaktywowanego i ok. 1.7-krotnie dla bentonitu poddanego procesowi aktywacji, po 2h od jego przygotowania.

3.3 Pęcznienie

Pomiaru pęcznienia dokonano wsypując po 10 ml próbek bentonitów (bez ich ugniatania) do cylindra o pojemności 100 ml, a następnie dopełniono wodą destylowaną do objętości całkowitej wynoszącej 100 ml. Odstawiono próbki bez ich mieszania i w określonych odstępach czasu odczytywano objętość, jaką w danej chwili zajmował materiał poddawany procesowi pęcznienia.

Rysunek 6 przedstawia cylindry miarowe za pomocą, których wykonano pomiar pęcznienia próbek bentonitów. W przypadku bentonitu aktywowanego obserwowane spęcznienie materiału jest znacznie większe niż jego nieaktywowanego poprzednika. Różnica w objętościach obu próbek, po upływie 24 godzin, jest widoczna „gołym okiem”.



Rysunek 6. Cylindry miarowe zawierające pęczniejące bentonity a) bezpośrednio po zalaniu wodą destylowaną b) po upływie 24h.

Wyniki pomiarów objętości zamieszczono w **Tabeli 3**. Pozwalają one na zaobserwowanie wzrostu objętości obu bentonitów w miarę upływu czasu. W przypadku bentonitu nieaktywowanego stabilizacja objętości nastąpiła nieco wcześniej, po upływie 60 minut. Natomiast próbka poddana aktywacji wysyciła się po ok. 90 minutach. Po upływie 24 godzin nie zaobserwowano zmiany objętości w żadnej z próbek. Na podstawie odnotowanych wyników przygotowano także wykres, który wizualizuje tę zależność (**Rysunek 7**).

Następnie za pomocą poniższego wzoru obliczono współczynnik pęcznienia obu próbek, w miarę upływu czasu ich przebywania w środowisku wodnym. Wyniki obliczeń zamieszczono w **Tabeli 3** oraz sporządzono wykres zależności współczynnika pęcznienia od czasu (**Rysunek 8**) obliczanego na podstawie zależności (1) [12] .

