

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Materiały lotnicze o zaawansowanej strukturze (monokryształ, krystalizacja kierunkowa)

Aeronautical materials of advanced structure (monocrystal, directional crystallization)

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Uniwersytet Rzeszowski

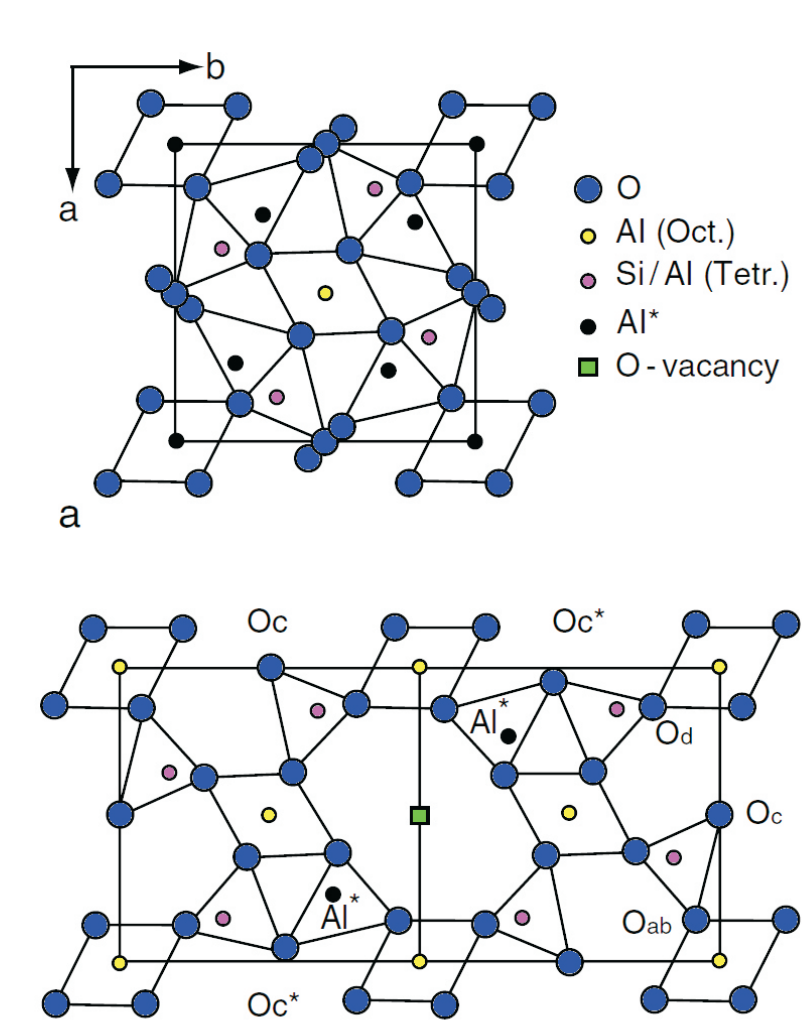
Wyniki badań Results

Materiał do badań

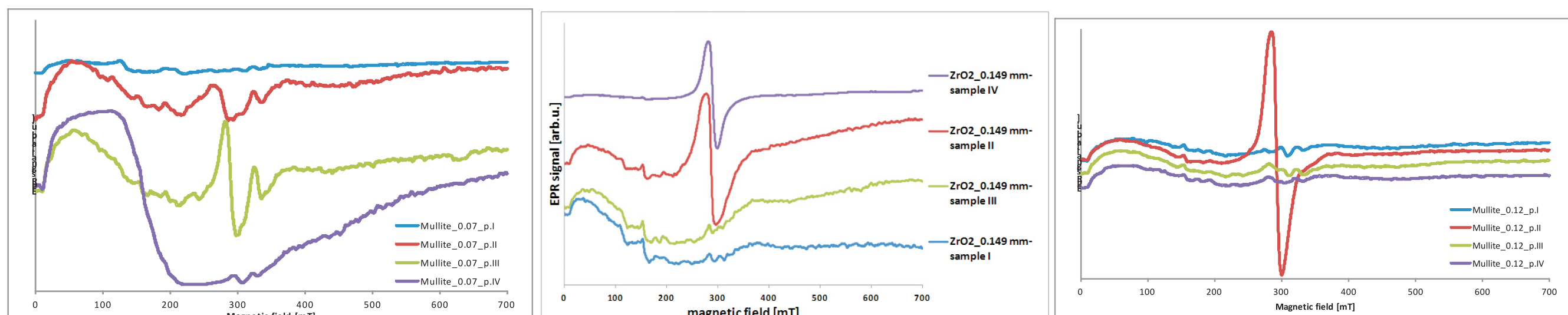
Metodą EPR badano proszki stosowane na rdzenie i formy ceramiczne takie jak: Al₂O₃, Imerys i mullit o różnej wielkości ziaren oraz pochodzące z różnych partii i od różnych dostawców w paśmie X oraz Q. Z każdej partii wybrano po 4 próbki o masie 0,02g do pomiarów w paśmie X oraz około 0,001 g dla pasma Q. Badano także rdzenie ceramiczne otrzymane metodą wtrysku wysokociśnieniowego. Do pomiarów zastosowano pasmo Q które ze względu na większe rozszerzenie poziomów i związane z tym większy kwant energii (ν ~ 34 GHz) w efekcie umożliwia zwiększenie rozdzielczości widma EPR.

