

BOŚ Piotr<sup>1</sup>  
 BUDZIK Grzegorz<sup>2</sup>  
 CYGNAR Mariusz<sup>3</sup>  
 ROKICKI Paweł<sup>4</sup>  
 RYBAK Mirosław<sup>5</sup>

## Analiza geometryczna procesu mechanicznej kompensacji odkształceń temperaturowych elementów podwozia samolotu typu STRUCTURAL POST

### WSTĘP

Duża niepewność pomiaru w procesie kontroli międzyoperacyjnej może zafałszować proces produkcyjny a nawet spowodować późniejsze zniszczenie detalu. Bardzo istotne jest określenie właściwej dokładności pomiaru która powinna być dostosowana do tolerancji wykonania. Problem ten zauważył profesor Georg Berndt w pierwszej połowie XX wieku formułując „złotą zasadę techniki pomiarowej” : niepewność pomiaru przy sprawdzanej tolerancji T powinna wynosić od jednej dziesiątej do jednej piątej tej tolerancji”. Zasada ta wyznaczyła nowy kierunek rozwoju urządzeń pomiarowych i trwa do chwili obecnej. Szczególnego znaczenia nabiera ten problem w przemyśle lotniczym, gdzie bezpieczeństwo ma tak bardzo wymierne znaczenie.

### 1 PROCES PRODUKCJI ELEMENTU TYPU STRUCTURAL POST

Główne elementy podwozia samolotu wykonywane są ze stali do ulepszenia cieplnego (najczęściej stal 4340 lub 300M) w formie odkuwek. Aby osiągnęły zamierzony kształt potrzebnych jest wiele operacji, które w dużym uproszczeniu można przedstawić następująco:

1. Bazy
2. Wiercenie
3. Kształtowanie profilu części
4. Toczenie
5. Obróbka ręczna- ślusarska
6. Kontrola międzyoperacyjna
7. Hartowanie
8. Odpuszczanie wstępne
9. Pomiar skrzywienia po H/T
10. Prostowanie na gorąco I
11. Pomiar skrzywienia po H/T
12. Prostowanie na gorąco II
13. Pomiar skrzywienia po H/T
14. Prostowanie na gorąco III
15. Pomiar skrzywienia po H/T
16. Odpuszczanie ostateczne
17. Pomiar twardości
18. Pomiar wytrzymałości

<sup>1</sup>Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie, Instytut Politechniczny, 38-400 Krosno, Rynek 1. Tel: + 48 605467060, [piotr44@wp.pl](mailto:piotr44@wp.pl)

<sup>2</sup>Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn, 35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 8. Tel: + 48 178651986, [gbudzik@prz.edu.pl](mailto:gbudzik@prz.edu.pl)

<sup>3</sup>Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, Instytut Politechniczny, 33-300 Nowy Sącz, ul. Zamenhofska 1a. Tel.: 18-547-29-08, [mcygmar@pwsz-ns.edu.pl](mailto:mcygmar@pwsz-ns.edu.pl)

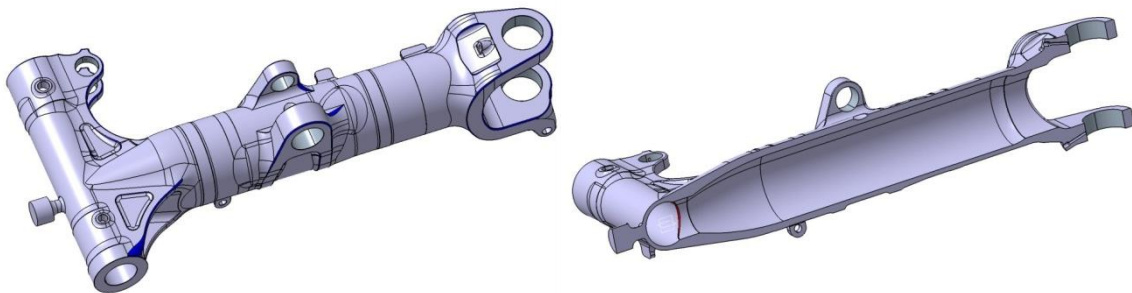
<sup>4</sup>Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Materiałoznawstwa, 35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 8. Tel: + 48 178651124, [prokicki@prz.edu.pl](mailto:prokicki@prz.edu.pl)

