

Roman HUMIENNY*, Tomasz STACHOWIAK**, Przemysław POSTAWA**,

*Plast-Zem Sp. z o.o., ul. Poznańska 29; 66-200 Świebodzin, Zakład produkcyjny w Głogowie, ul. Transportowa 5, 67-200 Głogów

**Instytut Technologii Mechanicznych, Zakład Przetwórstwa Polimerów, Politechnika Częstochowska, ul. Armii Krajowej 19c, 42-201 Częstochowa

Pomiary wyprasek wtryskowych z wykorzystaniem skanerów optycznych

Streszczenie: Stabilność wymiarów oraz dokładność wymiarowo kształtowa wyprasek wtryskowych jest bardzo ważnym aspektem wytwarzania podzespołów z tworzyw polimerowych, dlatego tematyka ta jest często poruszana w publikacjach naukowych. Produkowanym obecnie elementom z tworzyw stawiane są coraz to większe wymagania w zakresie ich właściwości mechanicznych, użytkowych oraz dokładności wymiarowo kształtowej. W artykule przedstawiono poszczególne czynniki wpływające na dokładność wymiarową wyprasek z tworzyw polimerowych oraz zaprezentowano wyniki badań wypraski o złożonym kształcie wykonanej z polipropylenu z dodatkiem napelnicza w postaci włókna szklanego.

Słowa kluczowe: stabilność wymiarowa, dokładność, deformacje, metody pomiarowe, skaner optyczny 3D

MEASUREMENTS OF INJECTION MOLDING PARTS BY USING OPTICAL SCANNERS

Abstract: Stability and accuracy of dimensions and shape of injection molding parts are very important issue of plastic parts production based on thermoplastic materials. Therefore a lot of scientists focused their attention on that subject in the scientific research and publications. In present production of advanced plastic parts accuracy and stability of dimensions are very important factor. Factors which has biggest influence on stability of moldings dimensions were presentet in the article and results of testing very complex molding made by polipropylene filled glass fiber were shown.

Keywords: dimensional stability, accuracy, deformation, measurement methods optical scanner 3D

WSTĘP

Fizykochemiczne oraz reologiczne właściwości materiałów polimerowych oraz zjawiska zachodzące w formie wtryskowej podczas wypełniania płynnym tworzywem, a także procesy zachodzące podczas fazy docisku i ochładzania, determinują wiele cech związanych z dokładnością wymiarowo-kształtową otrzymywanych wyprasek. Wszędzie tam gdzie wymagana jest stabilność wymiarów, nie tylko po zakończeniu procesu wtryskiwania, ale również podczas ich eksploatacji, konieczne jest zapewnienie odpowiedniej sztywności i powtarzalność wymiarów produkowanych podzespołów z tworzyw.

CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA DOKŁADNOŚĆ WYMIAROWĄ WYPRASEK Z TWORZYW POLIMEROWYCH

Głównymi czynnikami od których zależy dokładność wymiarowa wyprasek wtryskowych są:

- cechy i właściwości przetwarzanego tworzywa (reologiczne, mechaniczne, podatność na pełzanie, właściwości cieplne)
- rodzaj zastosowanego napelnicza (kształt, zawartość i jego przygotowanie),
- zastosowane warunki procesu wtryskiwania (temperatura, ciśnienie docisku, prędkość wtrysku)
- wartości skurczu przetwórczego, pierwotnego i wtórnego oraz zróżnicowanie wartości skurczu wzdłużnego i poprzecznego,

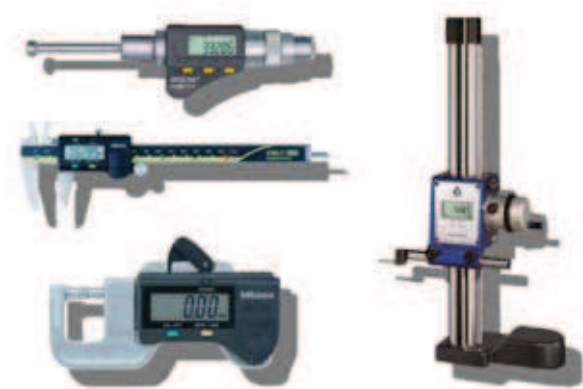
- orientacja oraz naprężenia własne,
- zmiany wymiarów powodowane przez zmiany temperatury (rozszerzalność cieplna),
- zmiany wymiarów związane ze zmianą zawartości wilgoci użytkowanych wyprasek.