Material for investigations

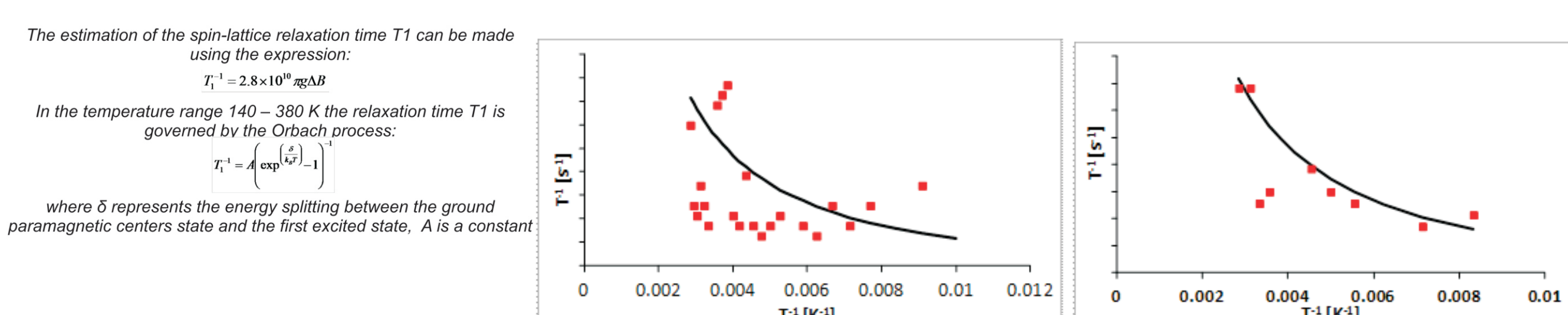
Powders used to the cores and ceramics form such as Al₂O₃, Imerys and mullite grains of different sizes and from various parties and from various suppliers was studied by EPR method in the X and Q band. With each batch of samples after 4 were selected weighing 0.02 g for measuring in the X-band and about 0,001 g for a Q-band. Ceramic cores obtained by the high-pressure injection was also studied. For the measurement Q band is used due to higher levels of splitting, and the consequent higher energy quantum (ν ~ 34 GHz) as a result allows to increase the resolution of EPR spectra.



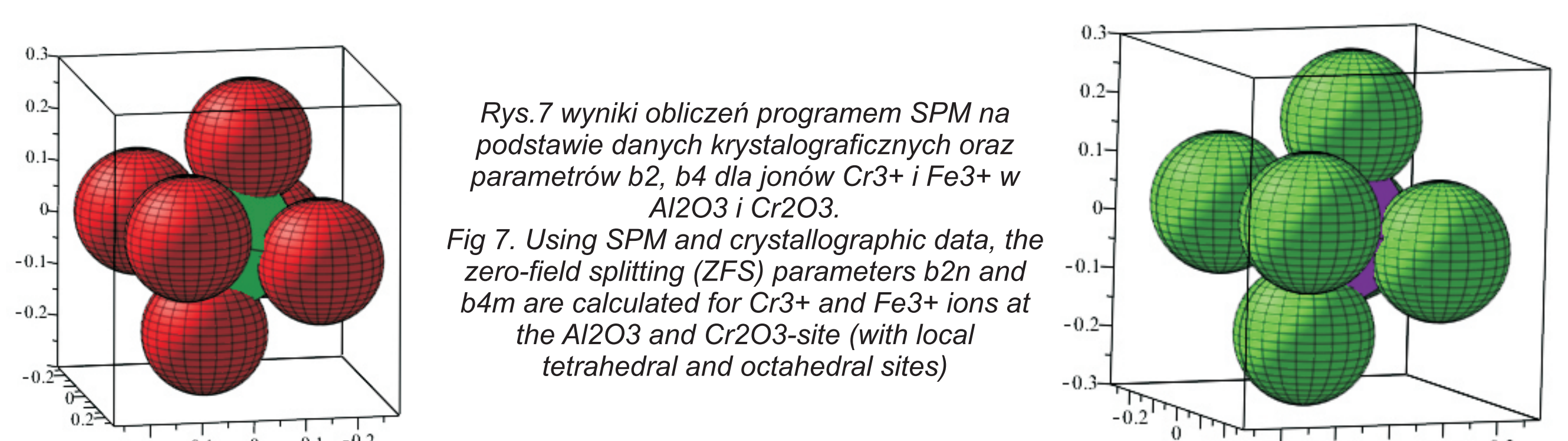
Rys. 1. Mullit (a) komórka elementarna (b) struktura lokalnego otoczenia i wankse tlenowe



Rys. 2. Widma EPR w paśmie X dla mullitu (0,074mm) z różnych partii. Rys. 3. Widma EPR w paśmie X dla mullitu (0,074mm) z różnych partii. Rys. 4. Widma EPR dla mullitu (0,12mm) z różnych partii. Rys. 5. Widma EPR w paśmie X dla mullitu (0,12mm) z różnych partii.



Rys. 6. Zależności temperaturowe czasu relaksacji dla mullitu. Punkty-dane doświadczalne, linia teoretyczna.

