



MARCIN GAJEK*, JANUSZ PARTYKA*, ALICJA RAPACZ-KMITA*, ŁUKASZ WÓJCIK*
MAGDALENA DUDEK**, KATARZYNA GASEK***

Surowiec ilasty ze złoża Wierzbka I (północne obrzeżenie Gór Świętokrzyskich) do produkcji płytek klinkierowych

Wprowadzenie

Surowce z obszaru północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich są tematem zainteresowania przemysłu ceramicznego ze względu na dużą ich przydatność do zastosowań m.in. w ceramice budowlanej. Złoża z tego obszaru, obejmujące rejon Radoszyc, Mniowa, Żarnowa i Suchedniowa zostały rozpoznane, udokumentowane i są źródłem podstawowego surowca dla przemysłu ceramicznego (Barczuk 1979; Szamałek 1983, 1989; Wyrwicki i Szamałek 1987). Wykorzystuje się je między innymi w ceramice budowlanej do produkcji wyrobów o czerepie porowatym (pustaków, cegieł, dachówek). Dodatkową, ważną cechą surowców z tych złóż jest ich bezwapienny charakter (Wyszomirski i Galos 2007). Jednym z nielicznych złóż niezagospodarowanych w tym regionie jest złożo Wierzbka I z okolic Suchedniowa (rys. 1). Właściwości surowców z tego złoża stały się przedmiotem badań w celu określenia ich przydatności dla przemysłu płytek klinkierowych.

W czerwcu 2013 r. firma PH „NEWMINE” uzyskała koncesję na wydobywanie triasowych ceramicznych iłów kamionkowych ze złoża Wierzbka I, o zasobach geologicznych

* Dr inż., *** Mgr inż., Katedra Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: mgajek@agh.edu.pl

** Dr inż., Katedra Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego, Wydział Energetyki i Paliw, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków



Rys. 1. Lokalizacja złoża Wierzbka I (obszar zaznaczony przez **○**) w obszarze występowania ilów triasowych w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich (obszar zacieniony)

Fig. 1. Wierzbka I deposit of red clay (the area marked by **○**) in the area of occurrence of Triassic clays in the northern margin of the Holy Cross Mountains (shaded area)

bilansowych (równych zasobom przemysłowym), których wielkość wynosi 918 tys. ton (Szuflicki i in. 2014). Złoże Wierzbka I o powierzchni 1,9 ha, zgodnie z danymi Centralnej Bazy Danych Geologicznych (2014), stanowi część złoża Wierzbka. Eksploatacja będzie prowadzona sposobem odkrywkowym, systemem ścianowym w wyrobisku stokowo-wgłębny, a jej rozpoczęcie przewidywane jest w III kwartale 2015 r. Surowiec będzie pozyskiwany na potrzeby firmy Cerrad Sp. z o.o., której jednym z produktów są prasowane wyroby klinkierowe. Zakład produkcyjny firmy znajduje się w odległości około 20 km od złoża.

Aktualna technologia produkcji płytek klinkierowych wymusza użycie surowców o takich parametrach, które pozwolą na przeprowadzenie procesu wypalania w tzw. szybkim wypale. Długość całego cyklu wypalania wyrobów od wejścia do wyjścia z pieca to czas poniżej 45 minut, przy maksymalnej temperaturze około 1200°C. W technologii produkcji płytek klinkierowych wykorzystuje się surowce ilaste o zabarwieniu ceglastym, zawierające w swoim składzie Fe_2O_3 , sprzyjający procesom spiekania i silnie wpływający na barwę otrzymanego tworzywa, charakterystycznego dla typowych tworzyw klinkierowych. Surowce stosowane w tej technologii powinny charakteryzować się dobrą spiekalnością, co gwarantuje uzyskanie tworzywa o niskiej nasiąkliwości, wysokiej odporności chemicznej i wytrzymałości mechanicznej.

1. Zakres i metodyka badań

Do oceny właściwości fizykochemicznych i technologicznych surowca ze złoża pobrano trzy reprezentatywne próbki pochodzące z trzech różnych głębokości. Oznaczono je odpowiednio WB3, WM3 i WC3, a schemat pobrania próbek pokazano na rysunku 2. Dwie pierwsze próbki zostały pozyskane z wierzchniej warstwy złoża i tak próbka WB3 charakteryzowała się zabarwieniem szaro-zielonym, co może świadczyć o braku w niej hematytu (Wyszomirski i in. 2010), zaś próbka WM3 pochodziła z warstwy pośredniej i wykazywała zabarwienie szaro-ceglaste. Trzecia próbka (WC3), pozyskana z zasadniczej części złoża, charakteryzowała się barwą ceglasto-czerwoną.



