Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA ROCZNA
Projektu Kluczowego
12-13 Grudnia 2011

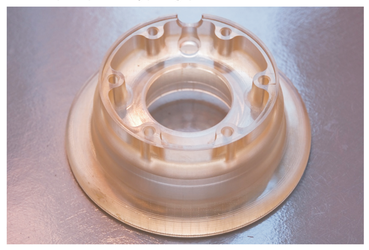
ZB 7

Plastyczne kształtowanie stopów magnezu (kucie precyzyjne, tłoczenie, wyciskanie, itd.)
Plastic forming of magnesium alloys (precision forging, stamping, extrusion etc.)

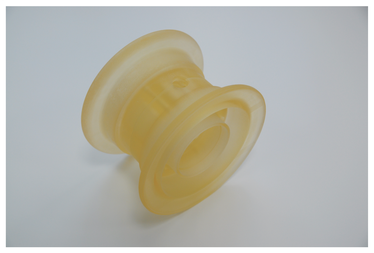
Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Instytut Lotnictwa w Warszawie

Wyniki badań
Results

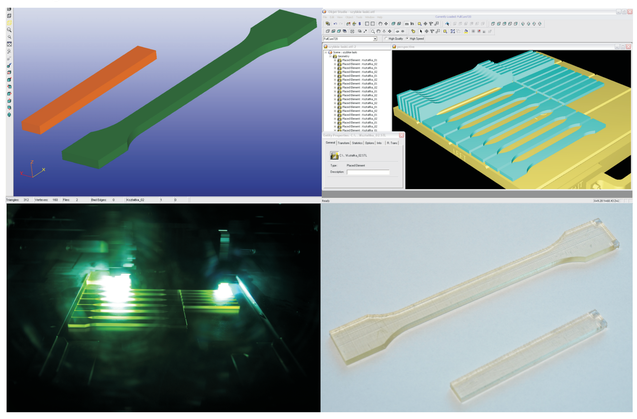
Badania wytrzymałościowe żywic SL5170 i FullCure720 wykorzystanych do wykonania modeli piasty koła samolotu w procesach szybkiego prototypowania SLA i JS.
Strength tests SL5170 and FullCure720 resin used to implement models aircraft wheel hub in the rapid prototyping processes of SLA and JS.



Rys. 1. Model SLA
Fig. 1. SLA model



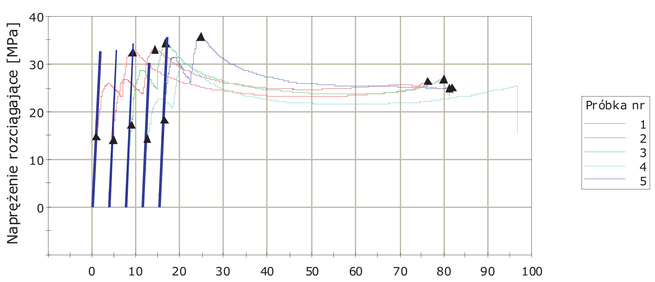
Rys. 2. Model JS
Fig. 2. JS model



Rys. 3. Opracowanie i wykonanie znormalizowanych modeli testowych - SLA i JS
Fig. 3. Development and implementation of standardized test models - SLA and JS

	obciążenie przy Maximum Load [N]	Naprężenie przy Max. sile [MPa]	Odkształcenie przy max sile [%]	obciążenie przy zerwaniu [N]	Naprężenie rozciągające przy zerwaniu [MPa]	Odkształcenie przy rozciąganiu [%]	Moduł (E-modulus) [MPa]
1	1 290,86	32,61	9,28	1 047,95	26,47	76,48	2 013,71
2	1 296,59	33,09	10,46	973,47	24,84	77,33	1 995,00
3	1 344,21	34,27	9,21	1 060,88	27,04	72,46	2 013,71
4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1 995,00
5	1 404,88	35,65	9,45	988,65	25,09	66,72	1 997,88
Współczynnik zmienności	3,96362	4,00460	6,03806	4,23778	4,12433	6,61134	0,48894
Maksimum	1 404,88	35,65	10,46	1 060,88	27,04	77,33	2 013,71
Średnia	1 334,13	33,90	9,60	1 017,74	25,86	73,24	2 003,06
Mediana	1 320,40	33,68	9,37	1 018,30	25,78	74,47	1 997,88
Minimum	1 290,86	32,61	9,21	973,47	24,84	66,72	1 995,00
Zakres	114,03	3,04	1,24	87,42	2,20	10,61	18,71
Odchylenie standardowe	52,88003	1,35771	0,57967	43,12945	1,06664	4,84246	9,79370
Średnia + 1 odchyl. stand.	1 387,01	35,26	10,18	1 060,87	26,93	78,09	2 012,85
Średnia - 1 odchyl. stand.	1 281,25	32,55	9,02	974,61	24,80	68,40	1 993,27