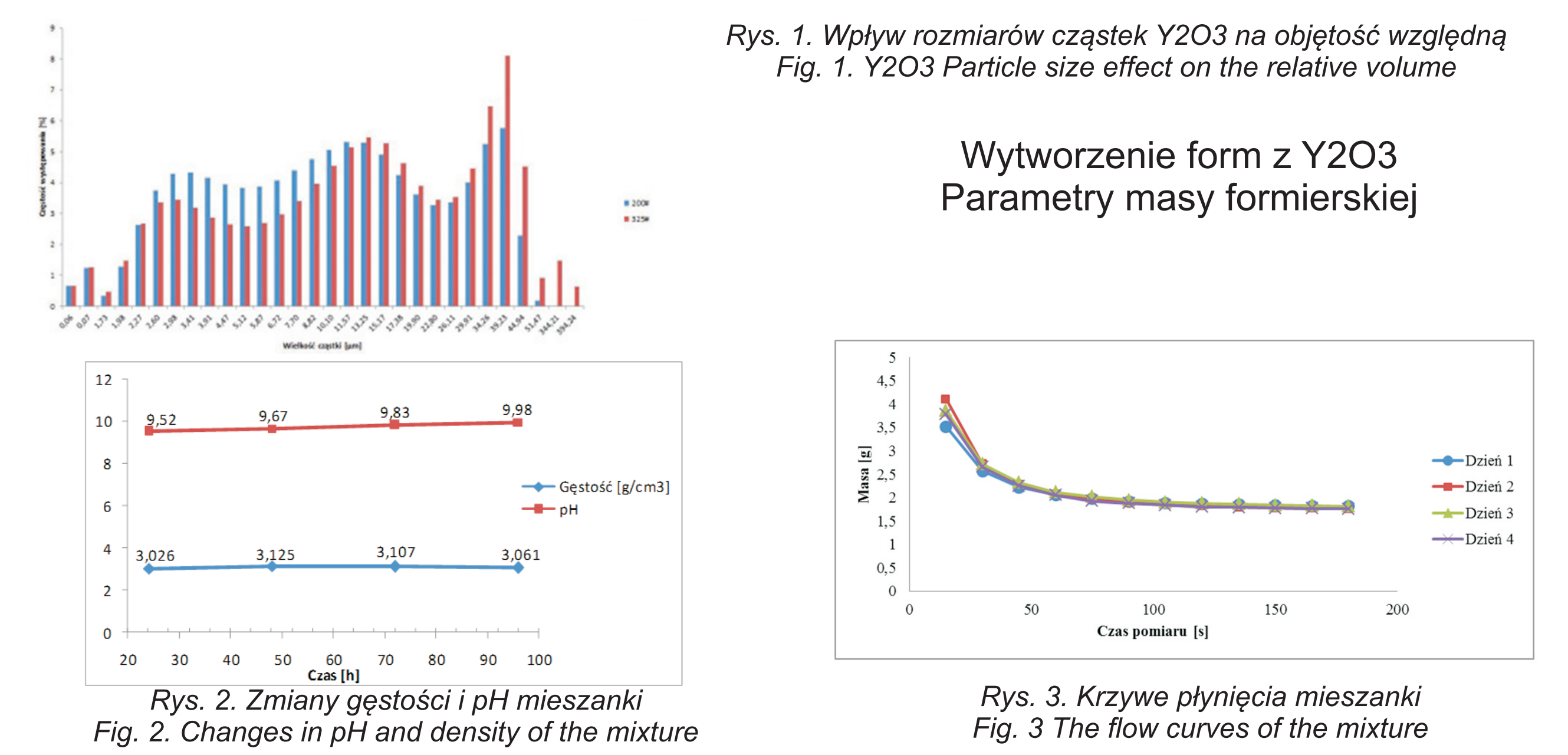


Rys. 7. Wyniki obliczeń programem SPM na podstawie danych krystalograficznych oraz parametrów b2, b4 dla jonów Cr³⁺ i Fe³⁺ w Al₂O₃ i Cr₂O₃.
Fig. 7. Using SPM and crystallographic data, the zero-field splitting (ZFS) parameters b₂ and b₄ are calculated for Cr³⁺ and Fe³⁺ ions at the Al₂O₃ and Cr₂O₃-site (with local tetrahedral and octahedral sites).

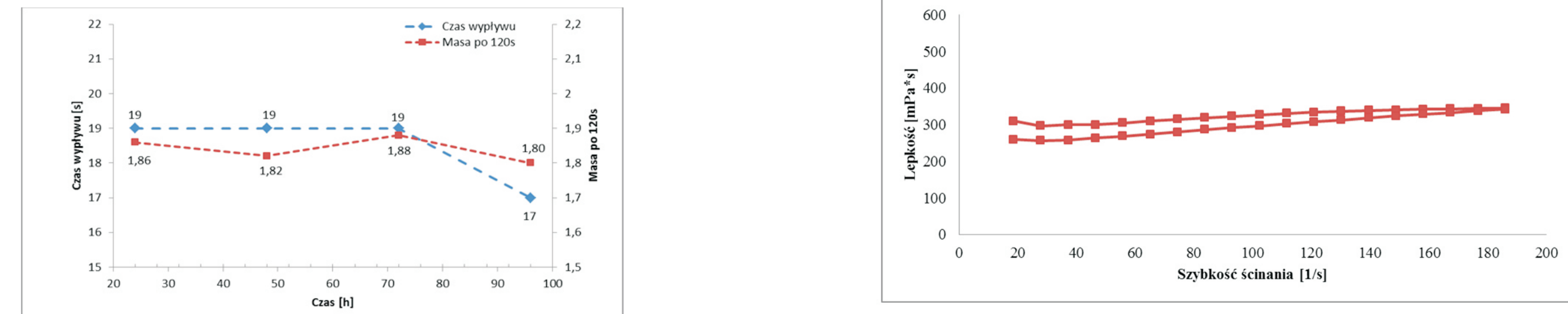
Wyniki badań Results

Mieszanki formierskie z Y₂O₃ ze spoiwem zawierającym koloidalny tlenek glinu na warstwie przymodelową form odlewniczych

