

Sara DUDZIŃSKA<sup>a)</sup>, Zenon TARTAKOWSKI<sup>b)</sup>

<sup>a)</sup>Instytut Technologii Mechanicznej, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

<sup>b)</sup>Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

e-mail: sara.dudzinska@zut.edu.pl

## Wpływ struktury geometrycznej powierzchni gniazda formy na właściwości i stan powierzchni wyprasek

**Streszczenie:** W procesach wytwarzania technologią przetwórstwa wtryskowego jakość uzyskanego wyrobu jest uzależniona w znacznym stopniu od wykonania gniazda formującego. W wyniku obróbki gniazda formy wtryskowej dochodzi do zmian struktury geometrycznej powierzchni (SGP) formującej wypraskę, a tym samym zmian SGP wytworzonej wypraski. Różny stan SGP gniazda formy może powodować uzyskanie różnego stanu SGP wypraski, a to w konsekwencji może powodować zmiany wytrzymałościowe wyrobu. Przeprowadzono badania struktury geometrycznej powierzchni gniazda formującego formy wielogniazdowej oraz uzyskanych wyprasek. Przy użyciu mikroskopii konfokalnej zbadano podstawowe parametry charakteryzujące SGP. Do badań użyto formy 10 gniazdowej z gniazdami odzwierciedlającymi kształt próbki do badań wytrzymałości przy statycznym rozciąganiu. Następnie dokonano wtrysku tworzywa do formy przy użyciu wtryskarki boy 15 stosując odpowiednie parametry. Dokonano badań wytrzymałości na rozciąganie. Uzyskane wyniki skorelowano z parametrami geometrii powierzchni ( badania z użyciem mikroskopu konfokalnego ). Na podstawie przeprowadzonych badań parametrów SGP gniazd formy wtryskowej, stwierdzono, że jakość powierzchni odzorowanej wypraski może mieć wpływ na jej właściwości mechaniczne.

**Słowa kluczowe:** mikroskopia konfokalna, metrologia topografii powierzchni, chropowatość tworzyw sztucznych, wytrzymałość na rozciąganie

### INFLUENCE OF THE SURFACE TEXTURE OF THE MOLD CAVITY ON THE PROPERTIES AND SURFACE QUALITY OF THE MOULDED PARTS

**Abstract:** In manufacturing processes of injection molding technology the quality of the product depends on the state of the mold cavity. As a result of the treatment the injection mold cavity, there is a change in the geometry of the surface topography (SG) of mold and thus the SG of the molded parts can be different. What is important different state of SG the mold cavity can cause various SG molded parts, and consequently may cause changes in the strength of the product. The research of the surface topography of the multi-sided mould and of the molded parts was conducted. Using confocal microscopy, the basic parameters characterizing SG were examined. Injection moulding of the plastic was made using the BOY 15 injection molding machine applying the appropriate parameters. Tensile strength tests have been performed. Results were correlated with surface topography parameters (using confocal microscopy). Based on the surface topography parameters of the injection moulded cavities, it was found that the quality of the surface of the moulded parts may have an influence on its mechanical properties.

**Keywords:** confocal microscopy, surface topography metrology, mold surface, tensile strength

## 1. WPROWADZENIE

Tworzywa sztuczne są grupą materiałową o szerokim zakresie właściwości, dzięki czemu możliwe jest ich zastosowanie w wielu dziedzinach życia, tj. przemysł maszynowy, budowlany,

medyczny, motoryzacyjny, a także opakowaniowy. We współczesnym projektowaniu elementów stawia się nacisk nie tylko na funkcjonalność wytwarzanych części, lecz także na ich design [1,2]. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych technik otrzymywania elementów z tworzyw