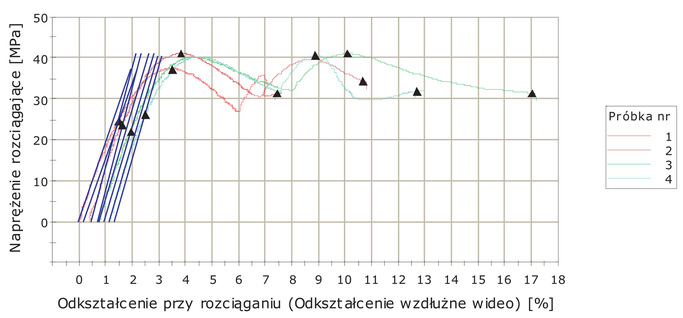
Próbki 1 do 5



Rys. 4. Wyniki badań dla modeli JS - HQ – High Quality, próbka w układzie poziomym
Fig. 4. The results for models JS - HQ - High Quality, the sample in the horizontal

	obciążenie przy Maximum Load [N]	Naprężenie przy Max. sile [MPa]	Odkształcenie przy max sile [%]	obciążenie przy zerwaniu [N]	Naprężenie rozciągające przy zerwaniu [MPa]	Odkształcenie przy rozciąganiu [%]	Moduł (E-modulus) [MPa]
1	1 551,24	37,35	3,51	1 307,49	31,48	7,47	1 890,94
2	1 710,76	41,11	3,45	1 432,62	34,43	10,28	2 475,72
3	1 707,07	41,01	9,30	1 307,45	31,41	16,27	2 168,95
4	1 685,99	40,60	7,74	1 327,22	31,96	11,58	2 259,84
Współczynnik zmienności	4,55647	4,47319	49,69151	4,46590	4,41551	32,18473	11,01774
Maksimum	1 710,76	41,11	9,30	1 432,62	34,43	16,27	2 475,72
Średnia	1 663,76	40,02	6,00	1 343,69	32,32	11,40	2 198,86
Mediana	1 696,53	40,80	5,63	1 317,36	31,72	10,93	2 214,39
Minimum	1 551,24	37,35	3,45	1 307,45	31,41	7,47	1 890,94
Zakres	159,53	3,76	5,85	125,17	3,02	8,79	584,78
Odchylenie standardowe	75,80898	1,79003	2,98183	60,00810	1,42705	3,66912	242,26495
Średnia + 1 odchyl. stand.	1 739,57	41,81	8,98	1 403,70	33,75	15,07	2 441,13
Średnia - 1 odchyl. stand.	1 587,96	38,23	3,02	1 283,69	30,89	7,73	1 956,60

Próbki 1 do 4



Rys. 5. Wyniki badań dla modeli JS - HQ – High Quality, próbka w układzie pionowym
Fig. 5. The results for models JS - HQ - High Quality, the sample in the vertical