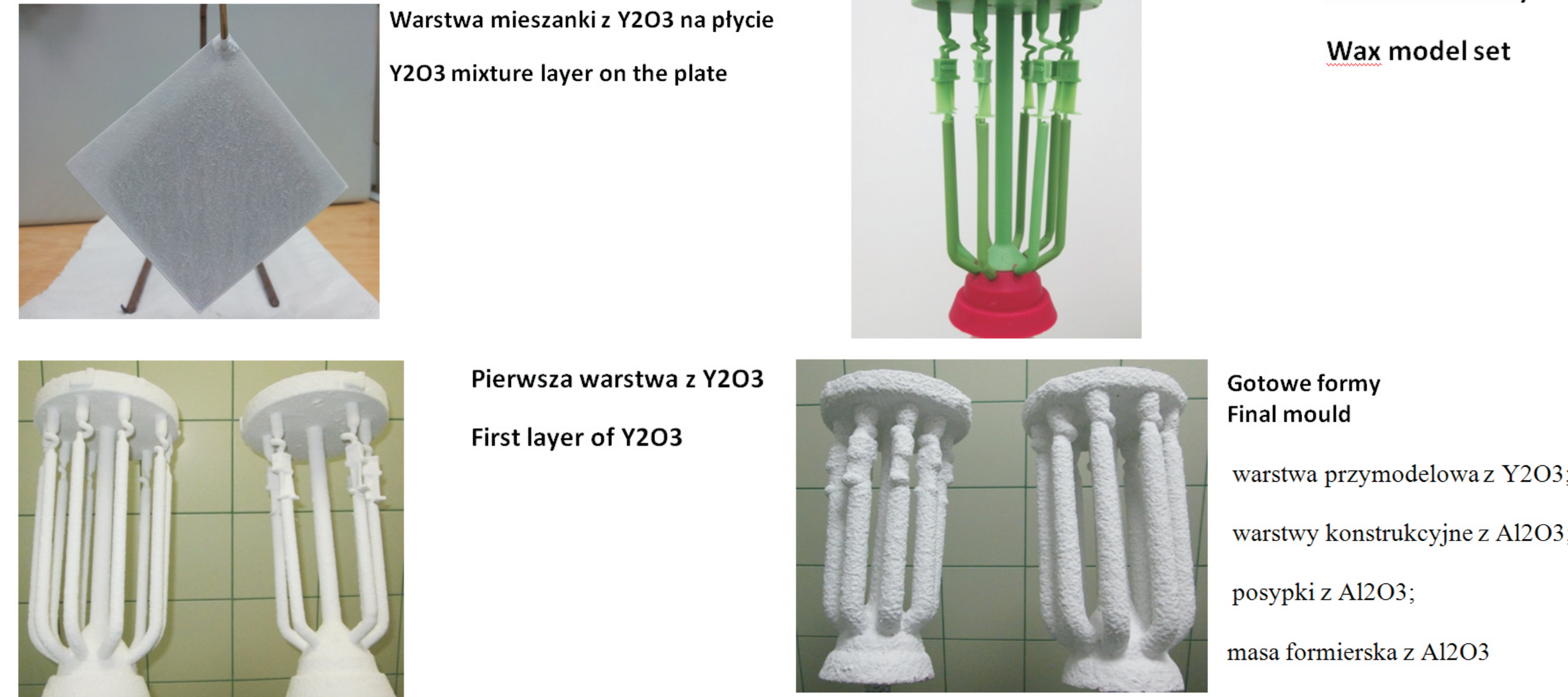
Kontynuacja prac nad otrzymaniem i badaniem mieszanek formierskich z Y₂O₃ 200 – 325: - zawartość spoiwa PVAL 26-88: 6, 10, 15 % wag.; - udział proszków 200#: 325# = 1:1.



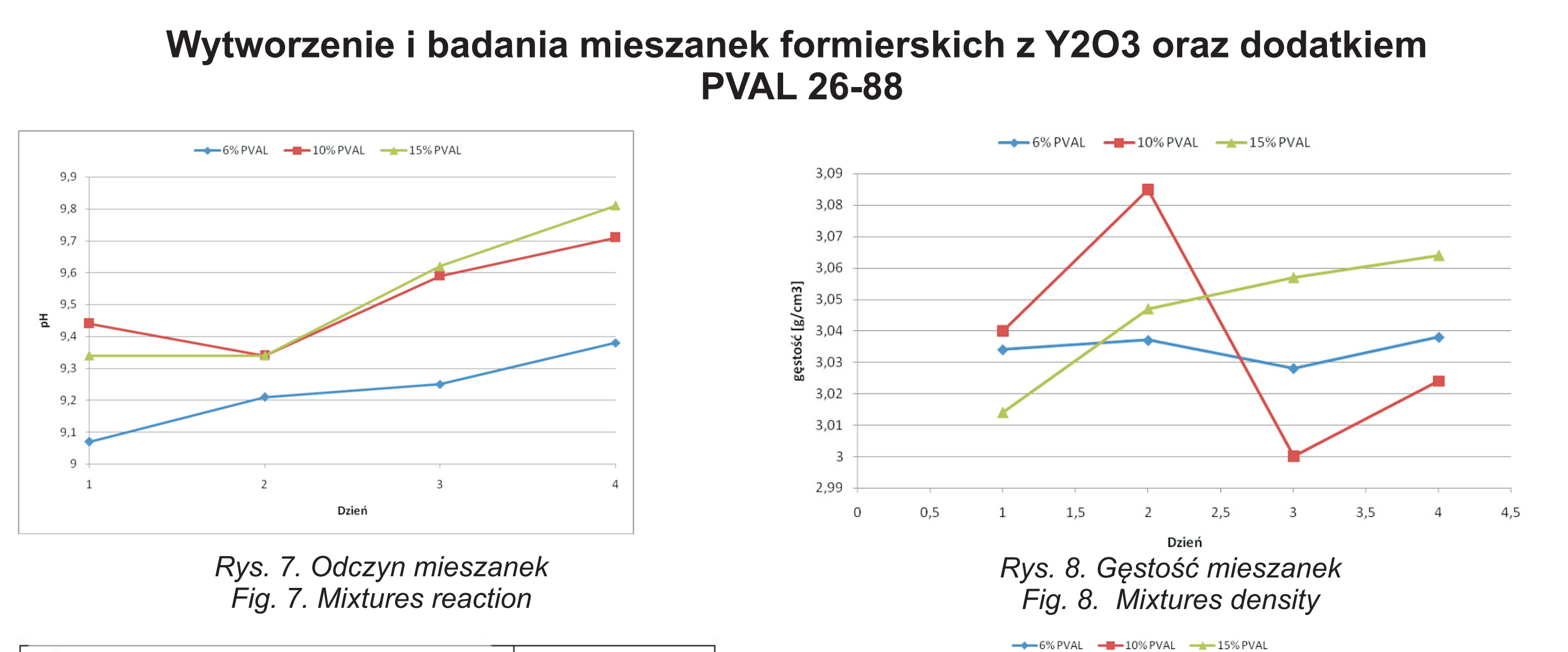
Rys. 1. Wpływ rozmiarów cząstek Y₂O₃ na objętość względną. Rys. 2. Zmiany gęstości i pH mieszanek. Rys. 3. Krzywe płynięcia mieszanek.