<sup>5</sup>Goodrich Aerospace Poland Sp. z o.o., Ul. Żwirki i Wigury 6a, 38-400, Krosno. Tel. +48 13 4376600, [miettek@interia.pl](mailto:miettek@interia.pl)

19. Toczenie dokładne
20. Wytaczanie dokładne
21. Szlifowanie
22. Obróbka ręczna - ślusarska
23. Mycie części
24. Kontrola międzyoperacyjna
25. Kontrola przypaleń
26. Kontrola magnetyczna
27. Kulowanie
28. Honowanie
29. Chromowanie
30. Szlifowanie
31. Niklowanie
32. Honowanie
33. Kadmowanie
34. Gruntowanie
35. Malowanie
36. Kontrola ostateczna

Wytłuszczoną czcionką zaznaczono operacje związane z procesem prostowania po hartowaniu. Można zauważyć jak znaczący oraz pracochłonny jest udział procesu prostowania a wraz z nim pomiary w kontroli międzyoperacyjnej.

Ostatecznie otrzymuje się kształt przykładowo podany na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowy model elementu typu STRUCTURAL POST w widoku i przekroju

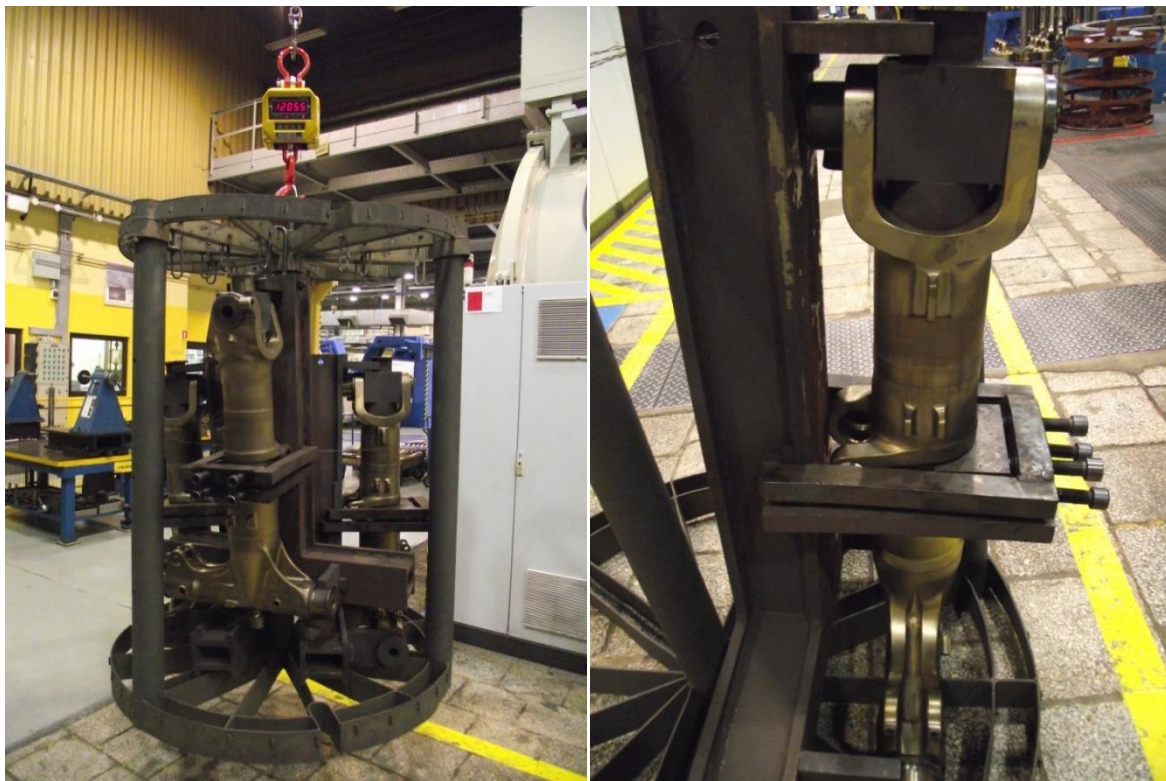
## 2 ZMIANA KSZTAŁTU PRZEDMIOTU

Finalny produkt waży 80% mniej niż półfabrykat wyjeżdżający z huty. Na rysunku 1 pokazano przykładowy kształt elementu. Wyraźnie widać że przypomina cienkościenną smukłą rurę połączoną z elementami mocowań. Ogromne znaczenie na pozostałe operacje ma proces obróbki cieplnej w powiązaniu z procesem pomiarowym i nawet trzykrotnym prostowaniem. Obrobiona wstępnie odkuwka po hartowaniu zmienia swój kształt na tyle, że przywrócenie zamierzonych wymiarów procesem obróbki wykańczającej byłoby trudne i zbyt kosztowne. Przemiany strukturalne zachodzące podczas hartowania uwalniają siły wewnętrzne