Wyniki badań
Results

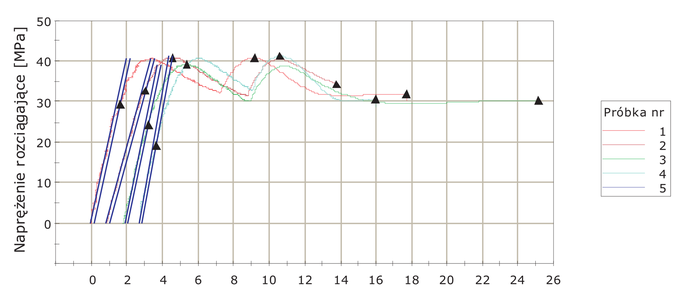
	obciążenie przy Maximum Load [N]	Naprężenie przy Max. sile [MPa]	Odkształcenie przy max sile [%]	obciążenie przy zerwaniu [N]	Naprężenie rozciągające przy zerwaniu [MPa]	Odkształcenie przy rozciąganiu [%]	Moduł (E-modulus) [MPa]
1	1 142,46	29,26	9,25	977,07	25,02	77,49	863,98
2	852,10	21,98	8,41	852,10	21,98	8,41	1 763,60
3	985,75	25,44	10,03	911,43	23,52	72,61	904,00
4	1 062,40	27,67	9,60	981,81	25,57	72,76	1 889,43
5	1 249,29	31,86	9,96	986,63	25,16	69,87	1 658,07
Współczynnik zmienności	14,27893	13,79332	6,96355	6,24163	6,13639	48,30867	34,78925
Maksimum	1 249,29	31,86	10,03	986,63	25,57	77,49	1 889,43
Średnia	1 058,40	27,24	9,45	941,81	24,25	60,23	1 415,82
Mediana	1 062,40	27,67	9,60	977,07	25,02	72,61	1 658,07
Minimum	852,10	21,98	8,41	852,10	21,98	8,41	863,98
Zakres	397,19	9,88	1,62	134,53	3,59	69,08	1 025,46
Odchylenie standardowe	151,12836	3,75753	0,65812	58,78416	1,48817	29,09588	492,55208
Średnia + 1 odchyl. stand.	1 209,53	31,00	10,11	1 000,59	25,74	89,32	1 908,37
Średnia - 1 odchyl. stand.	907,27	23,48	8,79	883,02	22,76	31,13	923,26

Próbki 1 do 5

Rys. 6. Wyniki badań dla modeli JS - HS – High Speed, próbka w układzie poziomym
Fig. 6. The results for models JS - HS - High Speed, the sample in the horizontal

	obciążenie przy Maximum Load [N]	Naprężenie przy Max. sile [MPa]	Odkształcenie przy max sile [%]	obciążenie przy zerwaniu [N]	Naprężenie rozciągające przy zerwaniu [MPa]	Odkształcenie przy rozciąganiu [%]	Moduł (E-modulus) [MPa]
1	1 623,90	40,68	9,15	1 268,58	31,78	17,72	1 979,97
2	1 627,77	40,86	3,71	1 367,30	34,32	12,91	1 634,44
3	1 567,54	39,19	3,58	1 208,92	30,22	23,35	2 155,38
4	1 652,31	41,31	7,92	1 223,73	30,59	13,30	2 440,54
X 5	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Współczynnik zmienności	2,21523	2,26847	47,13007	5,63758	5,83253	28,93398	16,43003
Maksimum	1 652,31	41,31	9,15	1 367,30	34,32	23,35	2 440,54
Średnia	1 617,88	40,51	6,09	1 267,13	31,73	16,82	2 052,58
Mediana	1 625,84	40,77	5,81	1 246,15	31,19	15,51	2 067,68
Minimum	1 567,54	39,19	3,58	1 208,92	30,22	12,91	1 634,44
Zakres	84,77	2,12	5,58	158,39	4,10	10,43	806,10
Odchylenie standardowe	35,83973	0,91894	2,87024	71,43552	1,85061	4,86653	337,23982
Średnia + 1 odchyl. stand.	1 653,72	41,43	8,96	1 338,57	33,58	21,69	2 389,82
Średnia - 1 odchyl. stand.	1 582,04	39,59	3,22	1 195,70	29,88	11,95	1 715,34