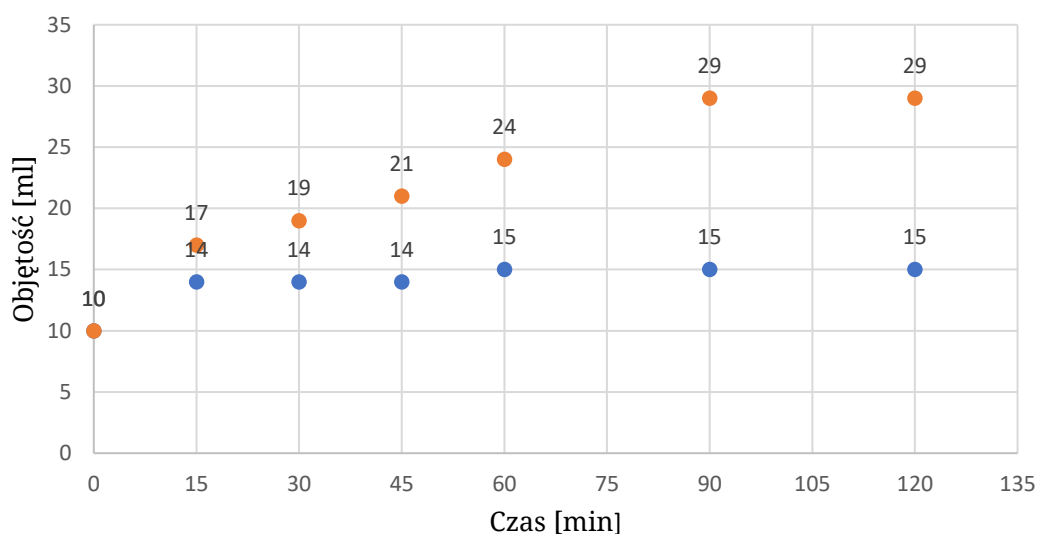
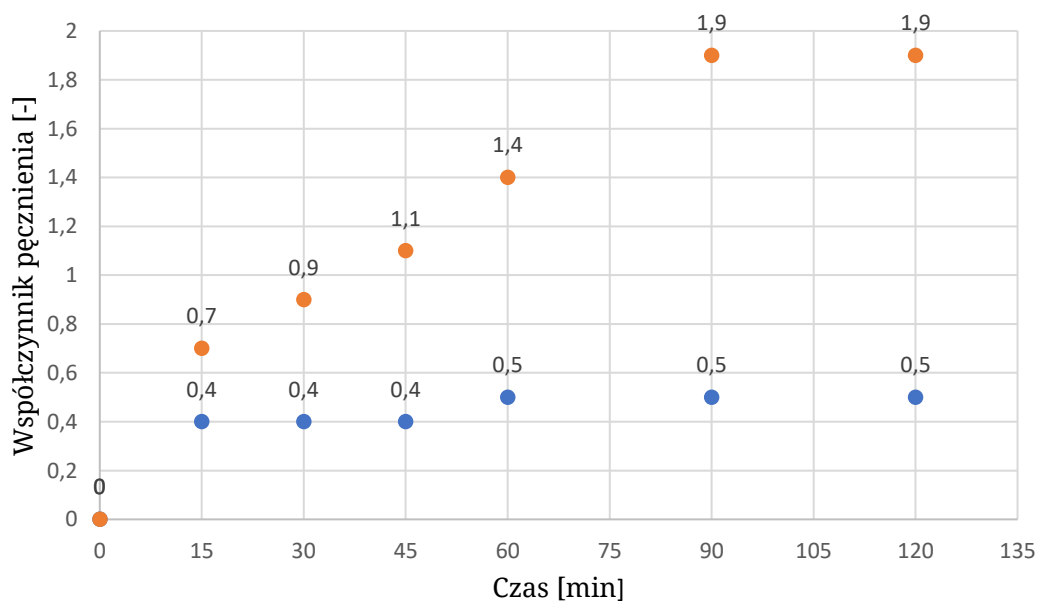
$$\text{współczynnik pęcznienia} = \frac{V_{\text{po } x \text{ minutach}} - V_{\text{bezpośrednio po zalaniu wodą}}}{V_{\text{bezpośrednio po zalaniu wodą}}} \quad (1)$$

gdzie: V – objętość bentonitu w cylindrze miarowym.

Zarówno bezpośredni pomiar pęcznienia jak i współczynnik pęcznienia pokazują, iż bentonit aktywowany nasiąka wodą kilkukrotnie bardziej niż materiał surowy, co również można zaobserwować na **Rysunku 2**.

Tabela 3. Wyniki pomiarów zmiany objętości bentonitów w czasie oraz współczynniki pęcznienia próbek.

	Bentonit	Czas [min]							
		0	15	30	45	60	90	120	1440 (24h)
Objętość [ml]	Nieaktywowany	10	14	14	14	15	15	15	15
	Aktywowany	10	17	19	21	24	29	29	29
Współczynnik pęcznienia [-]	Nieaktywowany	0	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
	Aktywowany	0	0.7	0.9	1.1	1.4	1.9	1.9	1.9

**Rysunek 7.** Wykres zależności zmiany objętości (pęcznienia) bentonitów w miarę upływu czasu (● bentonit przed aktywacją, ● po aktywacji).**Rysunek 8.** Wykres zależności współczynnika pęcznienia od czasu: ● bentonit przed aktywacją, ● bentonit aktywowany.

Po stabilizacji wartości współczynnik pęcznienia (po upływie ok. 90 minut) dla bentonitu aktywowanego przyjmował wartość 4-krotnie większą (ok. 1.9) niż w przypadku bentonitu, który nie został poddany temu procesowi (ok. 0.5).

3.4 Zawartość wody

Oznaczenie zawartości wody, czyli wilgotności bentonitu, dotyczy wody, która związana jest mechanicznie w cząsteczkach montmorylonitu, będącego głównym składnikiem bentonitów, i odparowuje w temperaturze do 110 °C. Zawartość określana jest w procentach (%). Jest to bardzo ważny parametr technologiczny, pozwalający na określenie właściwości użytkowych bentonitów, a tym samym ich przydatności w zależności od danego zastosowania.