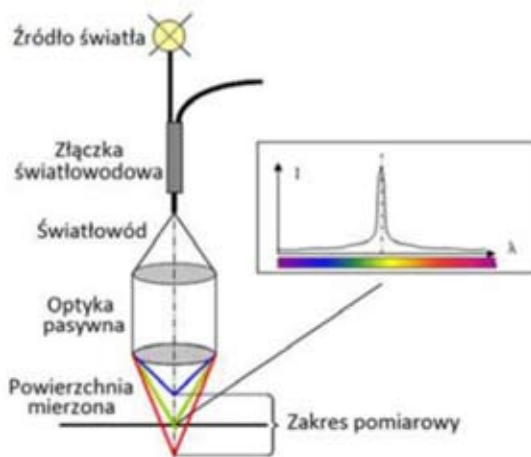
polimerowych jest przetwórstwo metodą wtryskiwania, w którym jakość uzyskanego detalu w znacznym stopniu jest uzależniona od dokładności wykonania gniazda formującego. Istnieje szereg technologii ubytkowych stosowanych w wytwarzaniu gniazd formujących. W większości są to procesy wieloetapowe gdzie w fazie początkowej dochodzi do nadania gniazdu kształtu przyszłego wyrobu zaś w dalszych procesach uzyskuje się odpowiednią jakość jej powierzchni [2,3]. W praktyce przemysłowej najczęściej stosuje się obróbkę wykańczającą ręczną. W wyniku tej obróbki dochodzi do zmiany geometrii powierzchni formującej wypraskę. Powoduje to uzyskanie różnych wysokości przyszłej wypraski. W konsekwencji możliwe są zmiany właściwości wytrzymałościowych wyrobu, bowiem struktura geometryczna powierzchni wyrobu (SGP) ma znaczący wpływ na eksploatację oraz zużycie części maszyn [4-6]. W przypadku elementów otrzymanych technologią wtrysku na powierzchnię detalu mają wpływ nie tylko zastosowane parametry wtrysku [7,8], lecz również stan powierzchni gniazda formującego [1]. Bardzo dokładna obróbka gniazda formy wtryskowej ma szczególne znaczenie w przypadku otrzymywania elementów przezroczystych (takich jak soczewki) lub elementów o bardzo refleksyjnej powierzchni we współczesnym designie [1, 2]. Ze względu na bardzo wysokie wymagania dotyczące jakości powierzchni w procesie kontroli muszą być wykorzystane specjalne narzędzia umożliwiające zarówno ocenę topografii powierzchni gniazda, jak i ocenę SGP wypraski

Celem badań było określenie struktury geometrycznej powierzchni gniazda formującego formy wielogniazdowej i przeanalizowano wpływ SGP gniazda formy wtryskowej na wytrzymałość przy statycznym rozciąganiu wypraski. Podstawowe wielkości określające geometrię powierzchni gniazda i wyprasek zbadano przy użyciu mikroskopii konfokalnej. Następnie dokonano badań wytrzymałościowych wytworzonych wyprasek przy określonych parametrach przetwórczych.

## 2. OPIS BADAŃ

Dzięki ocenie SGP w układzie 3D uzyskujemy pełniejszy opis powierzchni oraz jej cech. Poprzez wyznaczenie parametrów z różnych grup (funkcjonalne, przestrzenne, wysokościowe, objętościowe) możliwa jest nie tylko ocena powierzchni w momencie wytwarzania, ale także predykcja zachowania się części podczas eksploatacji [9,10]. Podczas przeprowadzonych badań zastosowano ocenę struktury geometrycznej powierzchni gniazd formy wtryskowej oraz wyprasek przy wykorzystaniu chromatycznej mikroskopii konfokalnej. W trakcie pomiaru dochodzi do skanowania badanej powierzchni wiązką światła punkt po punkcie. Specjalny układ soczewek w sensorze zapewnia uzyskanie zjawiska podłużnej aberracji chromatycznej, tzn. różnej długości ogniskowania soczewki dla fal o różnej długości. Po odbiciu fali świetlnej z powierzchni poprzez specjalne narzędzia, dochodzi do detekcji sygnału, jego wzmocnienia, a następnie analizy zmierzonej wysokości. Zastosowanie tego rodzaju pomiaru umożliwia nie tylko wyznaczenie parametrów SGP, ale także zobrazowanie powierzchni za pomocą map konturowych i obrazów izometrycznych [9, 11]. Na rysunku 1 przedstawiono zasadę działania głowicy wykorzystującej chromatyczny efekt konfokalny.