powodując zmianę kształtu zgrubnie obrobionych części. Konieczne jest prostowanie. Niestety dobór podpór i siły nacisku wstępnego przed wyżarzaniem opiera się głównie na doświadczeniu pracowników. Przy wprowadzaniu nowego produktu niezbędnych jest wiele prób aby prawdopodobieństwo poprawnego doboru parametrów prostowania było jak największe. Maksymalny nacisk, jaki możemy zastosować narzuca nam norma. Mówi ona, że: odkształcenie (podczas mocowania części w przyrządzie) poza wymiar nominalny, w przeciwną stronę do ugięcia podlegającego prostowaniu, nie powinno być większe niż wartość zmierzonej deformacji hartowniczej pomnożona przez 1,6. Norma mówi także, iż zabronione jest doprowadzenie do przegięcia trwałego poza granicę tolerancji, w przeciwnym kierunku do istniejącego ugięcia i ponowne prostowanie części. Naciski ustalane są doświadczalnie i dobierane są

osobno dla każdej krzywizny. Z uwagi na zmianę właściwości elementu ograniczona jest ilość zabiegów prostowania do trzech. Zły dobór parametrów prostowania związany jest z wysokimi kosztami ewentualnej pomyłki.

Najpowszechniej stosowane w międzynarodowym przemyśle lotniczym normy dotyczące prostowania i kształtowania to:

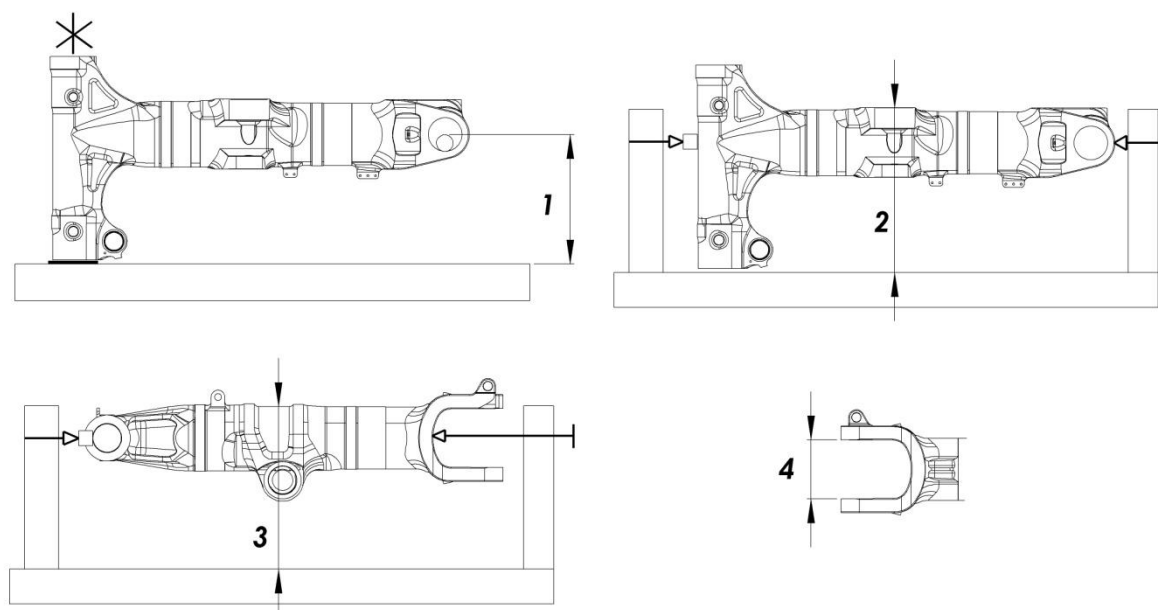
- BAC 5300-Kształtowanie, prostowanie i dopasowanie części metalowych.
- BAC 5617-Obróbka cieplna stali stopowych.
- BAC 5619-Obróbka cieplna stali odpornych na korozję.
- AMS 2759-Obróbka cieplna części stalowych.
- GAMPS 2113-Prostowanie stali nisko-średnio stopowej i odpornej na korozję oraz stopów na bazie niklu.