Na etapie produkcji można ograniczyć się do tego w jakich warunkach jest przechowywana wypraska w ciągu pierwszych 24 godzin, po usunięciu jej z gniazda formy. Kolejne czynniki trzeba uwzględnić na etapie doboru tworzywa oraz podczas ustalania warunków przebiegu procesów przetwórstwa.

METODY KONTROLI DOKŁADNOŚCI WYMIARÓW WYPRASEK

METODY DOTYKOWE

Do najbardziej rozpowszechnionych metod kontroli wymiarów liniowych należą pomiary wykonywane z wykorzystaniem przyrządów dotykowych, do których należą między innymi suwmiarka oraz mikrometry (rys. 1). Poza wizualną kontrolą przyrządy te stanowią najczęściej spotykaną formę weryfikacji poprawności wytworzenia określonych wyrobów z tworzyw polimerowych w zakresie ich wymiarów (wewnętrznych lub zewnętrznych).



Rys. 1. Urządzenia dotykowe do pomiarów wielkości geometrycznych : suwmiarka, średnicówka, grubościomierz, wysokościomierz

Fig. 1. Contact measurement equipments: caliper, diameter gauge, thickness gauge, altimeter

Największą wadą stosowania wszelkich przyrządów dotykowych jest ich nieprecyzyjna obsługa (tzw. błąd ludzki). Jest on związany z niedokładnością styku i wyboru miejsca dla mierzonych wielkości przez poszczególnych operatorów. Ponadto w odniesieniu do rozważanego zagadnienia wyznaczenie takich wielkości jak na przykład współosiowość otworów w bezpośrednim pomiarze z wykorzystaniem przyrządów dotykowych nie jest wykonalne.

STANOWISKA WYPOSAŻONE W CZUJNIKI WSKAZÓWKOWE I CYFROWE

W rozwiązaniach przemysłowych charakteryzujących się wysoką precyzją wykonania do badań wytwarzanych detali stosowane są często specjalne stanowiska wyposażone w czujniki zarówno wskazówkowe jak i cyfrowe umożliwiające kontrolę nawet kilkunastu krytycznych punktów na powierzchni badanego wyrobu oraz porównanie otrzymanych wartości z wartościami wzorcowymi (rys. 2). Rozwiązanie to należy również do rozwiązań dotykowych (zakończenie czujnika ma bezpośredni kontakt z badanym wyrobem).



Rys. 2. Zespalone stanowisko pomiarowe wyposażone w czujniki zegarowe dotykowe

Fig. 2. Joint measurement stand with electronic contact sensors

WSPÓŁRZĘDNOŚCIOWE MASZYNY POMIAROWE

Do rozwiązań bardziej zaawansowanych oraz eliminujących w dużym stopniu błąd ludzki należą współrzędnościowe maszyny pomiarowe (rys. 3a). Są to urządzenia pomiarowe, które umożliwiają dokonywanie pomiarów detali o bardzo skomplikowanych kształtach, z uwzględnieniem krzywizn i pochyłości, nie możliwych do wykonania za pomocą klasycznych przyrządów pomiarowych takich jak suwmiarki, przymiary lub stanowiska wyposażone w czujniki zegarowe.



Rys. 3. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa a), ramię pomiarowe b)
Fig. 3. A coordinate measuring machine a), measuring arm b)

RAMIONA POMIAROWE

Rozwinięciem idei i zasady działania maszyny współrzędnościowej jest ramię pomiarowe, które oprócz zapewnienia odpowiedniej sztywności całego układu i dokładności pomiarowej charakteryzuje się również ograniczeniami wynikającymi z jej wymiarów oraz działania tylko w trzech osiach XYZ (rys. 3b). Ramiona pomiarowe eliminują te niedoskonałości i umożliwiają pomiary wieloosiowe przy zapewnieniu odpowiedniej

dokładności i precyzji. Ramiona pomiarowe należą również do grupy metod dotykowych, w których pomiar następuje po zetknięciu się czujnika z badaną powierzchnią [1–3].