Rys. 2. Schemat pobrania próbek surowca ze złoża Wierzbka I

Fig. 2. Scheme of sampling of the Wierzbka I deposit

Próbki do badań przygotowano na potrzeby poszczególnych metod badawczych. Analizę chemiczną, rentgenograficzną, termiczną wykonano na próbkach surowych, rozdrobnionych do uziarnienia poniżej 0,063 mm. Pomiar temperatur charakterystycznych wykonano na rozdrobnionym materiale, sprasowanym ręcznie. Obserwacji mikrostruktury surowców dokonano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego NovaNano SEM 200 (FEI Company). Skład chemiczny został oznaczony przy zastosowaniu spektrometru WDXRF Axios MAX z lampą Rh o mocy 4 kW firmy PANalytical. Skład fazowy został określony metodą analizy dyfrakcji rentgenowskiej. Do pomiaru użyto dyfraktometru X'Pert Pro (PANalytical) (CuK α). Temperatury charakterystyczne surowca określono przy użyciu mikroskopu wysokotemperaturowego Misura[®] HSM. Do pomiaru spiekalności, próbki w kształcie walca ($\varnothing = 30$ mm) zostały sprasowane jednoosiowo pod ciśnieniem 28 MPa, a następnie poddane badaniu przy użyciu dylatometru DIL 402 CD (Netzsch). Termiczną analizę badanych surowców oraz emisję gazów oznaczono przy użyciu aparatury do analizy termicznej STA 449 F3 Jupiter Thermal Analyzer (Netzsch) oraz sprzężonego z nią kwadrupolowego spektrometru masowego TA-QMS Coupling (Netzsch).

Pomiar prowadzono w tyglach alundowych z szybkością ogrzewania 10°C/min w zakresie temperatur 30–1230°C w atmosferze powietrza. Próbki do badań porowatości otwartej, nasiąkliwości i gęstości pozornej przygotowano z rozdrobnionego, zgranulowanego i zaprasowanego materiału. Ciśnienie prasowania wynosiło odpowiednio 21, 28, 35 i 42 MPa. Tak przygotowane próbki poddano procesowi wypalania w szybkim cyklu w czasie 1 godziny w laboratoryjnym piecu firmy Nabertherm LS 12/13 w przedziale temperatur od 1130 do 1220°C.

2. Wyniki badań i dyskusja

2.1. Analiza chemiczna

Wyniki analizy chemicznej surowców zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Analiza chemiczna [% mas.] próbek surowca ilastego ze złoża Wierzbka I

Table 1. Chemical composition [wt. %] of raw materials from the Wierzbka I deposit

Próbka \ Składnik	Strata prażenia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Na ₂ O	TiO ₂
WB3	4,75	70,10	14,60	3,95	0,34	2,78	<0,10	2,17	0,12	<0,10	0,91
WM3	4,82	70,20	14,20	4,16	0,33	2,64	<0,10	2,14	0,12	<0,10	0,88
WC3	5,65	60,70	17,90	8,47	0,25	2,64	<0,10	3,20	<0,10	<0,10	0,96

Skład chemiczny analizowanych próbek zdominowany jest przede wszystkim przez SiO₂, którego obecność wiąże się z zawartością kwarcu oraz minerałów ilastych. Analiza chemiczna próbek WB3 i WM3 wykazała zwiększoną ilość SiO₂, w porównaniu do próbki surowca pobranej z najniższej partii złoża (WC3). Wskazuje to na zapiaszczenie wierzchnich warstw surowca. Próbka WC3 charakteryzowała się także najwyższą zawartością Al₂O₃, co świadczy o znacznej zawartości minerałów ilastych. Próbki z wierzchniej warstwy złoża (WB3 i WM3) charakteryzują się także niższą zawartością Fe₂O₃ w porównaniu do próbki WC3, w której zawartość Fe₂O₃ osiąga wartość na poziomie 8,47% mas. Wskazuje to na obecność hematytu wprowadzającego Fe₂O₃ i odpowiadającego za czerwoną barwę surowca.

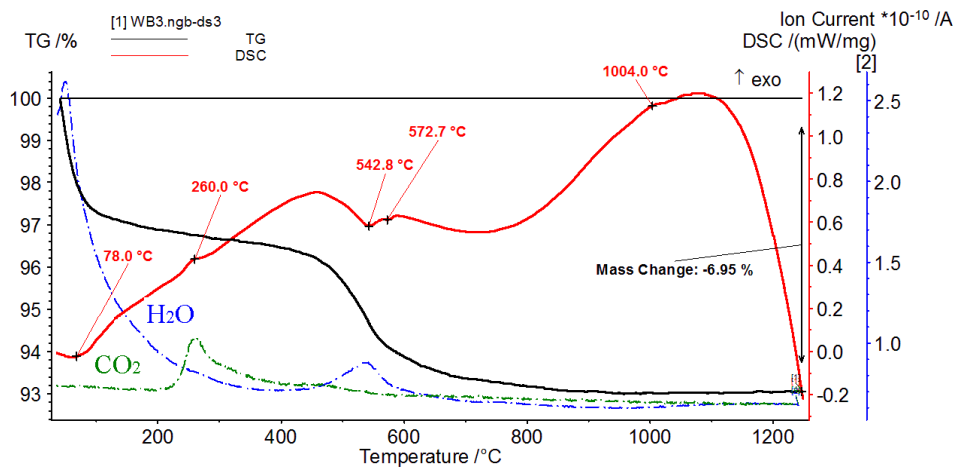
Analiza chemiczna surowca wykazała, że próbki pozyskane ze złoża charakteryzują się niewielką ilością zanieczyszczenia w postaci CaO. Niską zawartość CaO wykazały wszystkie próbki surowca, bez względu na miejsce pobrania. Zawartość CaO poniżej 0,35% pozwala zaliczyć badane surowce do ilów bezwapiennych (Wyszomirski i Galos 2007).