Rys. 2. Przygotowanie elementów do odpuszczania połączone z prostowaniem

### 3 METODOLOGIA POMIAROWA

Konieczność zapewnienia jakości produkcji w przemyśle lotniczym wymogła poszukiwanie nowych efektywnych metod pomiarowych. Pomiar jest zawsze operacją niedokładną a więc trzeba się liczyć z niepewnością pomiarów. Elementy typu „structural post” po wyjęciu z pieca należy pomierzyć pod kątem odchyłek kształtu i ich dalszej kompensacji. Potrzebny jest szybki i dokładny pomiar. Duża niepewność pomiaru może zafałszować proces prostowania a nawet spowodować późniejsze zniszczenie detalu. Bardzo istotne jest określenie właściwej dokładności pomiaru która powinna być dostosowana do tolerancji wykonania. W mierzonych elementach można zauważyć skrzywienia oraz wydłużenie. Przy elemencie o długości ok. 1m można się spodziewać wydłużenia rzędu 1 mm. Zakłada się go podczas ustalania wymiarów do obróbki tzn. element przed hartowaniem powinien być 1 mm na długości po obróbce wstępnej skrawaniem krótszy od wymiaru założonego. Natomiast skrzywienie dopuszczalne jest tylko do 0,5 mm i pod tym kątem jest mierzone. Podczas pomiarów z użyciem przyrządów pomocniczych mierzona jest odległość punktu charakterystycznego od płaszczyzny podstawy przyrządu lub wymiar wewnętrzny. Schemat pomiarowy z czterema wymiarami charakterystycznymi dla przykładowego elementu goleni podwoziowej podaje rysunek 2.



Rys. 3. Określenie charakterystycznych punktów pomiarowych

Dla pięciu wybranych detali, w których nastąpiła zmiana kształtu w wyniku obróbki cieplnej, zebrano wyniki pomiarów po kolejnych etapach prostowania i zamieszczono je w tabeli 1.

Tab. 1 Wyniki pomiarów punktów charakterystycznych elementu typu „structural post” podczas procesu prostowania na gorąco w temperaturze odpowiednio I- 230±6°C i II- 260±6°C.

Model A1 GVI PG								
Detail nr	A Punkt pomiaru	B Wymiar przed hartowaniem	C Wymiar po hartowaniu	D Wartość ugięcia do I prostowania	E Wymiar po I prostowaniu	F Wartość ugięcia do II prostowania	G Wymiar po II prostowaniu	H Wymiar po II odpuszczaniu
3107	1	393,13	393,35		393,35			393,34
	2	802,5	802,42		802,43			802,45
	3	793,25	793,81	0,6	793,06			793,21
	4	144,35	144,45		144,46			144,49
3108	1	393,08	393,44		393,45			393,43
	2	802,51	802,30		802,29			802,31
	3	793,12	793,80	0,8	793,10			793,15
	4	144,29	144,52		144,52			144,53
3109	1	392,95	393,95		393,90	1,00	392,99	392,99
	2	802,34	801,93		801,12		802,35	802,33
	3	793,37	793,90	0,5	793,27		793,61	793,61
	4	144,25	144,42		144,41		144,40	144,40
3110	1	393,00	393,21		393,22			393,20
	2	802,33	802,27		802,27			802,29
	3	793,34	793,80	0,5	793,39			793,38
	4	144,40	144,64		144,64			144,63
3111	1	393,09	393,35		393,36			393,35
	2	802,28	802,33		802,20			802,20
	3	792,95	793,60	0,7	793,00			793,00
	4	144,23	144,46		144,44			144,44