SKANERY OPTYCZNE 3D

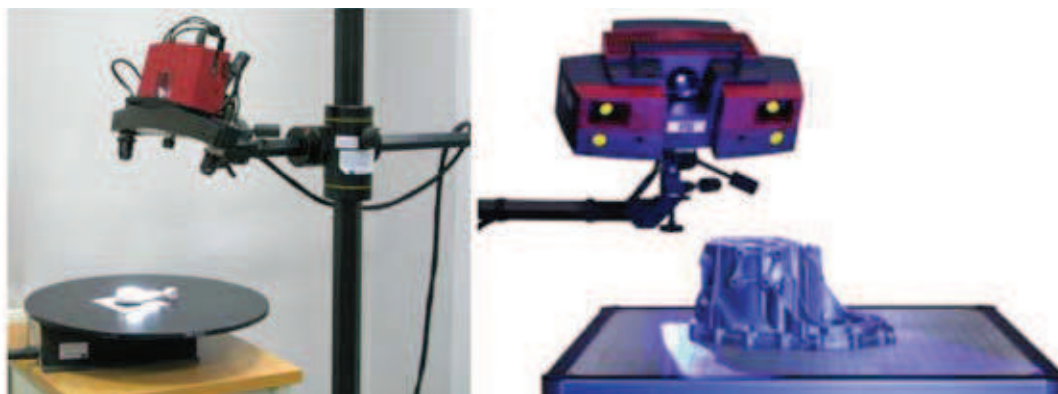
W celu wyeliminowania błędów pomiarowych wynikających z metod dotykowych lub w celu wyznaczenia wielkości, których uzyskanie klasycznymi metodami nie jest możliwe, wykorzystuje się skanery optyczne 3D. Urządzenia te należą do grupy narzędzi pomiarowych bezdotykowych. W celu wy-

konania pomiaru niezbędne jest naniesienie na mierzoną wypraskę tzw. punktów referencyjnych, które będą dla urządzenia punktami odniesienia [4–15]. Urządzenia na tej podstawie mają również możliwość wygenerowania trójwymiarowej bryły badanego detalu w wirtualnym środowisku CAD.

Metody bezdotykowe mają również ograniczenia i wady. Jedną z wad jest wymóg zapewnienia zbliżonego połysku mierzonych (skanowanych) powierzchni. W tym celu przy bardzo błyszczących powierzchniach na części

maszyn lub wyprasek nanosi się specjalny proszek, który w efekcie powoduje matowienie powierzchni. Jednak nałożenie zbyt grubej warstwy substancji dodatkowej, może powodować powstawanie innego typu błędów.

praski zastosowano formę jednogniazdową wyposażoną w dwa punkty wtrysku (układ przepływowy zimnokanałowy). Zdjęcia wypraski przedstawiono na rysunku 6, a części stemplową i matrycową na rysunku 5.



Rys. 4. Skaner 3D podczas pracy

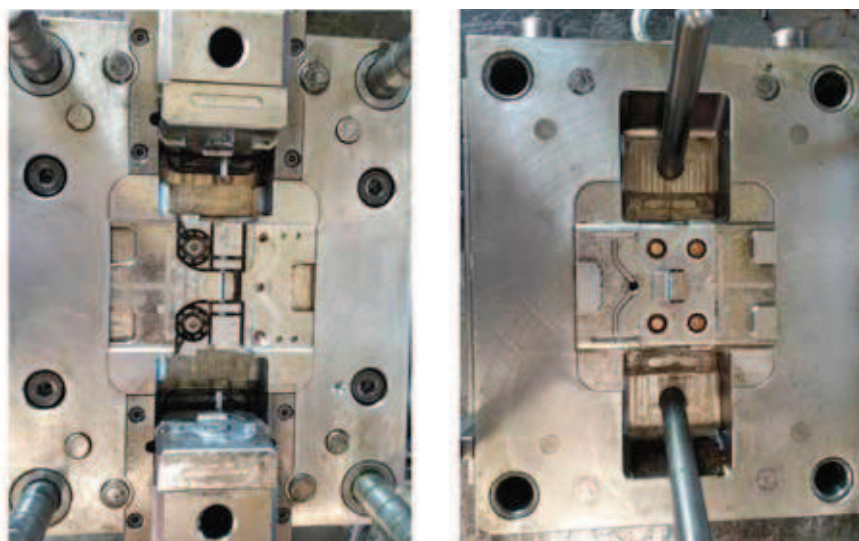
Fig. 4. 3D scanener during measurement process