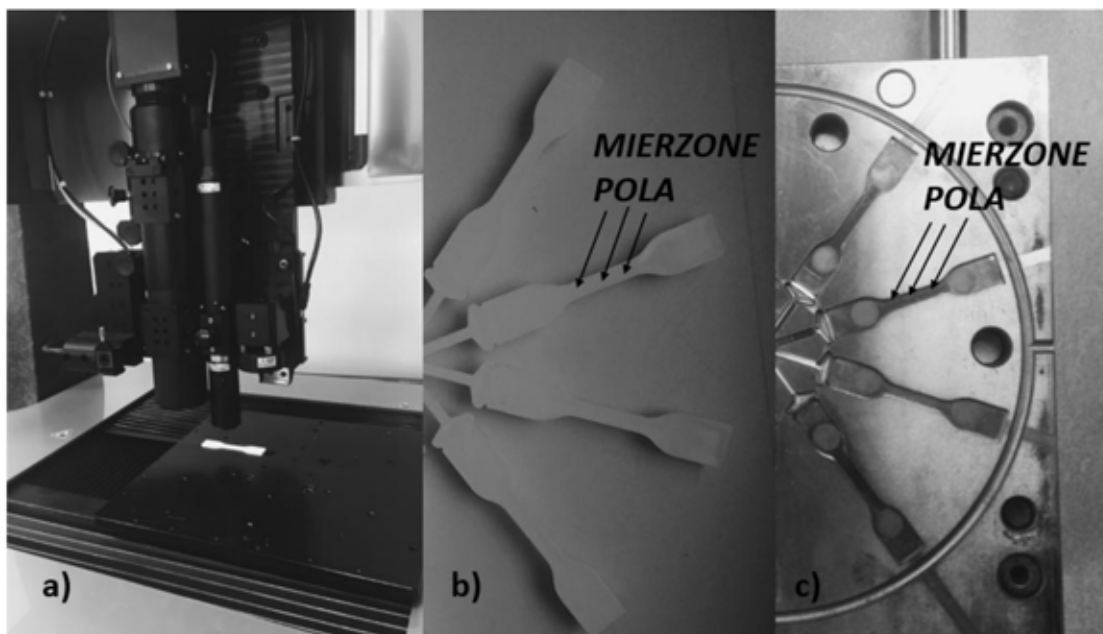
Badania Struktury Geometrycznej Powierzchni ( SGP ) zostały przeprowadzone w Laboratorium Topografii Powierzchni ZUT w Szczecinie. Pomiary wykonano przy użyciu multisensorycznej maszyny pomiarowej do badań topografii powierzchni AltiSurf A520, firmy Altimet, wykorzystując chromatyczny sensor konfokalny, CL1 o zakresie pracy do 130  $\mu\text{m}$  i rozdzielczości pionowej 8 nm. Pomiar przeprowadzono zgodnie z normą: Badania struktury geometrycznej powierzchni, metoda konfokalna zgodnie z ISO 25178-602:2010. Pomiary wykonano na wybranych polach o wymiarach 1x1mm. Następnie zebrane dane, w postaci chmury punktów, poddano analizie i opracowano (zgodnie z normą ISO 25178) z użyciem oprogramowania AltiMap PREMIUM 6.2.



Rys. 1. Zasada działania głowicy wykorzystującej chromatyczny efekt konfokalny [12]  
 Fig. 1. Principle of operation of the chromatic confocal head [12]

Dla każdej zarejestrowanej chmury punktów powierzchni stosowano dobraną na podstawie wcześniejszych badań metodykę analizy topografii powierzchni, obejmującą: skanowanie badanej powierzchni, wyodrębnienie określonych

powierzchni o polach równych  $0.8\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ , usunięcie kształtu metodą wielomianu 4 rzędu, usunięcie błędnie zebranych punktów powierzchni, a następnie wyznaczenie wartości wybranych stereometrycznych parametrów chropowatości



Rys. 2. Badania przy użyciu mikroskopii konfokalnej a) pomiar SGP wypraski z PP przy użyciu mikroskopii konfokalnej maszyną Altisurf A520, b) pola pomiarowe otrzymanych próbek z PP, c) pola pomiarowe na powierzchni gniazd formy wtryskowej

Fig. 2. Research using confocal microscopy, a) tested PP moulded part during measuring SG using confocal microscopy with the Altisurf A520, b) measurement area on the PP moulded part, c) measurement area on the mold cavity

Na rysunku 2 przedstawiono próbkę PP podczas badań (rys. 2a), oraz wskazano miejsca pomiaru na wyprasce (rys. 2b) i na gniazdach formy wtryskowej (rys. 2c). Pomiaru dokonywano na trzech polach na długości pomiarowej każdej wypraski i tych samych miejscach na powierzchniach każdego gniazda formy wtryskowej.