Rys. 4. Zmiany lepkości względnej mieszanek oraz masa płyty po 120 s. Rys. 5. Zmiana lepkości dynamicznej mieszanek.



Rys. 6. Proces wytwarzania form ceramicznych. Rys. 7. Odczyn mieszanek formierskich z Y₂O₃ oraz dodatkiem PVAL 26-88.



Rys. 8. Gęstość mieszanek. Rys. 9. Test płyty. Rys. 10. Lepkość względną. Rys. 11. Lepkość dynamiczną mieszanek.

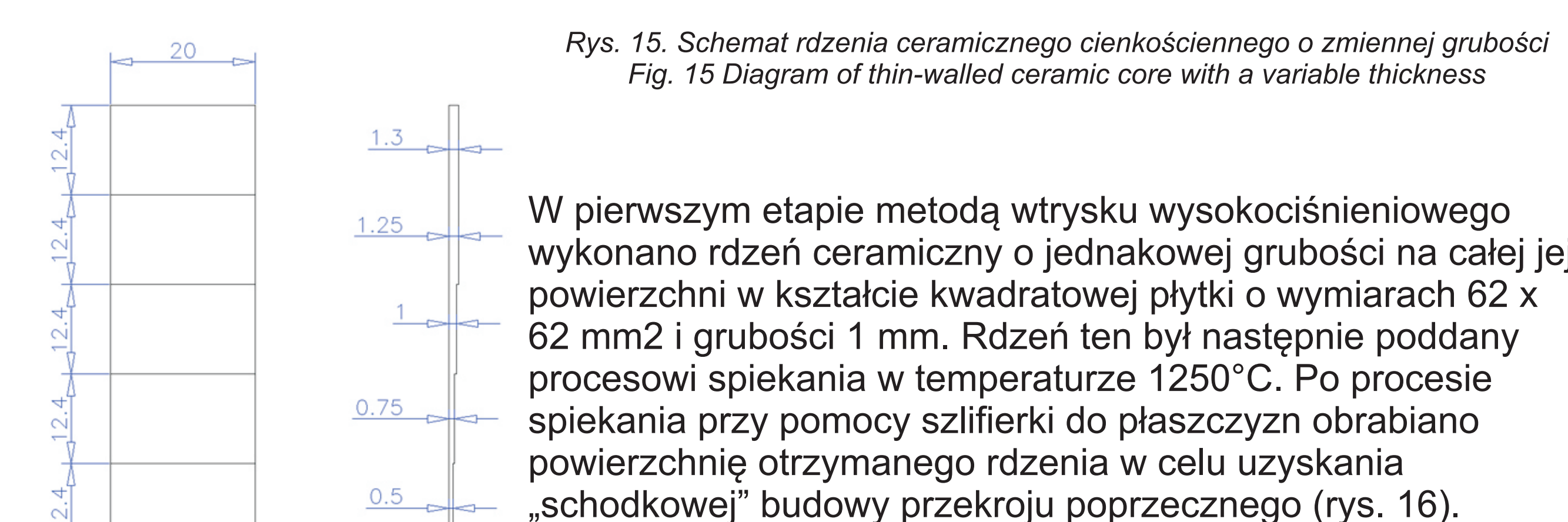
Wnioski Conclusions

- pH mieszanek jest większy niż odczyn spoiwa Evonik i leży w obszarze zasadowym
- Odczyn zawiesin wzrasta w trakcie 4-dniowego cyklu pomiarowego
- Gęstość mieszanek jest stabilna w cyklu pomiarowym (3,0-3,09 g/cm³)
- Najbardziej stabilna jest masa formierska zawierająca 6% wag. PVAL 26-88.
- Ciężar płyty pokrytej masą zawierającą 6% wag. PVAL 26-88 po 120 s mieszanek jest stabilny w czasie trwania testu
- 10 i 15% wag. dodatek PVAL jest zbyt duży i wpływa na zwiększenie ciężaru płyty – parametry i wyniki są nieakceptowalne w odlewnictwie precyzyjnym.
- Największa stabilność: masa formierska zawierająca 6% wag. PVAL.
- Najmniejsza lepkość: masa formierska zawierająca 6% wag. PVAL.
- Największa lepkość: masa formierska zawierająca 15%.
- Zwiększenie udziału PVAL wpływa na zwiększenie lepkości względnej mieszanek.
- Ze względu na zbyt wysoką lepkość, mieszanek z udziałem 10 i 15% wag. PVAL są nieakceptowalne w odlewnictwie.
- The pH of the mixtures is greater than Evonik binder and is alkaline,
- The pH of the slurry increases during the 4-day test cycle.
- Density of the mixture is stable in the test cycle (3.0-3.09 g/cm³).
- The most stable is the moulding mass containing 6 wt.% PVA 26-88.
- Weight of the plate covered with the moulding mass containing 6 wt.% PVA 26-88 after 120 s is stable for the duration of the test
- 10 and 15 wt.% addition of PVA is too large and increases the weight of the plate - the parameters and the results are unacceptable in the investment casting.
- Highest stability: moulding mass containing 6 wt.% PVA.
- Minimum of viscosity: moulding mass containing 6 wt.% PVA.
- The largest viscosity: moulding mass containing 15 wt.% PVA.
- Increasing the share of PVA increases the relative viscosity of the mixture.
- Due to the very high viscosity, mixtures containing 10 and 15wt%. PVA are unacceptable in the investment casting.