PRZEDMIOT BADAŃ I ZASTOSOWANY MATERIAŁ

Analizowanym przedmiotem badań jest wypraska wykonana z polipropylenu napełnionego w 30% włóknem szklanym o nazwie handlowej Reslen PPH 12RC GF30 Ral 7016. Wypraska została wykonana za pomocą technologii wtryskiwania. W celu wykonania wy-

Forma została udostępniona przez firmę OCTO Actuators GmbH, zamontowano ją na wtryskarce hydraulicznej KM110 firmy Krauss Maffei o maksymalnej sile zwarcia formy 1100kN (110 ton). Wypraski wtryskiwano przy zastosowaniu następujących warunków przetwórstwa:

- ciśnienie wtrysku: 140 MPa
- czas wtrysku: 2,85s



Rys. 5. Widok części formujących formy wtryskowej

Fig. 5. View of forming part of injection mould

- ciśnienie docisku: 50 MPa
- czas docisku: 10s
- temperatura wtrysku: 220°C
- czas chłodzenia: 40s

Wynikowy czas cyklu wynosił 60s, co pozwalało na uzyskanie wydajność na poziomie 60szt./h.

Wypraskę przedstawiono na rysunku 6, na którym zaznaczono wymiar L, który dla tej wypraski jest strategicznym z punktu widzenia poprawnej pracy i współpracy z pozostałymi elementami przekładni.

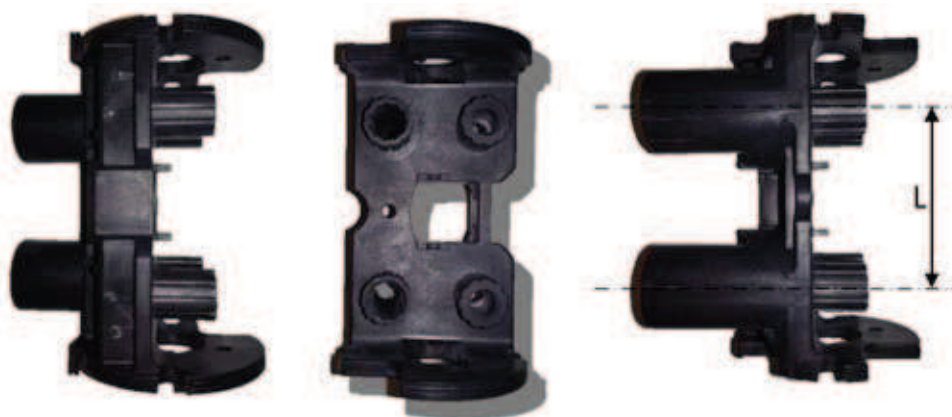
Badania wykonano w warunkach przemysłowych z wykorzystaniem skanera 3D firmy ATOS firmy Gom wyposażonego w zmotoryzowany stół pomiarowy. Głównym celem badań była ocena odchyłek położenia, kształtu oraz wzajemnego usytuowania osi otworów referencyjnych w badanej wyprasce w odniesieniu do kształtu i wymiarów gniazda formy wtryskowej. Badana część stanowi obudowę precyzyjnego układu napędowego, gdzie współosiowość poszczególnych elementów jest rzeczą nadrzędną.

WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzone badanie miało na celu wyznaczenie rozstawu pomiędzy otworami oraz ich współosiowości. Zastosowany skaner 3D charakteryzował się następującymi parametrami (tabela 1):

Badania miały na celu wyznaczenie dokładności wymiarowo-kształtowej oraz położenia punktów referencyjnych wypraski, ale również określenie możliwości wyznaczenia równoległości osi otworów w wyprasce. Detal poddany analizie wymiarów jest elementem który będzie współpracował, z kołami zębatymi przenoszącym ruch obrotowy oraz znaczne obciążenia, (będą w nim umieszczone dodatkowe elementy metalowe przenoszące ten ruch). Zapewnienie równoległości tych elementów jest istotne dla zapewnienia prawidłowego funkcjonowania całego mechanizmu.