Po przeprowadzonych badaniach SGP formy i wyprasek przeprowadzono badania wytrzymałościowe wyprasek. Zrealizowano je przy użyciu maszyny wytrzymałościowej SUNPOC WDW-5D. Zastosowana prędkość rozciągania wynosiła 50 mm/min. Do badań użyto próbek o kształcie wiosełek ukazanych na rys. 2b.

### 3. MATERIAŁ BADAWCZY

Do badań wykorzystano polipropylen o nazwie handlowej Malen P J-601® (gęstość: 0,94 g/cm<sup>3</sup>). Wtrysku tworzywa do formy dziesięcigniazdowej o gniazdach w kształcie próbek do badań wytrzymałościowych dokonano przy użyciu wtryskarki BOY 15. Stosując następujące parametry procesu wtryskiwania: temperatura formy: 30 °C, temperatura wtrysku: 220, 220, 210, 200 °C, ciśnienie wtrysku: 75 MPa; 100 MPa, czas cyklu: 30s.

### 4. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Wyniki badań SGP powierzchni trzech wybranych gniazd formujących użytej formy wtryskowej przedstawiono w tabeli 1.

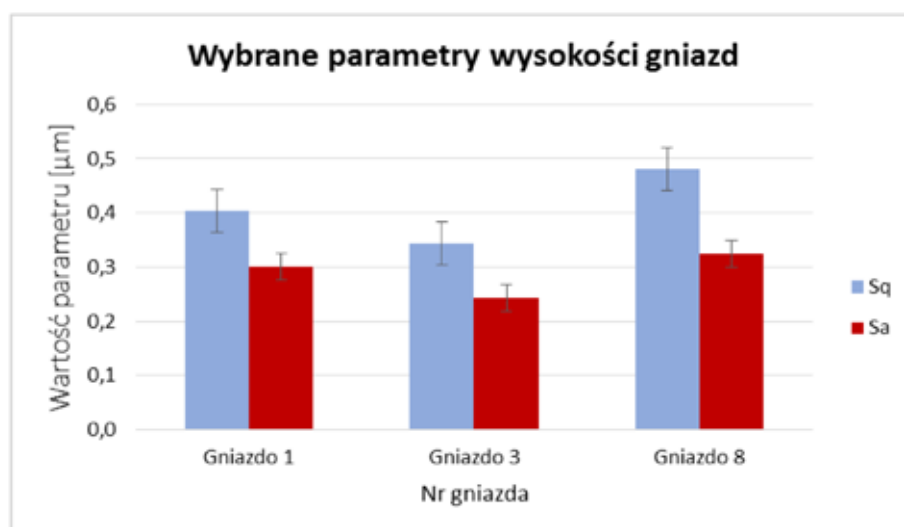
Mimo, że wartości parametrów SGP poszczególnych gniazd powinny być takie same to nieznacznie się różnią. Różnice w wartościach parametru Sq wynoszą maksymalnie 30%, a parametru Sa 25%. Na rysunku 3 zestawiono wartość parametrów Sq oraz Sa dla poszczególnych gniazd.

Średnie wartości wybranych parametrów funkcyjnych objętości ( $V_m$ ,  $V_v$ ,  $V_{mp}$ ,  $V_{mc}$ ), cech ( $Sh_a$ ,  $Sdv$ ,  $Sh_v$ ) i parametrów funkcyjnych ( $Sk$ ,  $Svk$ ) dla wybranych gniazd i odpowiadającym im powierzchni wyprasek wytworzonych przy dwóch różnych ciśnieniach wtrysku przedstawiono w tabeli 2. Wartości parametrów w większości przypadków zostały zapisane w notacji naukowej (np. 1,44E-05, oznacza 1,44·10<sup>-5</sup>). Opis „Wypraska 1, 75 MPa” oznacza wypraski pochodzące z gniazda 1 wytworzone przy zastosowaniu ciśnienia równego 75MPa, analogicznie „Wypraska 1, 100 MPa” to wypraski pochodzące z gniazda 1 wytworzone przy zastosowaniu ciśnienia równego 100 MPa. Analogiczny sposób opisu zastosowano dla wyprasek pochodzących z pozostałych gniazd.

