

Stanowisko badawcze do oceny efektów utwardzania mas ze szkłem wodnym

M. Stachowicz, D. Nowak, K. Granat*

Zakład Odlewnictwa i Automatykacji, Politechnika Wrocławska,
ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: kazimierz.granat@pwr.wroc.pl

Otrzymano 17.07.2012; zaakceptowano do druku 05.09.2012

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań nad możliwością zastosowania nowego stanowiska badawczego do oceny, na podstawie końcowej zawartości wody, finalnego efektu utwardzania wybranymi metodami mas ze szkłem wodnym. Badania wykonano na innowacyjnym, mobilnym stanowisku mikrofalowej linii szczelinowej wykorzystującej zjawisko występowania fali stojącej w falowodzie. Badaniom poddano pięć mas sporządzonych z dostępnymi w handlu gatunkami szkła wodnego, które utwardzono trzema, wybranymi metodami: mikrofalową, klasyczną oraz w procesie CO₂. Wykazano, na przykładzie mas ze szkłem wodnym, że prezentowane, mobilne stanowisko pomiarowe może, na podstawie określenia końcowej zawartości wody, służyć z powodzeniem do oceny ostatecznego efektu utwardzania mas formierskich i rdzeniowych.

Słowa kluczowe: Masy formierskie i rdzeniowe, Mikrofałe, Utwardzanie, Proces CO₂, Szkło wodne, Woda

1. Wprowadzenie

W wielu przypadkach o końcowym efekcie procesu suszenia lub utwardzenia, pewnej grupy mas formierskich i rdzeniowych, decyduje końcowa ilość pozostającej w nich wody. Określenie jej zawartości w masie może posłużyć do oceny jakości połączeń ziaren osnowy (mostków wiążących) po zakończonym procesie utwardzania. Wiadomo, że ilość wody ma wpływ na właściwości wytrzymałościowe i technologiczne zarówno mas klasycznych [1] jak i mas ze spoiwami nieorganicznymi, do których należy szkło wodne sodowe. Do oceny końcowego efektu procesu utwardzania mas, zależnego od ilości pozostającej w nich wody, można wykorzystać zjawisko występowania mikrofalowej fali stojącej w falowodzie, będącej rezultatem interferencji fali odbitej od danego ośrodka (masa formierska) i fali na niego padającej. Z pomocą, umieszczonego w szczeliny falowodu, detektora składowej napięcia fali elektromagnetycznej można wyznaczyć, odgrywający bardzo istotną rolę w procesach nagrzewania

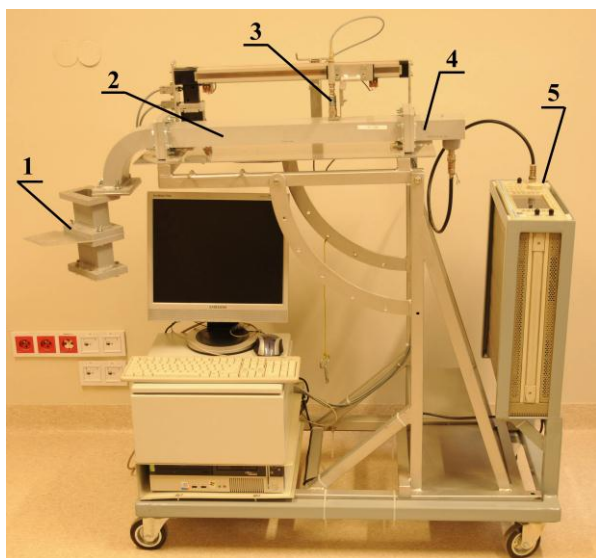
mikrofalowego, współczynnik fali stojącej (wfs). Do pomiaru wfs wykorzystuje się mikrofalowe linie szczelinowe [2 - 6].