Pomiar został wykonany z wykorzystaniem tzw. małego pola pomiarowego. Przed rozpoczęciem skanowania na detal naniesione zo-



Rys. 6. Widok wypraski będącej przedmiotem pomiarów

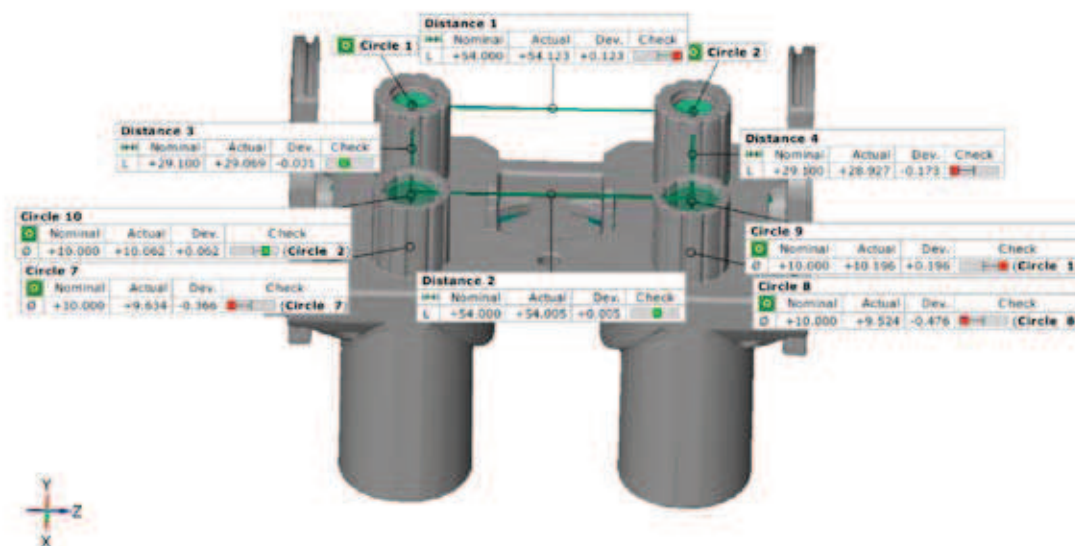
Fig. 6. View of tested moldings

Tabela 1

Typ pola pomiarowego	Wymiary obiektywu [mm]	Rozmiar punktu referencyjnego [mm]	Obiektyw kamery	Obiektyw sensora
Małe pole	150x110x110	0,8	300/MV150/L, 300/MV150/R	300/MV150/P
Duże pole	600x400x400	3	300/MV600/L, 300/MV600/R	300/MV600/P

stały punkty referencyjne o wymiarach 0,8mm (rys. 7). Otrzymane wyniki pomiaru zostały przedstawione w tabeli 2.

gólne odległości (Distance 1–4). Na tej podstawie można było wyznaczyć przebieg rzeczywistych osi analizowanych otworów, ich rozstaw oraz