Tab. 1. Wybrane wartości parametrów SGP gniazd formy wtryskowej

Tab. 1. Selected roughness parameters of mold cavity

Parametry wysokości		Jednostka	Gniazdo 1	Gniazdo 3	Gniazdo 8
Sq	Wysokość średniokwadratowa powierzchni	µm	0,404	0,344	0,481
Ssk	Asymetria powierzchni	–	-1,107	-0,478	-1,567
Sku	Kurtoza powierzchni	–	6,420	7,670	15,100
Sp	Maksymalna wysokość piku powierzchni	µm	2,900	3,963	4,310
Sv	Maksymalna wysokość wgłębienia powierzchni	µm	4,143	3,377	7,653
Sz	Maksymalna wysokość powierzchni	µm	7,043	7,337	11,967
Sa	Średnia arytmetyczna wysokość powierzchni	µm	0,301	0,243	0,325



Rys. 3 Wartości parametrów Sq i Sa dla wybranych gniazd

Fig. 3 Values of Sq and Sa parameter for selected mold cavities

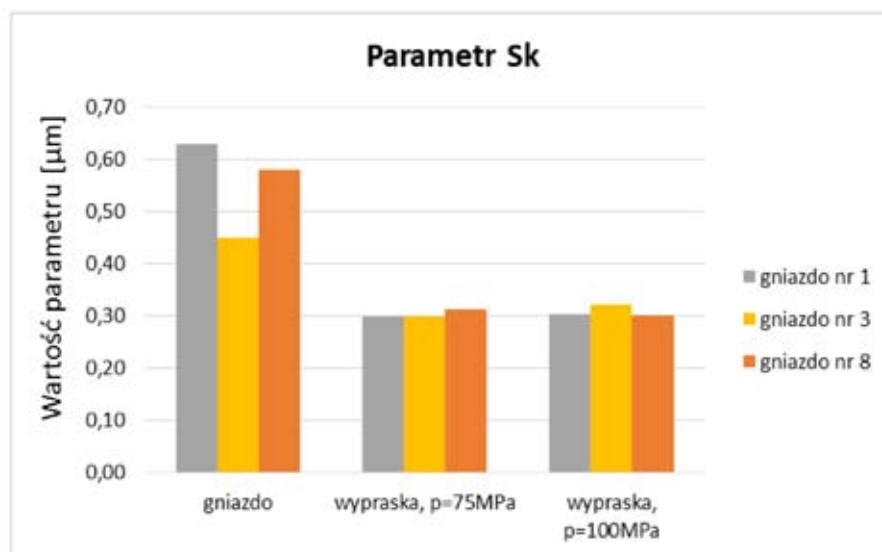
Tab. 2. Wybrane wartości parametrów SGP gniazd formy oraz wyprasek z PP

Tab. 2. Selected roughness parameters for the mold cavity and PP moulded parts

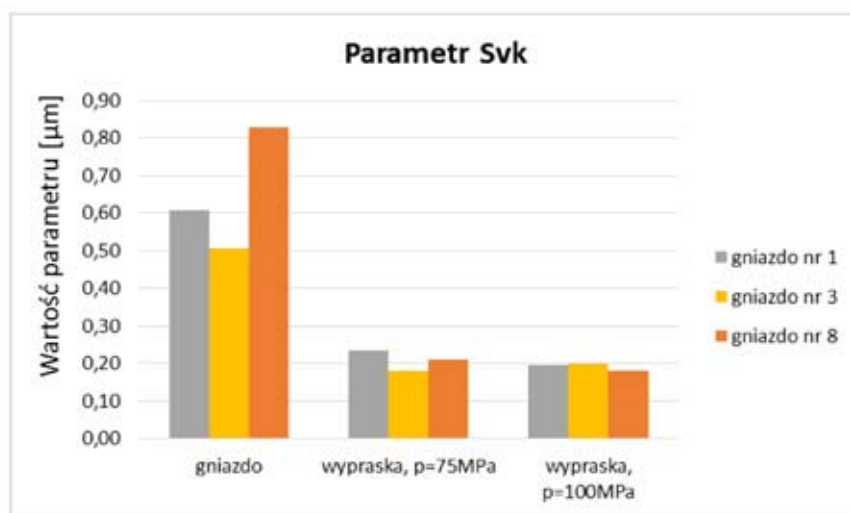
Nazwa parametru	Jednostka	Gniazdo 1	Wypraska 1, 75 MPa	Wypraska 1, 100 MPa	Gniazdo 3	Wypraska 3, 75 MPa	Wypraska 3, 100 MPa	Gniazdo 8	Wypraska 8, 75 MPa	Wypraska 8, 100 MPa
Vm	mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup>	1,44E-05	2,96E-05	3,13E-05	2,15E-05	1,54E-05	2,72E-05	2,69E-05	1,86E-05	1,48E-05
Vv	mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup>	4,63E-04	2,55E-04	1,15E-03	3,89E-04	3,84E-04	5,83E-04	5,09E-04	2,58E-04	4,49E-04
Vmp	mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup>	1,44E-05	2,96E-05	3,13E-05	2,15E-05	1,54E-05	2,72E-05	2,69E-05	1,86E-05	1,48E-05
Vmc	mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup>	3,22E-04	1,59E-04	6,56E-04	2,43E-04	2,51E-04	3,41E-04	3,15E-04	1,68E-04	2,89E-04
Sha	mm <sup>2</sup>	9,51E-05	1,09E-03	7,15E-04	2,72E-04	8,78E-04	3,09E-04	4,42E-04	1,07E-04	2,50E-05
Sdv	mm <sup>3</sup>	4,26E-09	9,99E-09	3,77E-09	1,05E-08	6,78E-09	1,94E-09	2,37E-08	1,19E-09	5,43E-10
Shv	mm <sup>3</sup>	5,21E-09	2,29E-08	9,79E-09	1,09E-08	2,22E-08	7,45E-09	2,29E-08	3,01E-09	6,96E-10
Sk	μm	0,629	0,300	0,304	0,449	0,299	0,322	0,579	0,312	0,301
Svk	μm	0,608	0,235	0,196	0,508	0,181	0,199	0,829	0,211	0,182