Próbki 1 do 5



Rys. 7. Wyniki badań dla modeli JS - HS – High Speed, próbka w układzie pionowym
Fig.7. The results for models JS - HS - High Speed, the sample in the vertical

	obciążenie przy Maximum Load [N]	Naprężenie przy Max. sile [MPa]	Odkształcenie przy max sile [%]	obciążenie przy zerwaniu [N]	Naprężenie rozciągające przy zerwaniu [MPa]	Odkształcenie przy rozciąganiu [%]	Moduł (E-modulus) [MPa]
1	2 109,09	52,73	3,81	1 694,23	42,36	8,89	2 640,27
2	2 019,97	42,34	3,07	2 014,31	42,22	3,24	2 948,05
3	2 077,95	44,51	3,35	1 454,74	31,16	13,47	2 756,10
4	2 100,30	47,95	3,47	1 524,88	34,81	31,12	2 533,75
5	2 082,78	52,07	3,44	1 471,23	36,78	17,09	2 709,94
Współczynnik zmienności	1,67657	9,51152	7,78528	14,33132	12,92875	71,20224	5,65370
Maksimum	2 109,09	52,73	3,81	2 014,31	42,36	31,12	2 948,05
Średnia	2 078,02	47,92	3,43	1 631,88	37,47	14,76	2 717,62
Mediana	2 082,78	47,95	3,44	1 524,88	36,78	13,47	2 709,94
Minimum	2 019,97	42,34	3,07	1 454,74	31,16	3,24	2 533,75
Zakres	89,13	10,38	0,74	559,57	11,20	27,88	414,30
Odchylenie standardowe	34,83955	4,55784	0,26686	233,86931	4,84393	10,50991	153,64598
Średnia + 1 odchyl. stand.	2 112,86	52,48	3,69	1 865,74	42,31	25,27	2 871,27
Średnia - 1 odchyl. stand.	2 043,18	43,36	3,16	1 398,01	32,62	4,25	2 563,97

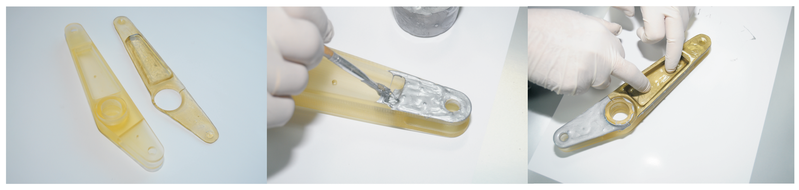
Rys. 8. Wyniki badań dla modeli SLA
Fig.8. The results for SLA models

Parametr	ASTM	Jednostka	Wartość dla FullCure 720	Wartość dla SL5170
Wytrzymałość na rozciąganie	D-638-03	MPa	60.3	59 - 60
Współczynnik sprężystości	D-638-04	MPa	2870	3737 - 4158
Wydłużenie po zerwaniu	D-638-05	%	20	8
Wytrzymałość na zginanie	D-790-03	MPa	75.8	107 - 108
Współczynnik zgięcia	D-790-04	MPa	1718	2920 - 3006
Udarność wg testu Izoda	D-256-06	J/m	23.6	27 - 37
Temperatura ugięcia pod obciążeniem @0.45 MPa	D-648-06	°C	48.4	55
Temperatura ugięcia pod obciążeniem @1.82 MPa	D-648-07	°C	44.4	49
Gęstość w stanie stałym		g/cm³	1.189	1,22