Rys. 7. Obraz analizy danych pomiarowych wraz z widokiem badanego elementu

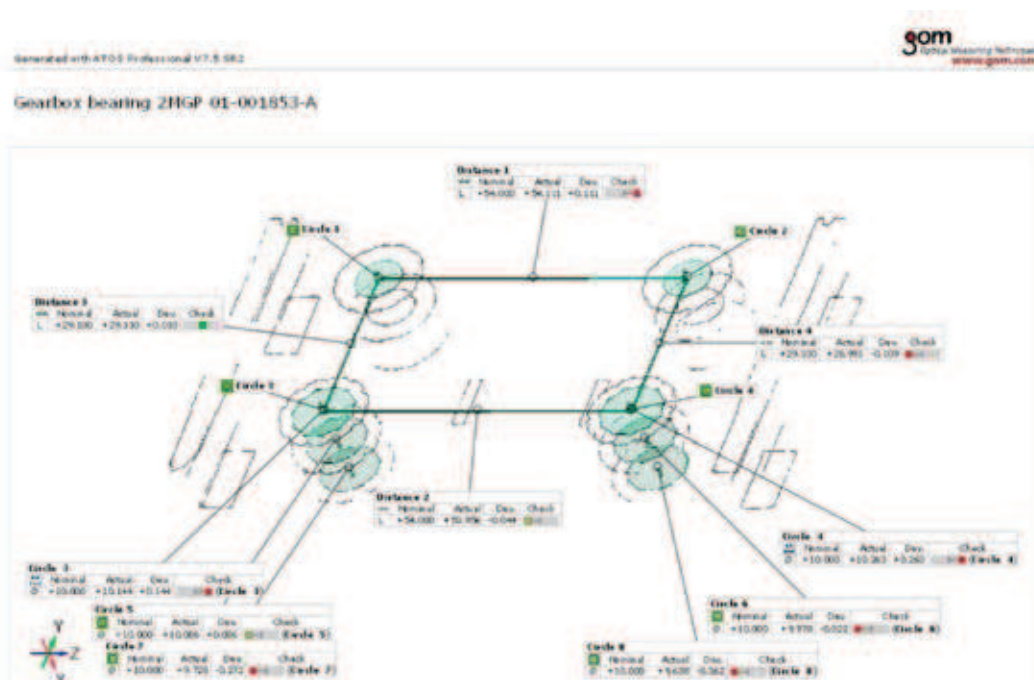
Fig. 7. View of measurement data analysis with a view of the test part.

Tabela 2. Wyniki pomiaru odległości poszczególnych osi otrzymane przy zastosowaniu skanera 3D

Odległości	Wart. nominalna	Wart. uzyskana	Odchyłka	Wynik kontroli
Distance 1	+54,000	+54,123	+0,123	nie odpowiada
Distance 2	+54,000	+54,005	+0,005	odpowiada
Distance 3	+29,100	+29,069	-0,031	odpowiada
Distance 4	+29,100	+28,927	-0,173	nie odpowiada

Wypraska umieszczona została w przestrzeni pomiarowej skanera po czym rozpoczęto procedurę pomiarową. Wyniki jednego z pomiarów przedstawiono na rysunku 7. Z chmury zeskanowanych punktów za pomocą lasera oprogramowanie buduje płaszczyzny wyznaczające kształt badanej wypraski. Połączone punkty są obrysem wypraski, z których wzajemnego położenia można odczytać odległości między nimi. Następnie oznaczono okręgi (Circle 1 – 4), pomiędzy którymi program wyznaczył poszczególne

równoległość. Porównując dane z modelem cyfrowym oprogramowanie dokonuje analizy odchyłek, wskazując, które elementy wypraski uległy deformacji. Jest to bardzo cenna informacja dla technologa, który może wpłynąć na zmiany parametrów procesu (choćby przez zmianę temperatury formy, temperatury wtryskiwanego tworzywa oraz czasu chłodzenia poszczególnych sekcji wyrobu) i uzyskać wypraskę bez wad. Wyniki takiej analizy przedstawiono na rysunku 8 oraz w tabeli 3.



Rys. 8. Widok ekranu monitora analizy równoległości otworów wypraski
Fig. 8. Window of analysis of parallel holes of moldings

Tabela 3. Wyniki pomiaru współosiowości otworów otrzymane przy zastosowaniu skanera 3D

Określi	Wart. nominalna	Wart. uzyskana	Odchyłka	Wynik kontroli
Circle 3	+10,000	+10,144	+0,144	NOK
Circle 5	+10,000	+10,006	+0,006	OK
Circle 7	+10,000	+9,728	-0,272	NOK
Circle 4	+10,000	+10,263	+0,263	NOK
Circle 6	+10,000	+9,978	-0,022	NOK
Circle 8	+10,000	+9,638	-0,362	NOK

WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Przedstawione na rysunkach 7 i 8 oraz w tabelach 1 i 2 wyniki odchyłek odległości pomiędzy otworami wypraski mierzone w dwóch kierunkach wskazują na uniwersalność, precyzję pomiaru i wszechstronność skanerów pomiarowych 3D. Uzyskanie tego typu danych z wykorzystaniem jakiegokolwiek innego sprzętu

pomiarowego byłoby bardzo trudne, a w niektórych przypadkach wręcz niemożliwe. Wyznaczenie odległości pomiędzy wirtualnymi punktami jakimi są osie otworów, środki promieni czy łuków, wymagają zebrania ogromnej liczby punktów pośrednich.