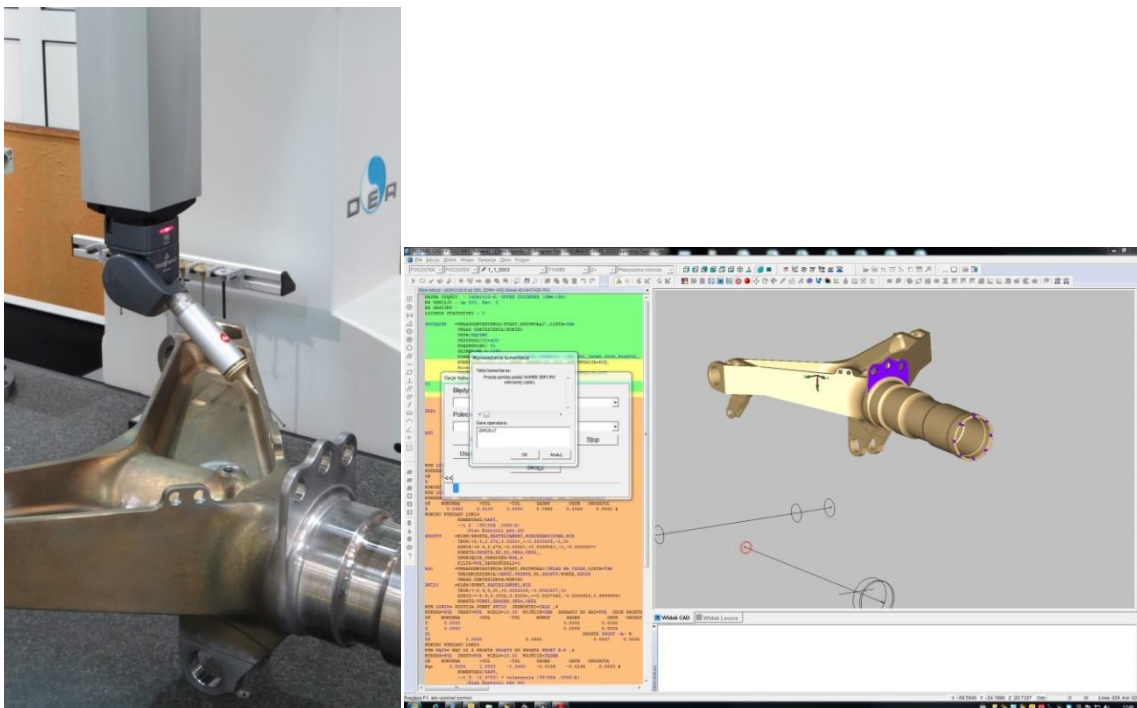
#### 4 ANALIZA WYNIKÓW

Analizując otrzymane wyniki można zauważyć że elementy ulegają skrzywieniu w płaszczyźnie wymiaru 3. Po zadaniu siły nacisku deformacja ulega zmniejszeniu już po pierwszym prostowaniu. Ale zdarza się również że po wyprostowaniu w jednej płaszczyźnie następuje deformacja w innej.

Nie należy zapominać o zachowaniu pozostałych tolerancji kształtu. Prostowane elementy cienkościennie łatwo ulegają deformacjom w innych płaszczyznach. Nieodpowiednie zamocowanie przedmiotu może łatwo spowodować ugięcie, które nie będzie możliwe do usunięcia. Z uwagi na koszty półfabrykatu i nakładu robocizny spowodowałyby to duże straty dla zakładu produkcyjnego. Trzeba podczas wszystkich etapów prostowania nie zapominać o groźbie przecięcia elementu w przeciwną stronę niż był skrzywiony.

Podjęto próby pomiaru innymi metodami:

- Na maszynie współrzędnościowej głowicą pomiarową (pokazano na rysunku 4)



Rys. 4. Pomiary na maszynie współrzędnościowej

- Na maszynie współrzędnościowej skanerem laserowym (pokazano na rysunku 5)



Rys. 5. Skanowanie laserowe na maszynie współrzędnościowej

- Skanerem optycznym światła białego (pokazano na rysunku 6)



Rys. 6. Pomiary skanerem optycznym światła białego

## WNIOSKI

Wszystkie metody dają zadowalające rezultaty jeśli chodzi o niepewność pomiaru czy dokładności pomiarowe. Niestety problemy dotyczące pracochłonności oraz czasochłonności pozostają. Wydaje się, że pomiary metodami skanowania optycznego przynoszą najbardziej zadowalające rezultaty. W przeciwieństwie do maszyn współrzędnościowych możliwe jest przemieszczanie systemu optycznego co jest istotne w przypadku braku możliwości transportu przedmiotu. Systemy oparte na metodach bezstykowych są bardziej uniwersalne niż współrzędnościowe maszyny pomiarowe, mają szerokie spektrum zastosowań. Zamodelowane na etapie konstruowania elementy mogą służyć jako model do porównywania z zebraną metodą bezstykową mapą punktów. Proces może dotyczyć zarówno gotowego wyrobu jak również może być wykorzystany wcześniej przy pomiarach międzyoperacyjnych.