2.3. Analiza termiczna

Analiza termiczna (DSC/TG) próbek WB3, WM3, WC3 została przedstawiona na rysunkach 4 do 6.

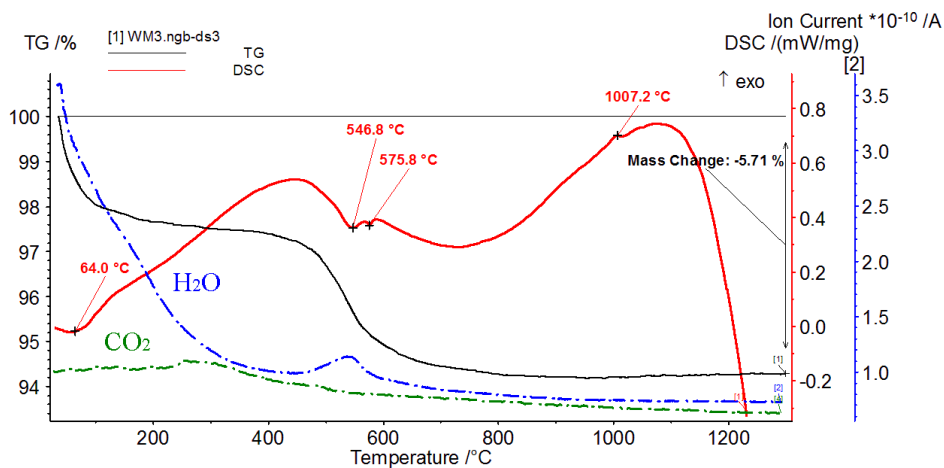
Analiza termiczna wykonana dla wszystkich próbek ze złoża Wierzbka I pozwoliła na zaobserwowanie następujących efektów:

- ◆ rozmyty efekt endotermiczny z maksimum odpowiednio dla WB3 – 78°C, WM3 – 64°C, WC3 – 68°C, związany z dehydratacją wody zaadsorbowanej na powierzchni



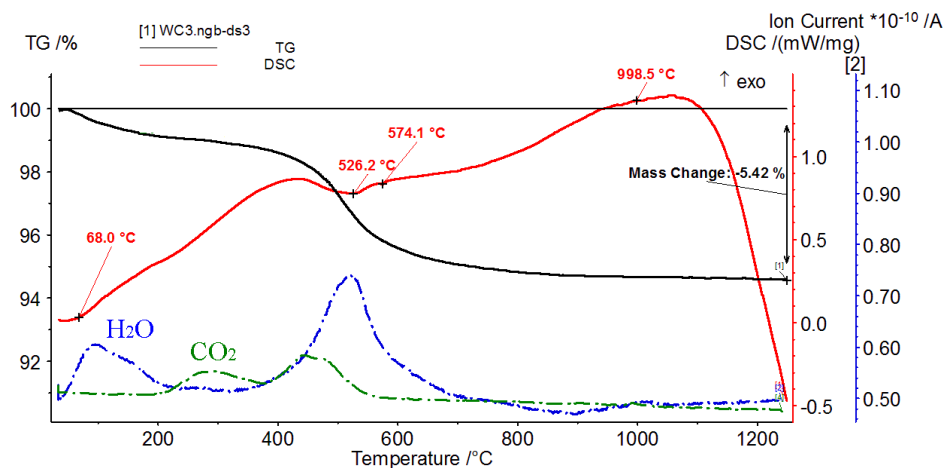
Rys. 4. Analiza termiczna (DSC/TG) surowca WB3