Z badań wynika, że wartości parametrów objętości (Vm, Vv, Vmp, Vmc) dla gniazd oraz odpowiadających im wyprasek są różne, co może być związane z technologią procesu wtryskiwania. Zastosowanie różnych ciśnień wtrysku w niewielkim stopniu wpływa na wartość tych parametrów.

Na rysunku 4 i rysunku 5 przedstawiono wartości parametrów Sk oraz Svk dla analizowanych gniazd i odpowiadających im wyprasek. Wartości parametrów funkcyjnych (Sk, Svk) są mniejsze dla powstałych wyprasek niż dla odpowiadających im gniazd. Stwierdzono niewielkie zmiany parametrów w zależności od wartości ciśnienia wtrysku.



Rys. 4. Wartości parametrów Sk dla wybranych gniazd i odpowiadających im wyprasek  
 Fig. 4. Values of Sk parameters for the mold cavity and PP moulded parts

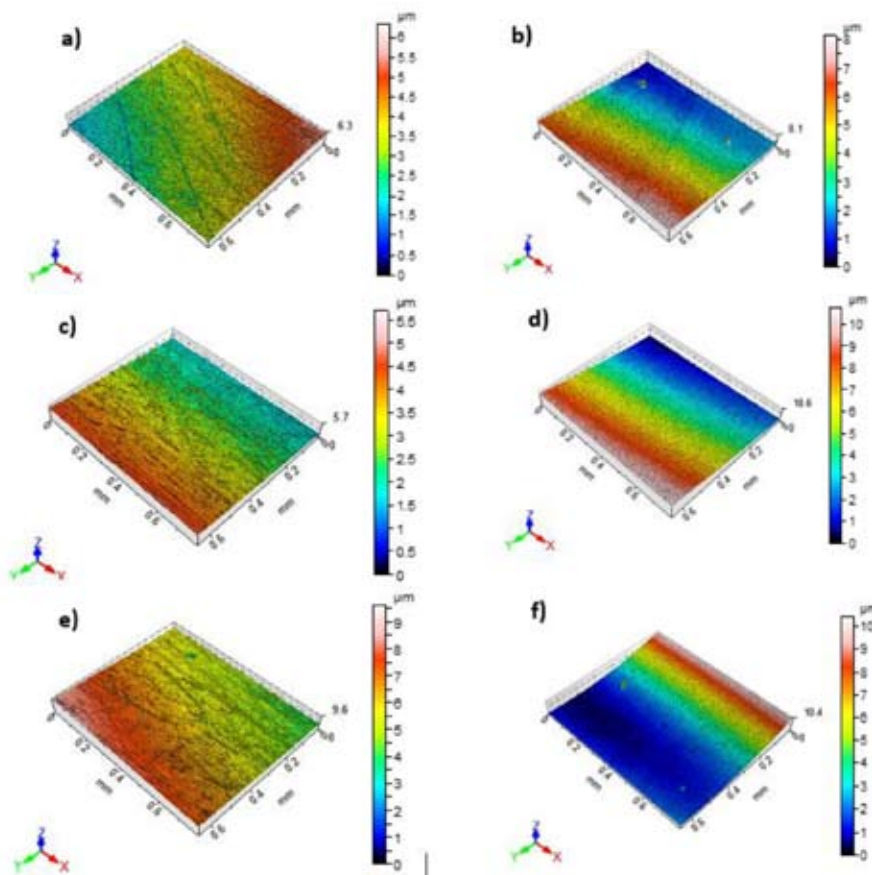


Rys. 5. Wartości parametrów Svk dla wybranych gniazd i odpowiadających im wyprasek  
 Fig. 5. Values of Svk parameters for the mold cavity and PP moulded parts

Na rysunkach 6a-f przedstawiono zarejestrowane powierzchnie analizowanych gniazd i wyprasek z PP. Rysunki 6a,6c oraz 6d przedstawiają mapę konturową powierzchni gniazda formy wtryskowej. Występujące nierówności wynikają z przeprowadzonego procesu obróbkowego oraz eksploatacji formy. Rysunki 6b, 6d oraz 6f przedstawiają powierzchnię otrzymanych wy-

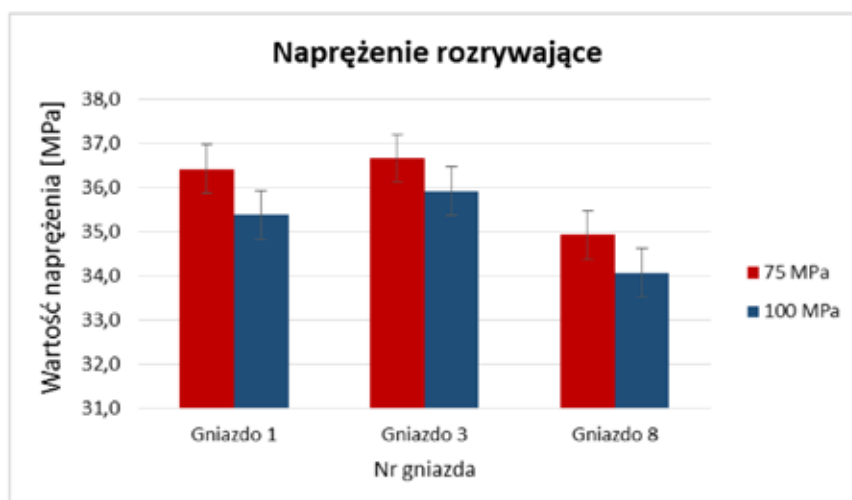
prasek po procesie wtryskowym. Występujące nierówności na powierzchni wypraski związane są z powierzchnią gniazda oraz użytymi parametrami procesu wtryskowego.