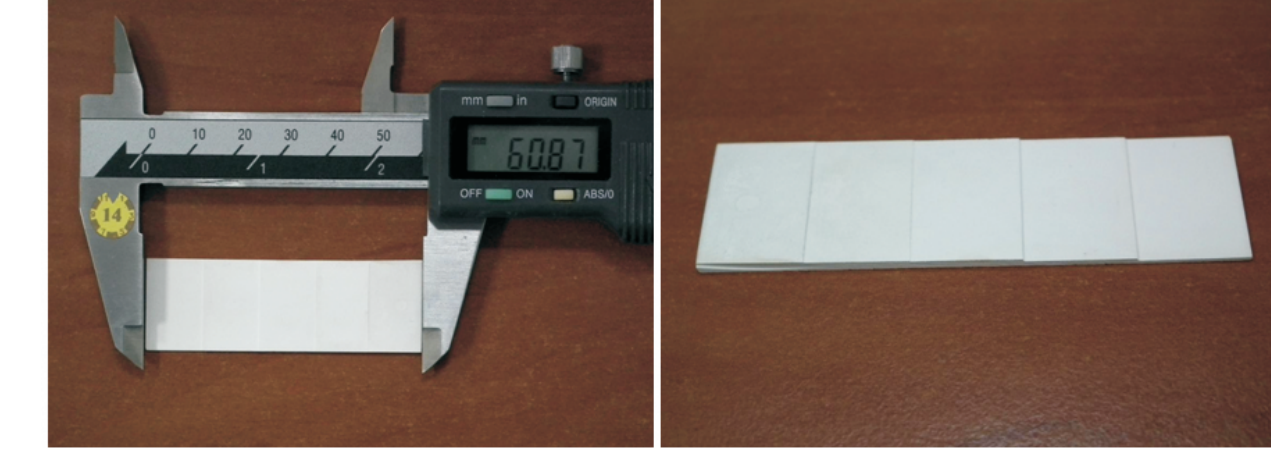
Wyniki badań Results

Wytwarzanie cienkich, warstw ceramicznych na powierzchni cienkościennych rdzeni ceramicznych o zmiennej grubości przy użyciu metod cienkowarstwowych.

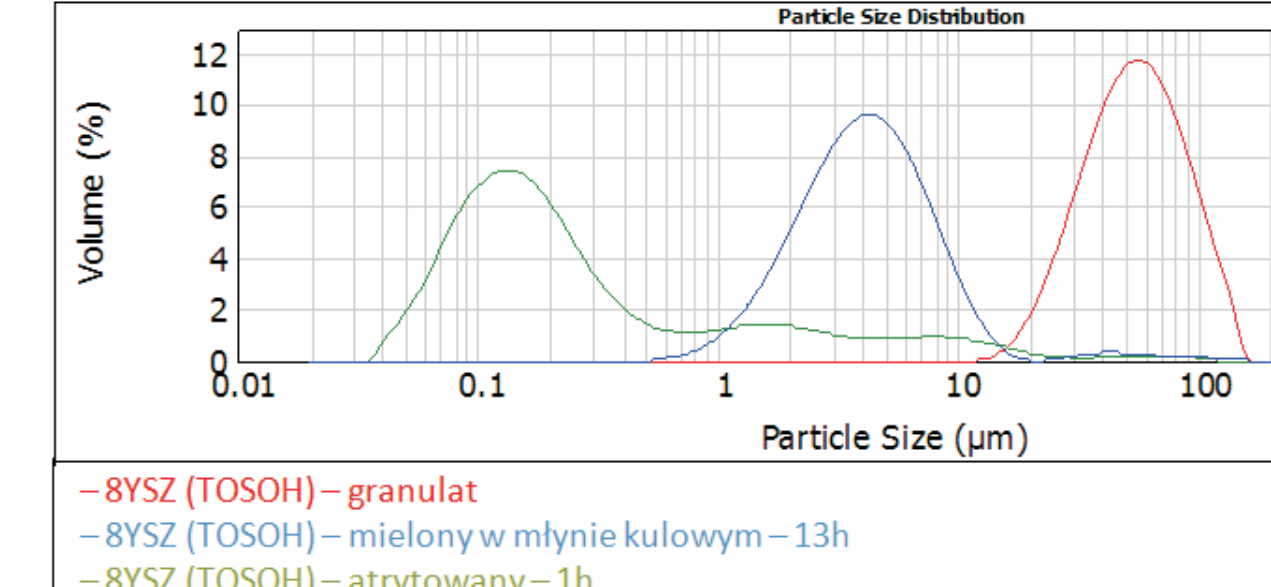
Przeprowadzono próby nanoszenia i optymalizacji cienkich warstw stabilizowanego dwutlenku cyrkonu na powierzchniach cienkościennych rdzeni o zmiennej grubości (rys. 15) mających na celu poprawić gładkość uzyskanych rdzeni. Do wykonania tych prób zastosowano metodę sitodruku, impregnacji pastą, Ink Jet Printing oraz metodę Dip Coating. Zastosowano dwutlenek cyrkonu stabilizowany tlenkiem iru oraz dwutlenek cyrkonu z dodatkiem proszku wspomagającego spiekanie wytworzonej warstwy.