Jednak porównując liczbę punktów pomiarowych jaki jest w stanie zebrać skaner z najszybszymi metodami dotykowymi skanery 3D i tak

pomimo niedoskonałości pomiaru związanej z koniecznością stosowania dodatkowych substancji matujących powierzchnię prezentują się korzystniej, ponieważ są znacznie bardziej precyzyjne oraz szybsze, co jest nie bez znaczenia podczas analizy skomplikowanych wyprasek technicznych posiadających wiele wymiarów referencyjnych, które należy kontrolować:

Podziękowania dla firmy OCTO Actuators GmbH – Niemcy za możliwość przeprowadzenia analizy i przygotowaniu publikacji w oparciu o formę wtryskową i wypraski firmy.

ACKNOWLEDGEMENTS

Special thanks to the company OCTO Actuators GmbH – Germany for the opportunity to study and prepare publications on the basis of an injection mold and molding company

LITERATURA

1. Vagovský J., Buranský I., Görög A., *Evaluation of Measuring Capability of the Optical 3D Scanner*, *Procedia Engineering* 100 (2015) 1198–1206,
2. Tóth T., Živčák J., *A Comparison of the Outputs of 3D Scanners*, *Procedia Engineering* 69 (2014) 393–401
3. Ozan S., Gümüstekin S., *Calibration of double stripe 3D laser scanner systems using planarity and orthogonality constraints*, *Digital Signal Processing* 24(2014)231–243,
4. Chromy A., *High-Accuracy Volumetric Measurements of Soft Tissues using Robotic 3D Scanner*, *IFAC-PapersOnLine* 48-4 (2015) 318–323,
5. Grivon D., Vezzetti E, Violante M., *Study and development of a low cost “OptInertial” 3D scanner*, *Precision Engineering* 38 (2014) 261–269
6. Reyesa A.L., Cervantesb J.M., Gutiérrezb N.C., *Low cost 3D scanner by means of a 1D optical distance sensor*, *Procedia Technology* 7 (2013) 223–230
7. Galantucci L.M., Lavecchia F., Percoco G., Raspatelli S., *New method to calibrate and validate a high-resolution 3D scanner, based on photogrammetry*, *Precision Engineering* 38 (2014) 279–291,
8. Grivon D, Vezzetti E., Violante M.G., *Development of an innovative low-cost MARG sensors alignment and distortion compensation methodology for 3D scanning applications*, *Robotics and Autonomous Systems* 61 (2013) 1710–1716,
9. Galantucci L.M., Pesce M., Lavecchia F., *A stereo photogrammetry scanning methodology, for precise and accurate 3D digitization of small parts with sub-millimeter sized features*, *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 64 (2015) 507–510,
10. Reinhart G, Tekouo W., *Automatic programming of robot-mounted 3D optical scanning devices to easily measure parts in high-variant assembly*, *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 58 (2009) 25–28,
11. Yan So E.W., Munaro M., Michieletto S., Tonello S., Menegatti E., *3DComplete: Efficient completeness inspection using a 2.5D color scanner*, *Computers in Industry* 64 (2013) 1237–1252,
12. Molleda J., Usamentiaga R., Garcí a D.F., Bulnes F.G., Espina A., Dieye B., Smith L.N., *An improved 3D imaging system for dimensional quality inspection of rolled products in the metal industry*, *Computers in Industry* 64 (2013) 1186–1200,
13. Zhongdong Y., Peng W., Xiaohui L., Changku S., *3D laser scanner system using high dynamic range imaging*, *Optics and Lasers in Engineering* 54(2014)31–41,
14. García-Moreno A.I., Hernandez-García D.E., Gonzalez-Barbosa J.J., Ramírez-Pedraza A., Hurtado-Ramos J.B., Ornelas-Rodriguez F.J., *Error propagation and uncertainty analysis between 3D laser scanner and camera*, *Robotics and Autonomous Systems* 62 (2014) 782–793,

Data przyjęcia publikacji do druku: 14–09–16