Na rysunku 7 przedstawiono wartości średnich naprężenia rozrywającego dla wyprasek z analizowanych gniazd przy różnych ciśnieniach wtrysku ( 75 MPa, 100MPa )



Rys. 6. Obrazy izometryczne zarejestrowanych, niewypoziomowanych powierzchni: a) powierzchnia gniazda nr 1 formy wtryskowej, b) powierzchnia wypraski z gniazda nr 1 (przy  $p=75$  MPa), c) powierzchnia gniazda nr 3, d) powierzchnia wypraski z gniazda nr 3 (przy  $p=75$  MPa), e) powierzchnia gniazda nr 8, d) powierzchnia wypraski z gniazda nr 8 (przy  $p=75$  MPa)

Fig. 6. The isometric images of the registered, non-leveled surfaces: a) surface of the mold cavity No. 1 b) surface of the moulded part from cavity No. 1 (at  $p = 75$  MPa), c) surface of the mold cavity No. 3 d) surface of the moulded part from cavity No. 3 (at  $p = 75$  MPa), e) surface of the mold cavity No. 8 f) surface of the moulded part from cavity No. 8 (at  $p = 75$  MPa),



Rys. 7. Wartości średnie napężenia rozrywającego dla wyprasek z analizowanych gniazd

Fig. 7. Average values of tensile stress for the moulded parts from the analyzed mold cavities

Na podstawie przeprowadzonych badań zauważono, że nawet niewielkie różnice w SGP gniazda formy wtryskowej mogą mieć wpływ na właściwości mechaniczne wyprasek. Wypraski z gniazda nr 3, dla którego zarejestrowano najmniejsze wartości parametrów wysokościowych (gniazdo było najgładsze), odznaczały się także największą wytrzymałością podczas rozciągania.