Rys. 15. Schemat rdzenia ceramicznego cienkościennego o zmiennej grubości.

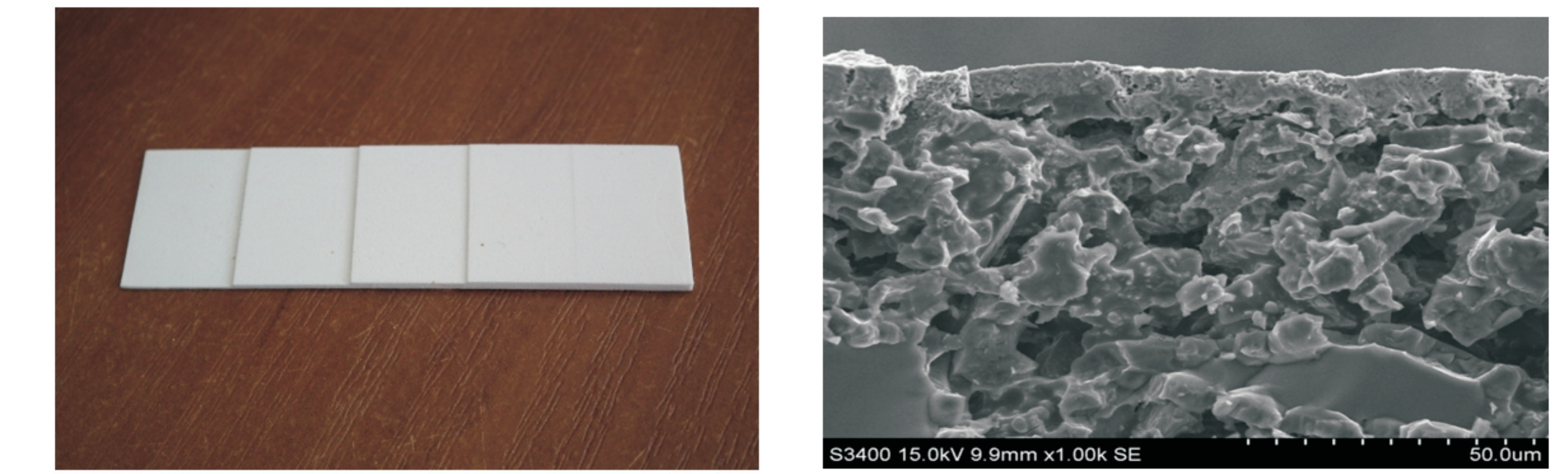


Rys. 16. Rdzeń wypalony w temperaturze 1250°C po przeprowadzeniu powierzchniowej obróbki mechanicznej z zaznaczonymi grubościami w poszczególnych miejscach.



Rys. 17. Rozkład wielkości ziarn proszku 8YSZ w formie granulatu, mielonego w młynie kulowym i mielonego atrycyjnie.

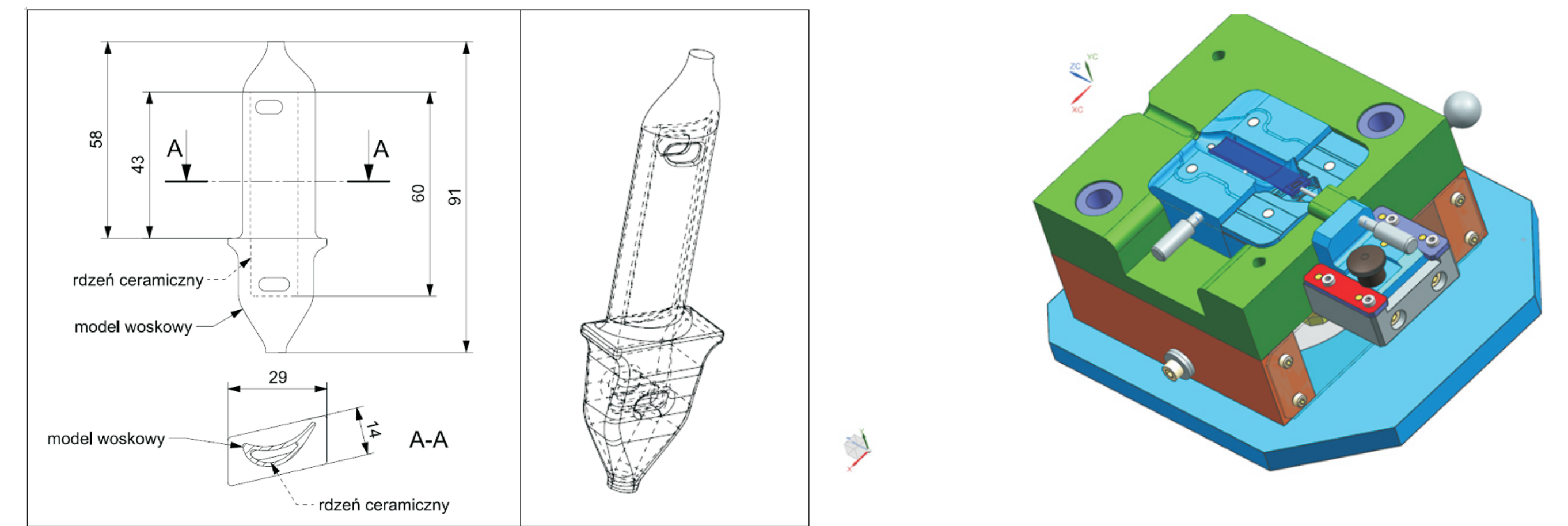
Metoda	Chropowatość powierzchni, [µm]	Strzałka ugięcia [mm]
Bez warstwy	2,79	0,0
Sitodruk	1,21	0,3
Impregnacja pastą	1,72	0,5
Ink Jet Printing	W trakcie realizacji	W trakcie realizacji
Dip coating	W trakcie realizacji	W trakcie realizacji



Rys. 18. Rdzeń z naniesioną sitodrukiem warstwą 8YSZ wypalony w temperaturze 1350°C. Rys. 19. Powierzchnia przekroju rdzenia z naniesioną sitodrukiem warstwą 8YSZ wypalony w temperaturze 1350°C.