Fig. 4. Thermal analysis (DSC/TG) of WB3 sample



Rys. 5. Analiza termiczna (DSC/TG) surowca WM3

Fig. 5. Thermal analysis (DSC/TG) of WM3 sample



Rys. 6. Analiza termiczna (DSC/TG) surowca WC3

Fig. 6. Thermal analysis (DSC/TG) of WC3 sample

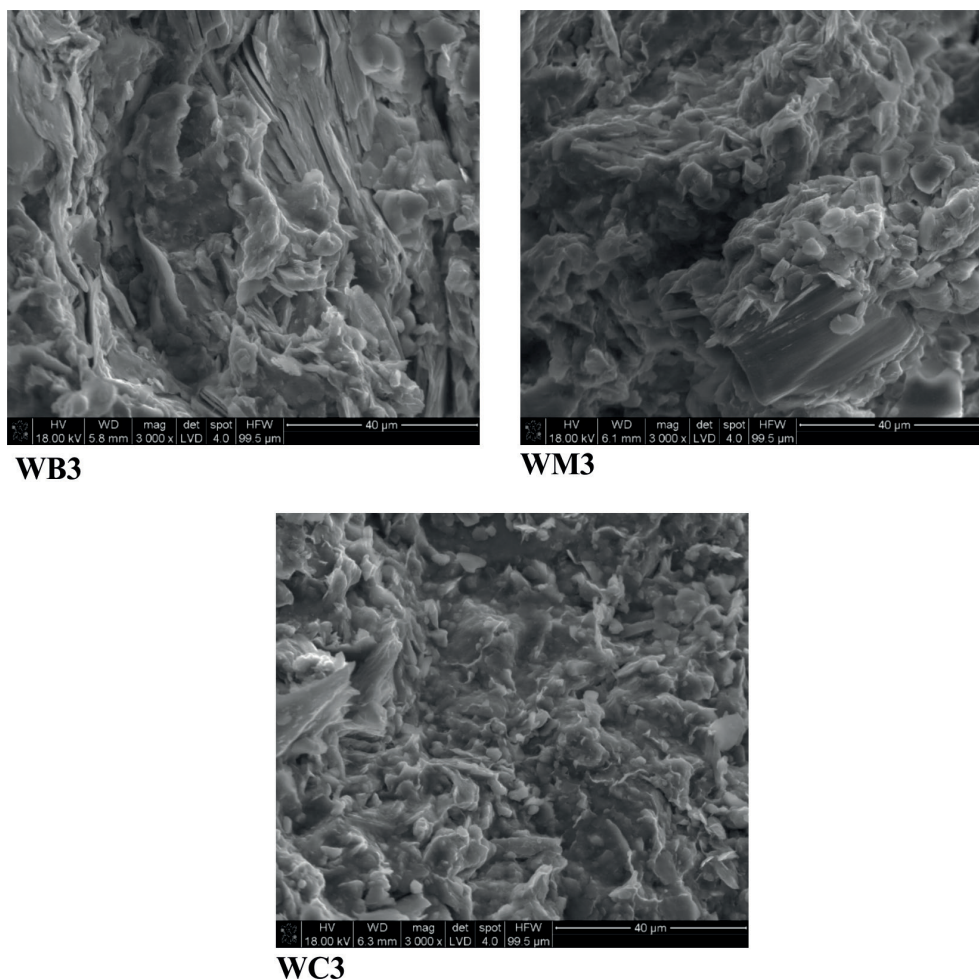
minerałów ilastych, oraz wody międzypakietowej, co potwierdza zarejestrowana emisja H_2O , aż do około $200^\circ C$,

- ◆ rozmyte efekty endotermiczne z maksimum w temperaturze odpowiednio dla WB3 – $543^\circ C$, WM3 – $547^\circ C$, WC3 – $526^\circ C$, związane z dehydroksylacją minerałów ilastych niskie temperatury efektu mogą świadczyć o przewadze illitu (Wyszomirski i Muszyński 2007),
- ◆ drugie, słabe maksimum efektu endotermicznego, w temperaturze około $575^\circ C$ związane jest z przemianą polimorficzną $\beta \rightarrow \alpha$ kwarcu,
- ◆ zaobserwowano emisję CO_2 do temperatury około $550^\circ C$ związaną ze spalaniem substancji organicznych, natomiast nie zaobserwowano emisji CO_2 w wyższych temperaturach, co potwierdza brak węglanów,
- ◆ bardzo słaby efekt egzotermiczny około $1000^\circ C$ jest związany z krystalizacją nowych faz powstałych w wyniku rozkładu termicznego kaolinitu.

Całkowity ubytek masy próbek ogrzanych do $1230^\circ C$ wyniósł odpowiednio dla WB3 – 6,95%, WM3 – 5,71%, WC3 – 5,42%, co świadczy o niewielkiej zawartości substancji organicznej w badanych surowcach.

2.4. Obserwacje mikroskopowe

Mikrofotografie surowców WB3, WM3 i WC3 pobranych ze złoża Wierzbka I przedstawiono na rysunku 7. Wszystkie surowce wykazują droбноziarnisty, zbity charakter, ze słabo widocznymi płytkami minerałów ilastych.



Rys. 7. Mikrofotografie SEM badanych surowców

Rys. 7. SEM micrographs of the tested raw materials

2.5. Spiekalność surowców i temperatury charakterystyczne

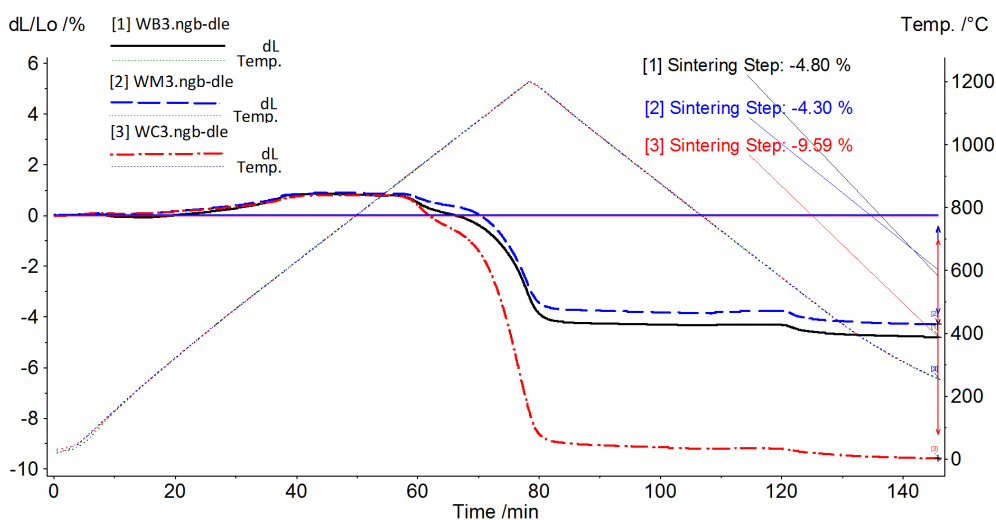
Wyniki pomiaru temperatur charakterystycznych zamieszczono w tabeli 2, zaś charakterystykę procesu spiekania badanych surowców przedstawiono na rysunku 8.

Pomiar temperatur charakterystycznych wykazał, że próbka WC3 charakteryzuje się najniższą temperaturą początku spiekania (950°C), o prawie 80°C niższą niż próbka WM3 i aż 140°C niższą niż próbka WB3. Próbka WC3 charakteryzująca się najwyższą zawartością Fe_2O_3 zaczyna pęcznieć w temperaturze 1260°C . W próbkach WB3 i WM3 proces ten

Tabela 2. Temperatury charakterystyczne surowców ilastych ze złoża Wierzbka I

Table 2. The characteristic temperatures of clayey raw materials from the deposit Wierzbka I

Temperatura [°C]	WB3	WM3	WC3
Początku spiekania	1 088	1 029	950
Mięknięcia	–	–	–
Topnienia	–	–	–
Początku pęcznienia	1 310	1 300	1 260



Rys. 8. Dylatometryczne krzywe spiekania badanych surowców ilastych

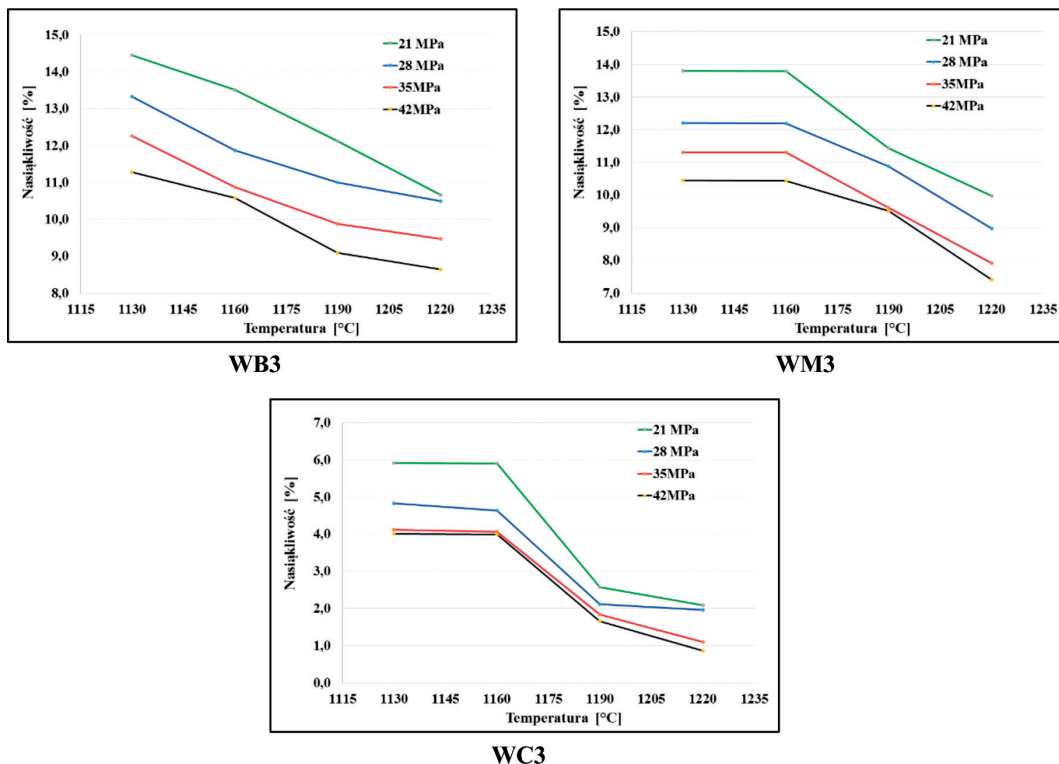
Rys. 8. Dilatometric curves of sintered clayey of materials studied

zaobserwowano w temperaturze o około 50°C wyższej. Pęcznienie próbki WC3 w temperaturze 1260°C może ograniczać wykorzystanie surowca z tej części złoża dla celów technologicznych prowadzonych w wyższych temperaturach.

Całkowita skurczliwość spiekania do temperatury 1230°C jest najwyższa dla próbki WC3 i wynosi 9,59%. Zjawisko to jest spowodowane obecnością w próbce WC3 najwyższej ilości Fe_2O_3 (8,47%).

2.6. Pomiar porowatości, nasiąkliwości i gęstości

Wyniki oznaczeń porowatości otwartej, nasiąkliwości i gęstości pozornej zamieszczono na rysunkach 9 do 11.



Rys. 9. Nasiąkliwość badanych surowców ilastych dla różnych wartości ciśnienia prasowania w funkcji temperatury

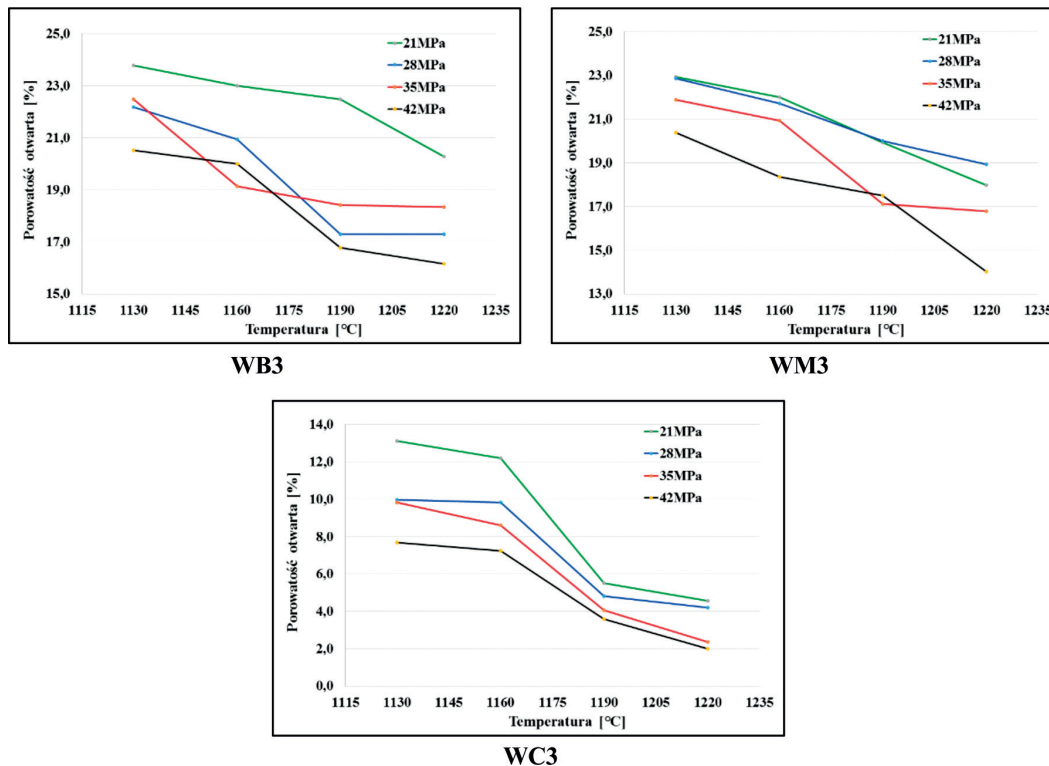
Fig. 9. Water absorption of clayey raw materials studied for various values of the pressure as a function of temperature

Pomiary nasiąkliwości badanych surowców wykazały, zgodnie z oczekiwaniem, że wraz ze wzrostem ciśnienia prasowania i temperatury wypalania, spada nasiąkliwość tworzyw. Wykonanie pomiarów pozwoliło na zaobserwowanie następujących zależności:

- ◆ dla próbki surowca WB3, zaprasowanej pod ciśnieniem 42 MPa, w temperaturze 1220°C, uzyskano nasiąkliwość na poziomie 8,6%,
- ◆ dla próbki surowca WM3, zaprasowanej pod ciśnieniem 42 MPa, uzyskano w temperaturze 1220°C nasiąkliwość na poziomie 7,4%,
- ◆ próbki surowca WC3 zaprasowane pod ciśnieniem 42 MPa, w temperaturze 1220°C uzyskały nasiąkliwość równą 0,9% – najniższą spośród badanych materiałów.

Badania porowatości otwartej, przeprowadzone na przygotowanych próbkach surowców, wykazały zależność podobną do wyników oznaczeń nasiąkliwości. I tak:

- ◆ dla próbek surowca WB3, zaprasowanych pod ciśnieniem 42 MPa, uzyskano w temperaturze 1220°C porowatość otwartą na poziomie 16,2%,
- ◆ dla tego samego ciśnienia prasowania i w tej samej temperaturze wypalania, uzyskano dla próbek surowca WM3 porowatość otwartą na poziomie 14,0%,



Rys. 10. Porowatość otwarta badanych surowców ilastych dla różnych wartości ciśnienia prasowania w funkcji temperatury

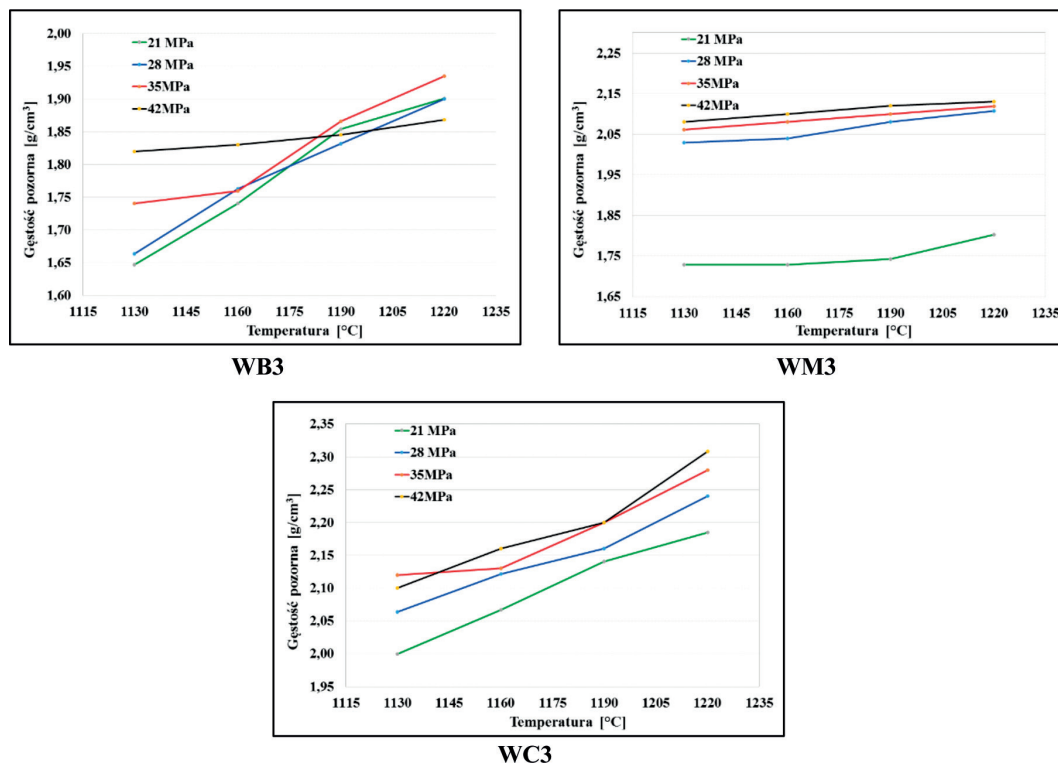
Fig. 10. Open porosity of clayey raw materials studied for various values of the pressure as a function of temperature

- ◆ surowiec WC3 uzyskał najniższą wartość porowatości otwartej na poziomie 2,0% dla tych samych warunków przygotowania próbek.

Niskie wartości nasiąkliwości i porowatości otwartej, uzyskane dla tworzywa WC3, miały wpływ na wartość jego gęstości pozornej. Materiał uzyskany z surowca WC3 przez prasowanie pod ciśnieniem 42 MPa i wypalenie w temperaturze 1220°C charakteryzował się, najwyższą spośród badanych, wartością gęstości pozornej na poziomie 2,3 g/cm³. Pozostałe tworzywa, otrzymane w tych samych warunkach, wykazały gęstość pozorną odpowiednio: WB3 – 1,9 g/cm³, WM3 – 2,1 g/cm³.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na szczegółową analizę składu chemicznego, fazowego, właściwości termicznych i technologicznych próbek surowca ze złoża Wierzbka I z okolic Suchedniowa.



Rys. 11. Gęstość pozorna badanych surowców ilastych dla różnych wartości ciśnienia prasowania w funkcji temperatury

Fig. 11. Apparent density of clayey raw materials studied for various values of the pressure as a function of temperature

Dominującymi minerałami w próbkach surowca pobranych z różnych głębokości złoża były minerały ilaste: illit, kaolinit oraz smektyt, względnie minerały mieszanopakietowe: illit/smektyt. Stwierdzono także obecność minerałów nieilastych, takich jak kwarc, plagioklasy, czy hematyt. We wszystkich surowcach nie stwierdzono obecności węglanów wapnia, co szczególnie wyróżnia te surowce jako przydatne do zastosowań w technologii szybkościowego wypalania, w produkcji płytek klinkierowych.

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że najlepszymi właściwościami technologicznymi charakteryzuje się próbka pochodząca z dolnej części złoża (WC3), która posiadała naturalną, ceglasto-czerwoną barwę, wynikającą z obecności dużej ilości Fe_2O_3 . Wysoka zawartość Fe_2O_3 sprzyja procesom spiekania i pozwala otrzymać tworzywo o wysokim stopniu spieczenia. Badania wykazały możliwość uzyskania tworzywa o nasiąkliwości poniżej 1%, porowatości otwartej na poziomie 2% i gęstości rzeczywistej $2,3 \text{ g/cm}^3$.

Wyniki badań jednoznacznie potwierdziły przydatność triasowych surowców ilastych ze złoża Wierzbka I do produkcji płytek klinkierowych.

Praca została wykonana w ramach środków finansowych przeznaczonych na działalność statutową Akademii Górniczo-Hutniczej Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki (11.11.160.617)