Stosowane w badaniach, do oceny efektów końcowych procesów utwardzania, mobilne stanowisko mikrofalowej linii szczelinowej wykorzystuje wysokoczęstotliwościową polaryzację dielektryczną molekuł, mających charakter dipoli. Dipole te, pod działaniem fal elektromagnetycznych w zakresie częstotliwości od 300 MHz do 3 GHz, zamieniają swoje drgania na ciepło w wyniku tarcia między cząsteczkami [7]. Najczęściej stosowana częstotliwość z zakresu mikrofal równa 2,45 GHz powoduje w materiałach wieloskładnikowych zawierających cząsteczki wody, w tym w masach formierskich i rdzeniowych, intensywne drgania obecnych w ich składzie dipoli, którymi są cząsteczki wody, a przez to jej intensywne parowanie. Odbywa się to w taki sposób, że pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego powstają siły elektrodynamiczne, które powodują obrót i ustawianie się dipoli równoległe do kierunku zewnętrznego pola elektrycznego. Efektem takiego zachowania się dipoli jest zmniejszenie się natężenia pola elektrycznego wewnątrz

dielektryka. Nieustannie zmieniający się kierunek pola elektrycznego, pod wpływem działania przemiennego pola elektrycznego, powoduje ciągle przemieszczanie się ładunków i wzajemne tarcie związanych z nim cząsteczek [8].

We wstępnych badaniach wfs wybranych materiałów formierskich [9, 10, 11] korzystano ze stanowiska pomiarowego składającego się ze źródła fali elektromagnetycznej - magnetronu, prostokątnego falowodu z ruchomą sondą oraz miernika wfs. Ze względu na zastosowanie jako źródła fali elektromagnetycznej magnetronu generującego mikrofałę o minimalnej mocy $P = 100$ W, obserwowano nagrzewanie się substratu i odparowywanie wilgoci, i w konsekwencji ciągłą, podczas pomiaru, zmianę wartości wfs.

Doświadczenia, zebrane podczas takich pomiarów przy niekorzystnej, dużej mocy sygnału, wykorzystano do budowy stanowiska, na którym możliwe są bardzo precyzyjne pomiary wfs materiałów formierskich prowadzone między innymi w celu zbadania wpływu wybranych metod utwardzania na ilość pozostającej w masie wody. Odpowiednio dobrane urządzenia oraz materiały, z których je wykonano, pozwalają na minimalizację wpływu nagrzewania przez mikrofałę badanych, wilgotnych substratów w trakcie pomiaru. Zakup elementów do budowy precyzyjnego stanowiska pomiarowego, przedstawionego na rys. 1, został sfinansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w projekcie badawczym promotorskim Nr N N N508 584439.



Rys. 1. Widok mobilnego stanowiska badawczego: 1 - komora na badane materiały z falowodowym tłumikiem mikrofal, 2 - falowód prostokątny ze szczeliną, 3 – ruchomy detektor diodowy ze strojnikami dopasowującym, 4 – przejście falowodu w układ współosiowy w standardzie WR340, 5- generator mikrofalowy (syntezator częstotliwości) niskich mocy $f = 2,45$ GHz

2. Stanowisko badawcze

Najważniejszym elementem stanowiska pokazanego na rys. 1 jest źródło fali elektromagnetycznej - syntezator częstotliwościowy

model M 2031. Wygenerowany przez to urządzenie sygnał trafiał do aluminiowego falowodu prostokątnego. Źródło mikrofal umożliwia pełną, płynną regulację częstotliwości, mocy i głębokości modulacji sygnału. Dzięki temu możliwy jest dobór, dla częstotliwości 2,45 GHz, właściwej kombinacji powyższych parametrów dla uzyskania w ten sposób najbardziej zbliżonego do sinusoidalnego przebiegu fali stojącej w falowodzie. Przebieg takiej fali pokazano graficznie na rys. 2.

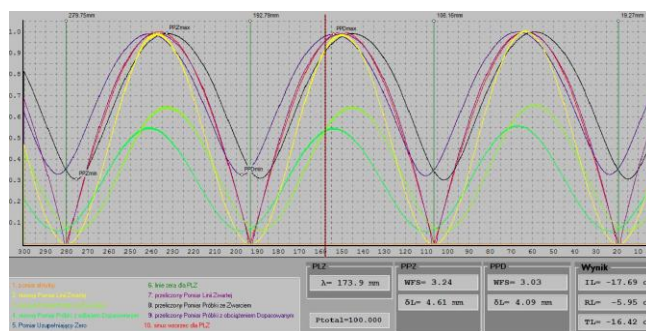
Do pomiarów maksimum amplitudy fali stojącej w funkcji napięcia posłużył bardzo dokładny detektor diodowy, model 423A, charakteryzujący się niskim poziomem czułości nie mniejszym niż 0,4 mV.