Opracowanie geometrii rdzenia ceramicznego i łopatki monokryształycznej ze stopu CMSX-4 turbiny silnika lotniczego. Wykonanie dokumentacji konstrukcyjnej formy rdzenia ceramicznego i formy woskowej modelu łopatki.

Wykonano dokumentację konstrukcyjną rdzeniowanej łopatki turbiny (rys. 20) rdzennicy oraz matrycy łopatki (rys. 21).



Rys. 20. Łopatka rdzeniowana. Rys. 21. Matryca łopatki z rdzeniem.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

- współpraca z Wydziałem Odlewni Precyzyjnej W-50 WSK „PZL-Rzeszów” S. A. w zakresie wytwarzania elementów konstrukcyjnych turbin silników lotniczych.
- współpraca z Instytutem Energetyki CEREL -Boguchwała w zakresie wytwarzania rdzeni ceramicznych

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

- Referaty**
- I. Stefanik, I. Rogalska, *Application of the EPR method for the study of the impurities in the powders used in ceramic cores and forms in the aerospace industry*, The MacroJournals Conference on Medicine, Science, and Technology - Monte Carlo, March 9-10 Monaco 2014
 - M. Małek, P. Wiśniewski, H. Matysiak, K. J. Kurzydłowski, *Effect of polyvinyl alcohol addition on rheological properties of ceramic slurries based on yttria*, EMRS Spring Meeting 26-30.05.2014, Lille (France)
 - M. Małek, P. Wiśniewski, H. Matysiak, R. Sitek, K. J. Kurzydłowski, *Wpływ dodatku glikolu poli(etylenowego) na właściwości mas lejących do wytwarzania form ceramicznych na podstawie SIC do zastosowania w odlewnictwie precyzyjnym części turbin lotniczych*, III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Materiałów Polimerowych, 01-08.02.2014 Gilwice-Aprica (Włochy).
 - Małek, P. Wiśniewski, H. Matysiak, M. Zagórska, K. J. Kurzydłowski, *Technological properties of SIC-based ceramic slurries for manufacturing investment casting shell moulds*, XX Międzynarodowa Konferencja Odlewników Polskich, Czeskich i Słowackich – WSPÓLPRACA 2014, 24-26.04.2014 Izbička
- Publikacje**
- I. Stefanik, I. Rogalska, *Application of the EPR method for the study of the impurities in the powders used in ceramic cores and forms in the aerospace industry*, The Journal of MacroTrends in Technology and Innovation Vol 2 Issue 1 2014 p.8-16.
 - M. Małek, P. Wiśniewski, H. Matysiak, R. Sitek, K. J. Kurzydłowski, *Wpływ dodatku glikolu poli(etylenowego) na właściwości mas lejących do wytwarzania form ceramicznych na podstawie SIC do zastosowania w odlewnictwie precyzyjnym części turbin lotniczych*, Przelwórstwo Tworzyw 1 (157)/20, styczeń- luty 2014, pp. 40-49.
 - M. Małek, P. Wiśniewski, H. Matysiak, M. Zagórska, K. J. Kurzydłowski, *Technological properties of SIC-based ceramic slurries for manufacturing investment casting shell moulds*, Archives of Metallurgy and Materials (IF=0,581) – w druku.
 - P. Wiśniewski, M. Małek, R. Sitek, H. Matysiak, K. J. Kurzydłowski, *Technologiczne właściwości mas formierskich z SIC z przeznaczaniem dla ceramicznych form odlewniczych dla przemysłu lotniczego*, Szkło i Ceramika 3/2014 - w druku.

- Prace mgr, dr, hab. Prace inżynierskie:**
- Anna Rusinek, *Pomiary widma epr w paśmie x dla rdzeni ceramicznych otrzymanych metodą wtrysku wysokociśnieniowego* Promotor: dr Ireneusz Stefanik, obrona -01.2014
 - Marek Witalec- *Analiza XRD składu rdzeni ceramicznych i proszków stosowanych w przemyśle lotniczym* Promotor: dr Ireneusz Stefanik, obrona -01.2014
 - Justyna Czuba: *Wpływ prędkości wyciągania odlewów monokryształowych z nadstopu niklu na gradient temperatury oraz prędkość krystalizacji i chłodzenia*. Promotor: dr hab. inż. K. Kubiak - obrona - styczeń 2014
 - Artur Ząbek: *Wpływ prędkości wyciągania odlewów monokryształowych z nadstopu niklu na ich mikrostrukturę komórkowo-dendrytyczną*. Promotor: dr hab. inż. K. Kubiak - obrona - styczeń 2014
- Zgłoszenia patentowe**
- M. Małek, P. Wiśniewski, H. Matysiak, K. J. Kurzydłowski, *„Lejna mieszanina formierska do produkcji warstw przymodelowych ceramicznych form odlewniczych na podstawie tlenku iru oraz spoiwa zawierającego nanocząstki tlenku glinu”*, P..407541