## 5. PODSUMOWANIE

Problematyka badań SGP jest w niewystarczający sposób przedstawiona w literaturze. Brak jest szeregu wiadomości pozwalających skorelować parametry struktury geometrycznej gniazda formującego, wypraski z parametrami przetwórstwa oraz właściwościami mechanicznymi wytworów. W szczególności jest to istotne dla większości tworzyw polimerowych mających zastosowanie techniczne. Podczas produkcji form wtryskowych, gdzie szczególną uwagę zwraca się na jakość powierzchni przyszłego wyrobu istotnym jest poznanie SGP wybranej powierzchni gniazda.

Przedstawione w pracy wyniki pokazały, że struktura geometryczna powierzchni wybranych losowo gniazd jest różna. Przeprowadzone wyniki badań wytrzymałościowych wykazały niewielkie zmiany w wytrzymałości wyprasek. Wprowadzenie nowych technologii wytwarzania form wtryskowych (np. metody addytywne) wymusza prowadzenie badań struktury geometrycznej powierzchni gniazd. Badania SGP przy użyciu mikroskopii konfokalnej oraz poszukiwanie korelacji pomiędzy parametrami wejściowymi (stan SGP gniazda formy, parametry przetwórstwa) a parametrami wyjściowym (stan SGP wypraski, właściwości wyrobu) niewątpliwie stanowią uzupełnienie dotychczasowej wiedzy w zakresie form do wtrysku, wyprasek i ich właściwości.

## BIBLIOGRAFIA

1. Crisan, N., Descartes S., Berthier Y., Cavoret, J., Baud, D., Montalbano, F.: *Tribological assessment of the interface injection mold/plastic part*, Tribology International, 2016, 100, 388-399
2. Pessoles X., Tournier C.: *Automatic polishing process of plastic injection molds on a 5-axis milling center*, Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209, 7, 3665-3673
3. Pouzada A.S., Ferreira E.C., Pontes A.J.: *Friction properties of moulding thermoplastics*, Polymer Testing, 2006, 25, 8, 1017-1023.
4. Burdek M.: *Wpływ topografii powierzchni na właściwości technologiczne metalowych wyrobów płaskich*, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, 2010, 62, 1. 244-249
5. Witkowska J. Kamiński J. Tarnowski M. Borowski T. Woińska M. Wierzchoń T.: (2016) *Wpływ topografii powierzchni na odporność korozyjną stopu z pamięcią kształtu NiTi po procesie azotowania jarzeniowego w niskotemperaturowej plazmie*. Ochrona przed korozją, 2016, 4, 102-106,
6. Dudzińska S., Tartakowski Z., Grochała D.: *Ekologiczne aspekty oceny struktury geometrycznej powierzchni wyrobów z tworzyw polimerowych*, Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe, 2016, 8, 3-7
7. Bociąga E., Palutkiewicz P.: *Wpływ zawartości poroforu i warunków wtryskiwania na wybrane właściwości i stan powierzchni wyprasek z polipropylenu*, Polimery, 2012, 57, 1, 38-48
8. Wang W., Zhao G., Guan Y., Wu X., Hui Y., Effect of rapid heating cycle injection mold temperature on crystal structures, morphology of polypropylene and Surface quality of plastic parts, Journal of Polymer Research, 2015, 22, 5, 84
9. Wieczorowski M.: *Kierunki rozwoju metrologii powierzchni*, Mechanik, 2014, 87 (8-9 CD-1), 467-474.
10. Tartakowski Z., Dudzińska S.: *Badania topografii powierzchni przy użyciu mikroskopii konfokalnej*, Dozór Techniczny, 5, 22-26
11. Leach R.: *Optical Measurement of Surface Topography*, Springer-Verlag Berlin
12. Heidelberg, United Kingdom 2011, 82-111
13. Wieczorowski M.: *Metrologia nierówności powierzchni, metody i systemy*, Wydawnictwo Zapol, Szczecin, 2013.

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 02-07-2017

Data akceptacji publikacji do druku: 01-08-2017