Falowód ze szczeliną, wraz z dodatkowymi elementami jak: komora falowodowa dla substratów i komora falowodowa z dopasowanym obciążeniem, wykonano w standardzie właściwym dla stosowanego zakresu częstotliwości fali elektromagnetycznej, zapewniając tym samym prawidłowy rozkład pola elektromagnetycznego we wnętrzu tych elementów.

Dla wykluczenia błędów powstających w przypadku manualnej obsługi karetki z detektorem diodowym wprowadzono elementy automatyki pomiarowej dla pełnej automatyzacji pomiarów. Zastosowano w tym celu silnik krokowy do napędu posuwu wzdłużnego detektora 423A w szczelinie falowodu.

Ponadto do próbkowania i obróbki w formie graficznej wyników pomiarów wykorzystano program komputerowy firmy „AMT” Zakład Elektroniczny Usługowo - Wdrożeniowy, obsługujący kartę pomiarową zainstalowaną w przystosowanym do stanowiska zestawie komputerowym (rys. 2).

W badaniach wstępnych, prowadzonych przy zwarciu linii mikrofalowej, ustalono wartość parametrów sygnału umożliwiającego bardzo dokładne oznaczenie wfs na poziomie $\approx 3,98$ mW.



Rys. 2. Graficzne przedstawienie procesu pochłaniania mikrofal rejestrowanego za pomocą stanowiska pomiarowego i programu firmy „AMT” Zakład Elektroniczny Usługowo- Wdrożeniowy

3. Przygotowanie próbek z mas formierskich

Do sporządzania użytych w badaniach mas formierskich zastosowano wzorcowy piasek kwarcowy z kopalni Nowogród Bobrzański o frakcji głównej 0,40/0,32/0,20 oraz dostępne w handlu gatunki szkła wodnego sodowego wyprodukowanego

w Zakładach Chemicznych „Rudniki” SA, którego właściwości (zgodnie z atestem producenta) przedstawiono w tabeli 1.

Masy do badań przygotowywano zgodnie z ustaloną we wcześniejszych badaniach procedurą [12] wprowadzając podczas mieszania osnowy 0,5 % wody w celu wstępnego zwilżenia ziaren osnowy, a następnie 5,0 % wybranego gatunku szkła wodnego. Próbkę do badań zagęszczano, w falowodowej komorze pomiarowej przeznaczonej na badane materiały, również zgodnie z ustaloną wcześniej metodyką [12], przez trzykrotnie uderzenie na ubijaku laboratoryjnym.

Tabela 1.

Właściwości fizykochemiczne szkła wodnego stosowanego do sporządzania mas formierskich

Gatunek szkła wodnego:	137	140	145	149	150
Moduł molowy SiO ₂ /Na ₂ O	3.2÷3.4	2.9÷3.1	2.4÷2.6	2.8÷3.0	1.9÷2.1
Zaw. tlenków (SiO ₂ +Na ₂ O) %	35.0	36.0	39.0	42.5	40.0
Gęstość (20 °C) g/cm ³	÷1.40	÷1.43	÷1.48	÷1.51	÷1.53
Fe ₂ O ₃ % max.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
CaO % max.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Lepkość dynamiczna min. (P)	1	1	1	7	1

Zagęszczone w pomiarowej komorze falowodu próbki pięciu rodzajów mas, o sumarycznej zawartości wilgotnych składników (spoiwo + woda) równej 5,5 %, utwardzano w procesie CO₂

przedmuchując je nieogrzewanym dwutlenkiem węgla przez 30 s pod ciśnieniem gazu 0,02 MPa lub klasycznie w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 110 °C przez 2 h, albo w piecu mikrofalowym o mocy 1000 W przez 240 s.