LITERATURA

- Barczuk, A. 1979. Studium petrograficzne utworów pstręgo piaskowca w północno-wschodnim obrzeżeniu Gór świętokrzyskich. *Archiwum Mineralogiczne* 35(2), s. 87–155.
- Brindley, G.W. i Brown, G. 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. *Mineralogical Society*. Londyn.
- Dokumentacja geologiczna. Dokumentacja geologiczna w kat. C1 złoża triasowych surowców ilastych „Wierzbka 1” w miejsc. Suchedniów. [Online] Dostępne w: <http://baza.pgi.gov.pl/igs/dokument.asp?ID=861159&mode=zloza>, [Dostęp: 10 listopad 2014].
- Szamałek, K. 1983. Charakterystyka mineralogiczna dolnotriasowych surowców ilastych ze Skoków (Góry Świętokrzyskie). *Kwartalnik Geologiczny* 27(1), s. 69–86.
- Szamałek, K. 1989. Właściwości surowcowe na tle litologii skał ilastych triasu dolnego w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 361, s. 55–106.
- Szufficki i in. 2014 – Szufficki, M., Malon, A. i Tymiński, M. 2014. Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, 466 s.
- Wyrwicki, R. i Szamałek, K. 1987. Litologia i własności surowcowe baranowskich glin kamionkowych. *Kwartalnik Geologiczny* 30, 3–4, s. 533–558.
- Wyszomirski, P. i Galos, K. 2007. Surowce ilaste krajowego przemysłu ceramiki szlachetnej i technicznej Część III. Czerwone iły triasowe. *Materiały Ceramiczne* 59(3), s. 102–110.

SUROWIEC ILASTY ZE ZŁOŻA WIERZBKA I (PÓLNOCNE OBRZEŻENIE GÓR ŚWIĘTOKRZYSKICH) DO PRODUKCJI PŁYTEK KLINKIEROWYCH

Słowa kluczowe

surowiec ceramiczny, Góry Świętokrzyskie, płytki klinkierowe, analiza technologiczna

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań triasowych surowców ilastych Wierzbka I, będących częścią złoża Wierzbka z okolic Suchedniowa, do produkcji płytek klinkierowych metodą prasowania. W technologii produkcji płytek klinkierowych wykorzystuje się głównie surowce ilaste o zabarwieniu ceglastym, zawierające w swoim składzie Fe_2O_3 , sprzyjający procesom spiekania i silnie wpływający na barwę otrzymanego tworzywa, charakterystycznego dla typowych tworzyw klinkierowych. Surowce stosowane w tej technologii powinny charakteryzować się dobrą spiekalnością, co gwarantuje uzyskanie tworzywa o niskiej nasiąkliwości, wysokiej odporności chemicznej i wytrzymałości mechanicznej.

Próbki surowca, pobrane z trzech różnych głębokości złoża, poddano w stanie surowym analizie: chemicznej, fazowej (XRD, termicznej DSC/TG), a także zbadano ich skurczliwość spiekania oraz wyznaczono krzywą spiekania i temperatury charakterystyczne. Analizę mikrostruktury przeprowadzono na podstawie obserwacji mikroskopowych (SEM). Analizy: rentgenograficzna i termiczna

badanych surowców wykazały obecność między innymi minerałów ilastych (illit, kaolinit, minerały mieszanopakietowe illit/smektyt), kwarcu i minerałów żelazistych. W próbkach badanego surowca nie stwierdzono obecności węglanów wapnia, co szczególnie wyróżnia te surowce jako przydatne do zastosowań w technologii szybkościowego wypalania płytek klinkierowych. Próbkę surowca zaprasowano następnie w przedziale ciśnień od 21 do 42 MPa i poddano procesowi wypalania w zakresie temperatur 1130–1220°C. Uzyskano w ten sposób tworzywo o wysokim stopniu spieczenia, charakteryzujące się gęstością pozorną na poziomie 2,31 g/cm³, porowatością otwartą poniżej 2,5% oraz nasiąkliwością poniżej 1,0%.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na dużą przydatność technologiczną surowców z tego złoża.

CLAYS OF WIERZBKA I DEPOSIT (NORTHERN MARGIN OF HOLY CROSS MOUNTAINS) FOR THE PRODUCTION OF CLINKER TILES

Keywords

ceramic raw material, the Holy Cross Mts, clinker tiles, technological analysis

Abstract

The paper presents results of research on the assessment of the suitability of the Wierzbka I Triassic clay raw materials, which are part of the Wierzbka deposit near Suchedniów, for the production of clinker tiles obtained by pressing. Red colour clays are often used in the production technology of clinker tiles. The high content of Fe₂O₃ in the composition of red clays promotes the sintering process and affects the colour of the resulting material, a typical characteristic of clinker materials. The raw materials used in this technology should have good sinterability, which guarantees a material with low water absorption, high chemical resistance and mechanical strength.

Samples of the raw materials were taken from three different depths of the deposit, and subjected to analysis as follows: chemical composition, phase composition (XRD, thermal analysis DSC/TG), sintering shrinkage, sintering curve and the characteristic temperatures. The analysis of the microstructure was determined using scanning electron microscopy (SEM). The X-ray and thermal analysis of the studied clays revealed the presence of clay minerals such as: illite, kaolinite, illite/smectite, but also quartz and ferruginous minerals. There was no presence of calcium carbonate in the tested samples of the raw clay, which particularly distinguishes these materials as being suitable for use in the fast firing technology of clinker tiles. Samples of the raw materials were pressed under a pressure ranging from 21 to 42 MPa and then fired at temperatures in the range 1130 to 1220°C. The obtained sintered bodies were characterized by a high degree of sintering, an apparent density of 2.31 g/cm³, an open porosity of less than 2.5% and water absorption below 1.0%. The results of this study indicate a high technological value of raw materials from the Wierzbka I deposit.