W celu wyznaczenia zawartości wody w próbkach skorzystano z metody analizy wagowej. Ogólna zasada metody polega na tym, że odważoną próbkę bentonitu suszy się w suszarce do uzyskania stałej masy, a wyliczony jej ubytek przyjmuje się za zawartość wody. Wykonano następujące czynności: w pierwszej kolejności na wadze analitycznej, zważono naczynka wagowe, a następnie suszono je w suszarce w temperaturze 110 °C przez 15 minut. Po ostudzeniu, naczynka ponownie zważono. Czynność ta miała na celu uzyskanie stałej masy naczynek. Do tak przygotowanych naczynek, odważono 3 próbki po około 0.2 g bentonitu nieaktywowanego oraz 3 próbki po około 0.2 g bentonitu aktywowanego (dokładne masy zestawiono w **Tabeli 4**). Otwarte naczynka z próbkami wstawiono do suszarki i pozostawiono na 30 minut. Następnie wyjęto, zamknięto i studzono przez 10 minut, by ponownie zważyć je na wadze analitycznej. Opisaną cykliczną procedurę powtarzano do osiągnięcia stałej masy próbki. Wszystkie masy próbek z poszczególnych cykli zestawiono w **Tabeli 4**.

Tabela 4. Zestawienie wyników pomiarowych wielkości niezbędnych do wyznaczenia zawartości wody w próbkach bentonitu.

	Lp.	Masa naczynka po 15 minutach w suszarce (110°C) [g]	Masa przed suszeniem (110°C) [g]	Masa po 30 min (110°C) [g]	Masa po 60 min (110°C) [g]	Masa po 90 min (110°C) [g]
Bentonit nieaktywowany	1	23.0501	0.2009	0.1647	0.1626	0.1615
	2	23.8166	0.1997	0.1623	0.1612	0.1604
	3	22.8060	0.1996	0.1638	0.1610	0.1602
Bentonit aktywowany	4	34.6749	0.2044	0.1610	0.1598	0.1598
	5	35.7792	0.2017	0.1570	0.1570	0.1565
	6	35.3707	0.2090	0.1613	0.1608	0.1601

Tabela 5. Zestawienie wyników zawartości wody w próbkach bentonitu nieaktywowanego i aktywowanego.

	Lp.	Zawartość wody [%]		
		Po 30 minutach	Po 60 minutach	Po 90 minutach
Bentonit nieaktywowany	1	21.979	1.292	0.681
	2	23.044	0.682	0.499
	3	21.856	1.739	0.499
Bentonit aktywowany	4	26.957	0.751	0.000
	5	28.471	0.000	0.319
	6	29.572	0.311	0.437

W **Tabeli 5.** przedstawiono zestawienie wyników procentowej zawartości wody we wszystkich badanych próbkach bentonitu nieaktywowanego i aktywowanego, natomiast w **Tabeli 6,** zestawienie średnich wartości zawartości wody, co zostało przedstawione dodatkowo na **Rysunku 9.**

Procentową zawartość wody w badanych próbkach bentonitów obliczono korzystając z poniższej zależności (równanie 2) [6]:

$$W = \frac{a-b}{b} * 100 [\%] \quad (2)$$

gdzie:

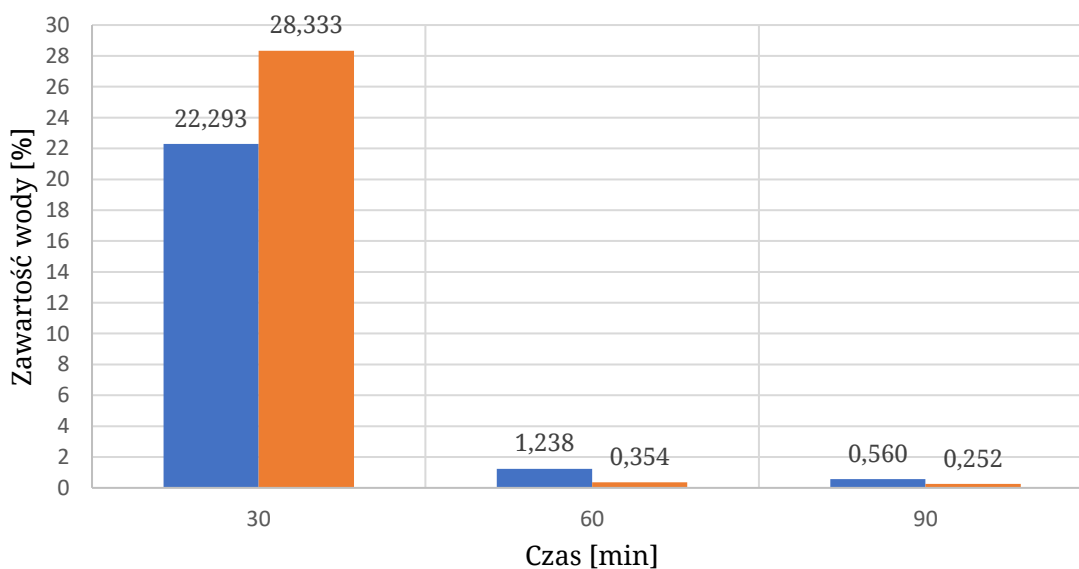
W - zawartość wody [%];

a - masa próbki przed pomiarem [g];

b - masa próbki po wysuszeniu [g].

Tabela 6. Zestawienie średnich zawartości wody w próbkach bentonitu nieaktywowanego i aktywowanego.

	Średnia zawartość wody [%]		
	Po 30 minutach	Po 60 minutach	Po 90 minutach
Bentonit nieaktywowany	22.3 ± 0.7	1.2 ± 0.5	0.560 ± 0.105
Bentonit aktywowany	28.3 ± 1.3	0.4 ± 0.4	0.3 ± 0.2



Rysunek 9. Wykres zależności zawartości wody w zależności od czasu suszenia: ● bentonit nieaktywowany, ● bentonit aktywowany.

Analizując uzyskane wyniki, można zauważyć, że bentonit aktywowany w stosunku do nieaktywowanego po 30 minutach suszenia zawierał więcej wody. W miarę upływu czasu, po 60 i końcowo 90 minutach (czasie osiągnięcia suchej masy) bentonit aktywowany charakteryzuje się znacznie mniejszymi wartościami procentowej zawartości wody. Finalna wartość zawartości wody, obliczona za pomocą równania 2 (po upływie 90 minut), była niemalże 2-krotnie większa w przypadku bentonitu nieaktywowanego.

4. Podsumowanie i wnioski

Ocena wizualna materiałów pod mikroskopem optycznym pozwoliła na zaobserwowanie licznych niejednorodności, a także znacznej różnicy w kolorze bentonitu nieaktywowanego i aktywowanego (pierwszy z nich ciemniejszy w porównaniu z drugim).

Aktywacja węglanem sodu przyczyniła się do wzrostu stężenia jonów wodorowych w roztworach bentonitu. Spowodowane jest to wymywaniem jonów Na^+ z przestrzeni międzypakietowych cząsteczek montmorylonitu. Zarówno w przypadku bentonitu aktywowanego, jak i tego niepoddanego procesowi aktywacji, obserwuje się tendencję wzrostu pH w funkcji czasu.

Na podstawie otrzymanych wyników przewodnictwa można zaobserwować wzrost jego wartości wraz z upływem czasu w przypadku obu badanych bentonitów. Zaobserwować można, że dla bentonitu poddanego procesowi kontrolowanej wymiany jonów wartości przewodnictwa są kilkukrotnie wyższe niż te uzyskiwane po upływie takiej samej ilości czasu dla próbek bentonitu nieaktywowanego.