4. Wyniki badań

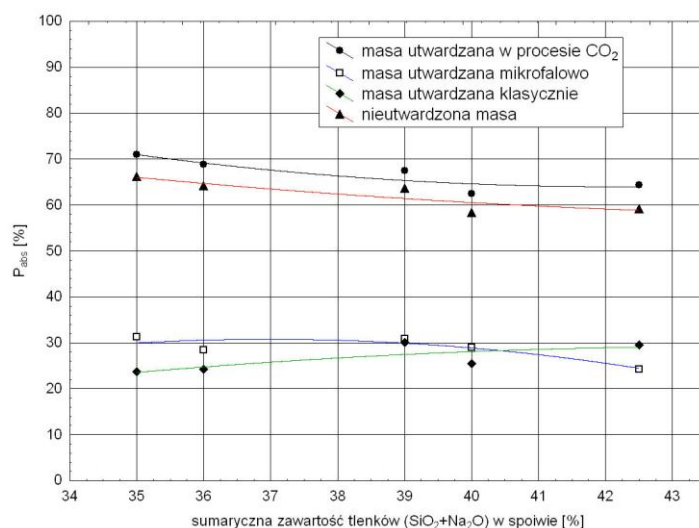
Wyniki badań strat sygnału związanych z odbiciem od substratu (RL) oraz z jego rozproszeniem w linii transmisyjnej (IL) wyrażone w jednostkach tłumienności [dB] przeliczono, stosując wzory 1 – 3, na wielkość poszczególnych składowych mocy wejściowej: mocy absorbowanej (P_{abs}), odbijanej (P_{odb}) i mocy wyjściowej (P_{wyj}), przechodzących przez masę:

$$P_{abs} = (1 - (10^{\frac{IL}{10}}) + 10^{\frac{RL}{10}}) * 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

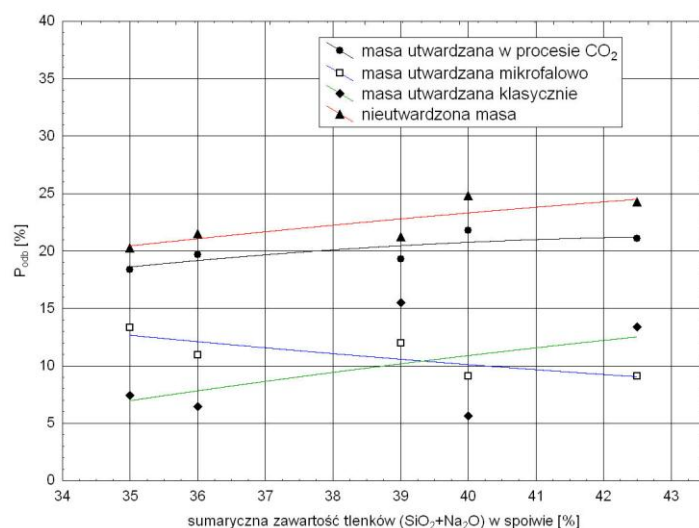
$$P_{odb} = (10^{\frac{RL}{10}}) * 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

$$P_{wyj} = (10^{\frac{IL}{10}}) * 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

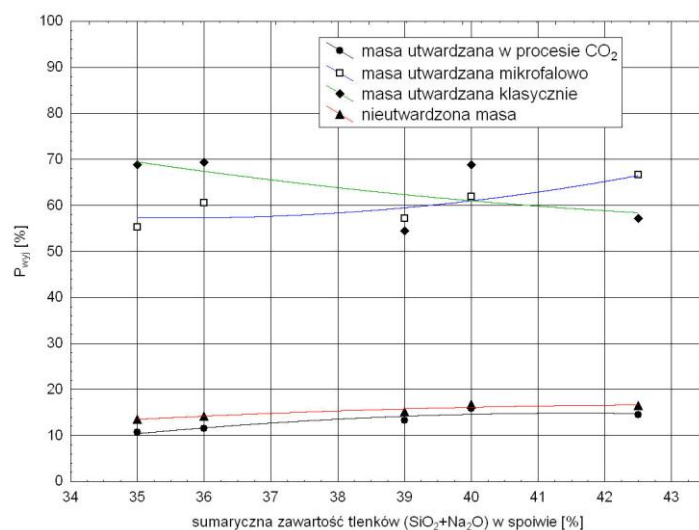
Wyniki tych badań porównywano z otrzymanymi dla mas nie poddanych procesom utwardzania (rys. 3 – 5). Punkty pomiarowe połączono krzywą wielomianową dla uwidocznienia przebiegu zaobserwowanych zmian oraz przeprowadzenia analizy skuteczności procesów utwardzania w zależności od gatunku zastosowanego spoiwa. Na zamieszczonych wykresach stosowane gatunki szkła wodnego ułożono według rosnącej ilości suchej substancji SiO₂ i Na₂O, co odpowiada w kolejności gatunkom: 137, 140, 145, 150 i 149 (tab. 1).