### Streszczenie

*Dokładność i jakość wykonania elementów podwozia lotniczego ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ludzi podróżujących tym środkiem transportu. Szczególnie należy zwrócić uwagę na problemy z jakimi borykają się konstruktorzy i technolodzy podwozi związanymi z wymaganiami dotyczącymi zapewnieniu gwarantowanego poziomu niezawodności poszczególnych elementów. Oczywiście należy przy tym pamiętać o ergonomiczności i ekonomiczności procesu produkcyjnego. Obecnie najpopularniejsze z uwagi na niewątpliwe zalety jest rozwiązanie podwozia wielośladowe (trójkołowe) z przednim punktem podparcia. Zasadnicze obciążenie w tym podwoziu przejmują dwa główne koła umieszczone za środkiem ciężkości samolotu. Jego główne elementy tzw. STRUCTURAL POST mają szczególne zadania jeśli chodzi o bezpieczeństwo przewożonych ludzi. Stąd wysokie wymagania dotyczące jakości procesu produkcyjnego a w nim szczególnie newralgicznych jego operacji związanymi z obróbką cieplną oraz prostowaniem przygotowującym do dalszej obróbki wykańczającej. W artykule zwrócono uwagę na towarzyszące procesowi bezpośredniego wytwarzania pomiaru stanowiskowe, na podstawie których podejmowane są decyzje dotyczące kolejnych operacji.*

## The geometrical analysis of the mechanical compensation of the temperature deformations of the elements of landing gear of the Stuctural Post type

### Abstract

*The accuracy and quality of the chassis components of aircraft has a direct impact on the safety of people traveling in this means of transport. Especially pay attention to the problems with faced by engineers and technologists chassis associated with the requirements for ensuring a guaranteed level of reliability of the individual elements. Currently, the most popular due to the undoubted advantages has chassis tricycle with the*

*front fulcrum. The principal load the chassis takes over the two main wheels positioned behind the center of gravity of the airplane. The main elements of the so-called POST STRUCTURAL, have the specific tasks when it comes to the safety of the people. Hence the high quality requirements of the production process associated with the heat treatment and straightening to the further finishing. The article focuses on accompanying in the manufacturing process of direct determine the measurements of bench based on which subsequent operations are undertaken.*

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Budzik G.: Synteza i analiza metod projektowania i wytwarzania prototypów elementów o skomplikowanych kształtach na przykładzie wirników turbosprężarek. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007
2. Filipowski R.: Wspomaganie komputerowe przy pomiarze krzywych wypukłych na współrzędnościowej maszynie pomiarowej. Mechanik nr 8-9/1993, s. 287
3. Grzelka M. , Gapiński B., Marciniak L., Wieczorowski M., Maliński K., Olszewska I.: Pomiary cech geometrycznych przedmiotów obrotowo – symetrycznych. Miesięcznik Naukowo-Techniczny, Pomiary Automatyka Kontrola ISSN 0032-4140 VOL. 56, 1-2010 s. 35-37
4. Niepublikowane materiały źródłowe firmy Goodrich Aerospace Poland Sp. z o.o.
5. Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
6. Sładek Jerzy: Dokładność pomiarów współrzędnościowych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011
7. Starczak M., Płowucha W., Jakubiec W.: Pomiary powierzchni krzywoliniowych. Zeszyty naukowe PŁ Filii w Bielsku Białej Nr 44 (1998), s. 199
8. Wieczorowski M., Gruszka J.: Wykorzystanie technik optycznych do kontroli produkcji tulei cylindrowych. Miesięcznik Naukowo-Techniczny, Pomiary Automatyka Kontrola ISSN 0032-4140 VOL. 56, 1-2010, s. 38-39