Upływ czasu skutkował znacznym wzrostem pęcznienia próbek poszczególnych bentonitów, co zauważalne było zarówno nieuzbrojonym okiem, jak i potwierdzone zostało obliczeniami współczynników pęcznienia. Po stabilizacji wartości, współczynnik pęcznienia (po upływie ok. 90 minut) dla bentonitu aktywowanego przyjmował wartość 4-krotnie większą (ok. 1.9) niż w przypadku bentonitu, który nie został poddany temu procesowi (ok. 0.5). Po 24h nie zauważono wyraźnej zmiany objętości w stosunku do tej obserwowanej po 2h.

Odnosząc się do zawartości wody, można zauważyć, że bentonit aktywowany w stosunku do nieaktywowanego po 30 minutach suszenia zawierał więcej wody. Następnie, w miarę upływu czasu, bentonit aktywowany charakteryzuje się znacznie mniejszymi wartościami procentowej zawartości wody. Finalna wartość zawartości wody, obliczona za pomocą równania 2 (po upływie 90 minut), była niemalże 2-krotnie większa w przypadku bentonitu nieaktywowanego. Określenie tej właściwości dostarcza istotnych informacji w przypadku np. odpowiedniego doboru parametrów danego procesu technologicznego.

Reasumując, przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu procesu aktywacji na właściwości bentonitu, takie jak: pH, przewodnictwo, zawartość wody oraz pęcznienie. Kontrola tych parametrów ma kluczowy wpływ przy optymalizacji procesów technologicznych obróbki bentonitów i ich jakości w docelowych produktach. Innymi słowy aktywacja powoduje: wzrost pH, zwiększenie przewodnictwa w funkcji czasu oraz zwiększenie pęcznienia materiału. Dodatkowo ułatwia ona pozbycie się wody zaadsorbowanej przez bentonit w procesie suszenia.

Literatura

- [1] H. Kościółko, R. Wyrwicki: *Metodyka badań materiałów ilastych*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa- Wrocław 1996.
- [2] Polska Norma Branżowa: *Oznaczanie zawartości montmorillonitu*, BN-77, 4024-16.
- [3] R. Kozdrach, *Zastosowanie montmorylonitu jako dodatku modyfikującego właściwości tribologiczne smaru plastycznego wytworzonego na bazie roślinnej*, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, 2015r, DOI: 10.18668/NG20 15.12.12.
- [4] <https://www.certech.com.pl/katalog/bentonit/> (dostęp z dnia 27.11.2022r.)

- [5] M. Olejnik, Nanokompozyty polimerowe z udziałem montmorylonitu – otrzymywanie, metody oceny, właściwości i zastosowanie, Techniczne Wyroby Włókiennicze, Instytut Technologii Bezpieczeństwa "Moratex", Łódź 2008, 67-74.
- [6] <http://home.agh.edu.pl/~graboska/doc/Cwiczenie-CuTET.pdf> (dostęp z dnia 20.11.2022r.)
- [7] https://farmacja.cm.uj.edu.pl/cm/uploads/2019/09/Cwiczenie_1_Grawimetria_woda_WF.pdf (dostęp z dnia 20.11.2022r.).
- [8] A. Palma, I. Izdebska-Szanda, Wysokojakościowy bentonit odlewniczy produkowany z surowca bentonitu suszonego i wyselekcjonowanych frakcji powstających przy produkcji sorbentów higienicznych, Instytut Odlewnictwa, 2012r, DOI: 10.7356/iod.2012.12.
- [9] J. S. Kowalski, Technologiczne aspekty przemian temperaturowych kwarcowej osnowy piaskowej syntetycznej masy formierskiej z bentonitem, Wydawnictwo PK, 2011r.
- [10] F. Pezarski, A. Palma, I. Izdebska-Szanda, Innowacyjna technologia produkcji bentonitu odlewniczego z wykorzystaniem wyselekcjonowanych frakcji powstających przy wytwarzaniu sorbentów, Motrol, 2011, 13, 269–280.
- [11] https://inzynieria.com/uploaded/magazines/pdf/ib57_podroz%20do%20wnetrza%20bentonitu.pdf (dostęp z dnia 20.11.2022r.).
- [12] http://home.agh.edu.pl/~rusiniak/wp-content/uploads/cw-9-WSKAZNIK_PECZNIENIA.pdf (dostęp z dnia 28.11.2022r.).