Rys. 3. Wykres mocy P_{abs} dla masy złożonej z piasku z kopalni Nowogród Bobrzański i pięciu gatunków szkła wodnego, utwardzanej trzema wybranymi metodami



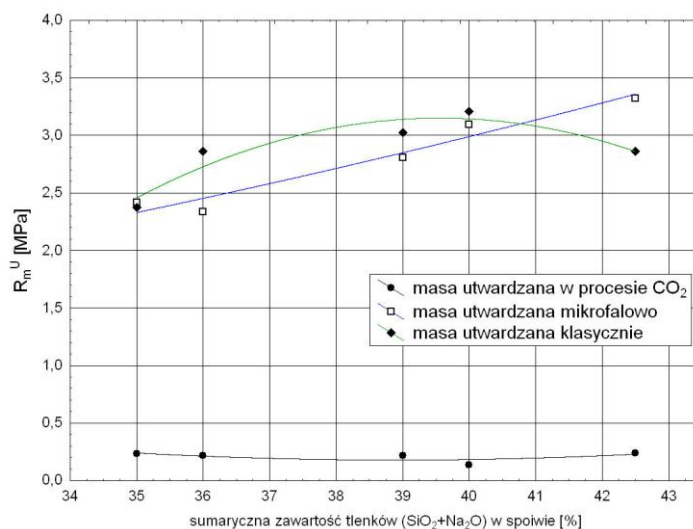
Rys. 4. Wykres mocy P_{odb} dla masy złożonej z piasku z kopalni Nowogród Bobrzański i pięciu gatunków szkła wodnego, utwardzanej trzema wybranymi metodami



Rys. 5. Wykres mocy P_{wyj} dla masy złożonej z piasku z kopalni Nowogród Bobrzański i pięciu gatunków szkła wodnego, utwardzanej trzema wybranymi metodami

W celu porównania ostatecznych efektów wybranych metod utwardzania na rysunku 6 zaprezentowano wyniki badań własnych parametru wytrzymałościowego R_m^U mas formierskich

o zawartości 5,0% poszczególnych, użytych do ich sporządzenia gatunków szkła wodnych sodowych, zamieszczonych w tabeli 1. Punkty pomiarowe stanowią wartość średnią z trzech oznaczeń.



Rys. 6. Wpływ zawartości tlenków w spoiwie na wytrzymałość na rozciąganie mas formierskich ze szkłem wodnym utwardzanych wybranymi metodami

5. Wnioski końcowe

Analizując wyniki badań przeprowadzonych na mobilnym stanowisku mikrofalowej linii szczelinowej służącego do oceny, na podstawie końcowej zawartości wody, efektu finalnego procesu utwardzania mas formierskich i rdzeniowych ze szkłem wodnym można stwierdzić, że:

- pomiary parametrów odbicia RL i rozproszenia IL sygnału mikrofalowego umożliwiają określenie, na podstawie udziałów składowych mocy wejściowej, tj.: mocy absorbowanej (P_{abs}), odbijanej (P_{odb}) i wyjściowej (P_{wyj}), skuteczności procesu utwardzania, określanej na podstawie końcowej zawartości wody w masie, odniesionej do jej ilości w nieutwardzonej masie;
- widoczne na rysunkach 3 - 5 różnice w pochłanianiu, odbijaniu i przechodzeniu mikrofal są zgodne z opisaną w literaturze [12 - 14] skutecznością stosowanych w badaniach metod utwardzania określaną wartością parametrów wytrzymałościowych, co przedstawiono także na rysunku 6;
- metody fizyczne polegające na dehydratacji spoiw nieorganicznych takich jak np. szkło wodne (metoda klasyczna i nagrzewanie mikrofalowe) umożliwiają uzyskanie dobrych połączeń ziaren osnowy kwarcowej (rys. 6) w wyniku usunięcia największej ilości zawartej w masie wody, czego potwierdzeniem jest rysunek 5, na którym widoczne udziały mocy P_{wyj} , wynoszące od 55% do 70% świadczą o bardzo małej zawartości składników masy mogących absorbować przechodzące przez masę mikrofałe, głównie wody;
- po porównaniu wyników otrzymanych dla masy nieutwardzonej i utwardzanej w chemicznym procesie CO₂, przy zadanych parametrach przepływu dwutlenku węgla, widać, że proces ten nie wpływa istotnie na zmniejszenie ilości pozostającej w masie wody. Ponadto z analizy

rysunków 3 i 5 wynika, że na skutek reakcji chemicznych towarzyszących przechodzeniu zolu uwodnionego krzemianu sodu w żel, uwalniana w tym czasie woda, na skutek ochładzania masy gazem, jest wręcz w niej gromadzona;

- woda występująca w masie, po procesie utwardzania chemicznego, dobrze absorbuje mikrofałe i może być to przyczynkiem do wprowadzenia w praktyce dodatkowych procesów dosuszania w celu zminimalizowania negatywnego jej wpływu na jakość mas formierskich i rdzeniowych oraz wytwarzanych z ich pomocą odlewów;
- przedstawione w pracy mobilne stanowisko badawcze – mikrofalowa linia szczelinowa – może posłużyć do prowadzenia dokładnych badań nad kinetyką i efektywnością utwardzania mas za pomocą różnych metod oraz do oceny efektów końcowych tych procesów, określanych np.: ostateczną zawartością wody w masie.

Podziękowania

Praca powstała w ramach projektu badawczego promotorskiego Nr N N N508 584439 finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Lewandowski J. L. (1997). *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków: Akapit
- [2] Czarzyński, W. (2003). *Podstawy techniki mikrofalowej*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [3] Galwas, B. (1985). *Miernictwo mikrofalowe*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.

- [4] Granat K., Nowak D., Pigiel M., Stachowicz M. & Wikiera R. (2008). Measurement of standing wave ratio for evaluation of microwave absorption efficiency by molding materials. *Archives of Foundry Engineering*. 8(spec. iss. 3), 31-34
- [5] Litwin R. & Suski M. (1972). *Technika mikrofalowa*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo – Techniczne
- [6] Thomas, H. E. (1978). *Techniki i urządzenia mikrofalowe Poradnik*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo – Techniczne.
- [7] Kowalski J. S., Rajewska K. & Rybicki A. (2005). *Fizyczne podstawy suszenia mikrofalowego*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej
- [8] Strumiłło C. (1975). *Podstawy teorii i techniki suszenia*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo Techniczne
- [9] Granat K., Pękalski G., Nowak D. & Stachowicz M. (2009). Wyznaczanie współczynnika odbicia energii mikrofalowej materiałów formierskich. *Sborník Vědeckých Prací Vysoké Školy Banské - Technické Univerzity Ostrava. Řada Hutnická*. 52(2), 63-68
- [10] Nowak D., Granat K., Stachowicz M. & Jaworski G. (2010). Research on possibility of microwave measurements application for determination of adhesive ingredient content in moulding sand. *Archives of Foundry Engineering*. 10(3), 129-132
- [11] Nowak D., Stachowicz M. & Pigiel M. (2010). Evaluation of electromagnetic absorbing capacity of materials in foundry industry. *Archives of Foundry Engineering*. 10(spec. iss. 1), 237-242
- [12] Granat K., Nowak D., Pigiel M. & Stachowicz M. (2009). Porównanie skuteczności utwardzania mas formierskich ze szkłem wodnym w procesach nagrzewania mikrofalowego i procesu CO₂. *Sborník Vědeckých Prací Vysoké Školy Banské - Technické Univerzity Ostrava. Řada Hutnická*. 52(2), 69-74
- [13] Stachowicz M., Granat K. & Nowak D. (2010). Studies on the possibility of more effective use of water glass thanks to application of selected methods of hardening. *Archives of Foundry Engineering*. 10(2), 135-140
- [14] Granat K., Nowak D., Pigiel M., Stachowicz M. & Wikiera R. (2007). The influence of microwave curing time and water glass kind on the properties of molding sands. *Archives of Foundry Engineering*. 7(4), 79-82