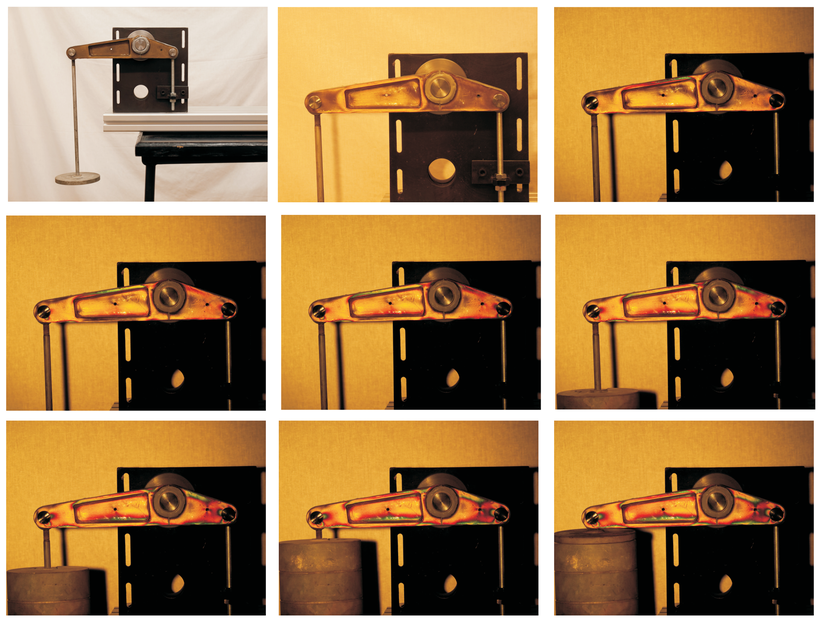
Rys. 9. Parametry żywic - dane producenta
Fig.9. The parameters of resins - data from the manufacturer

Wyniki badań
Results

Analiza rozkładu naprężeń w modelu JS dźwigni układu sterowania śmigłowca - badania elastooptyczne z wykorzystaniem światła odbitego.
Analysis of stress distribution in the lever model of helicopter control system - photoelastic stud using reflected light



Rys. 10.Wykonanie powłok optycznie czynnych na powierzchni dźwigni
Fig. 10. Performance of optically active coatings on the surface of the lever



Rys. 11. Badania elastooptyczne z wykorzystaniem światła odbitego - obciążenie: 0.7; 6; 9; 11; 13; 15; 17; 19 kg
Fig. 11. Photoelastic studies using reflected light - load: 0.7; 6; 9; 11; 13; 15; 17; 19 kg

Wnioski
Conclusions

1. Próby rozciągania modeli z fotoaktywnych żywic polimerowych wykazują obniżone własności materiałowe w stosunku do deklarowanych przez producenta średnio o 30%.
Tensile testing of models of photoactive polymer resins exhibit reduced material properties in relation to the manufacturer data by an average of 30%.

2. Modele JS wykonane w trybie wysokiej jakości posiadają znacznie wyższe wartości podstawowych parametrów wytrzymałościowych od modeli realizowanych w trybie wysokiej prędkości.
JS models made in high quality mode has much higher values of basic parameters of the strength of the models implemented in high speed mode.

3. Modele JS ustawione prostopadle względem modułu drukującego wykazują lepsze własności od modeli ustawionych równolegle.
JS Models perpendicular relative to the print module exhibit better properties than models arranged in parallel.

4. Analiza rozkładu naprężeń w dźwigni układu sterowania śmigłowca wykazuje koncentrację naprężeń wzdłuż ramion bocznych dźwigni oraz w obszarach bezpośredniego kontaktu z elementami układu obciążenia – wokół otworów montażowych.
Analysis of stress distribution in the lever of the control helicopter has a stress concentration along the side arms of the lever and in areas of direct contact with the elements of the system load - around the mounting holes.

5. Naprężenia wraz ze wzrostem obciążenia osiągają pierwszy rząd izochrom.
Stress with increasing load reaches the first row of isochromatic.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

1. Bernaczek J., Śliwa R.E., Budzik G., Kudasik T., Kowalski W., “Development of models for the physical and numerical analysis of stress distribution in the aircraft wheel hub”, The International „Conference Supply on the wings“, 2 – 4 listopada Frankfurt / Main – Germany

Publikacje

1. Śliwa R.E., Budzik G., Bernaczek J., Dziubek T.: “The Rapid Prototyping of aircraft wheel hub model with the use of techniques JS, SLA, FDM”; Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.18, No.3 2011, p-p 439-443, Europen Science Society of Powertrain and Transport Publication, WARSAW 2011

Prace mgr, dr, hab.

Prace doktorskie

Tytuł: Techniki szybkiego prototypowania w procesie projektowania i wdrażania do produkcji elementów konstrukcji lotniczych
Autor: mgr inż. Jacek Bernaczek
Promotor: dr hab. inż. Romana Ewa Śliwa, Prof. PRz
Status: *w trakcie realizacji*

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO