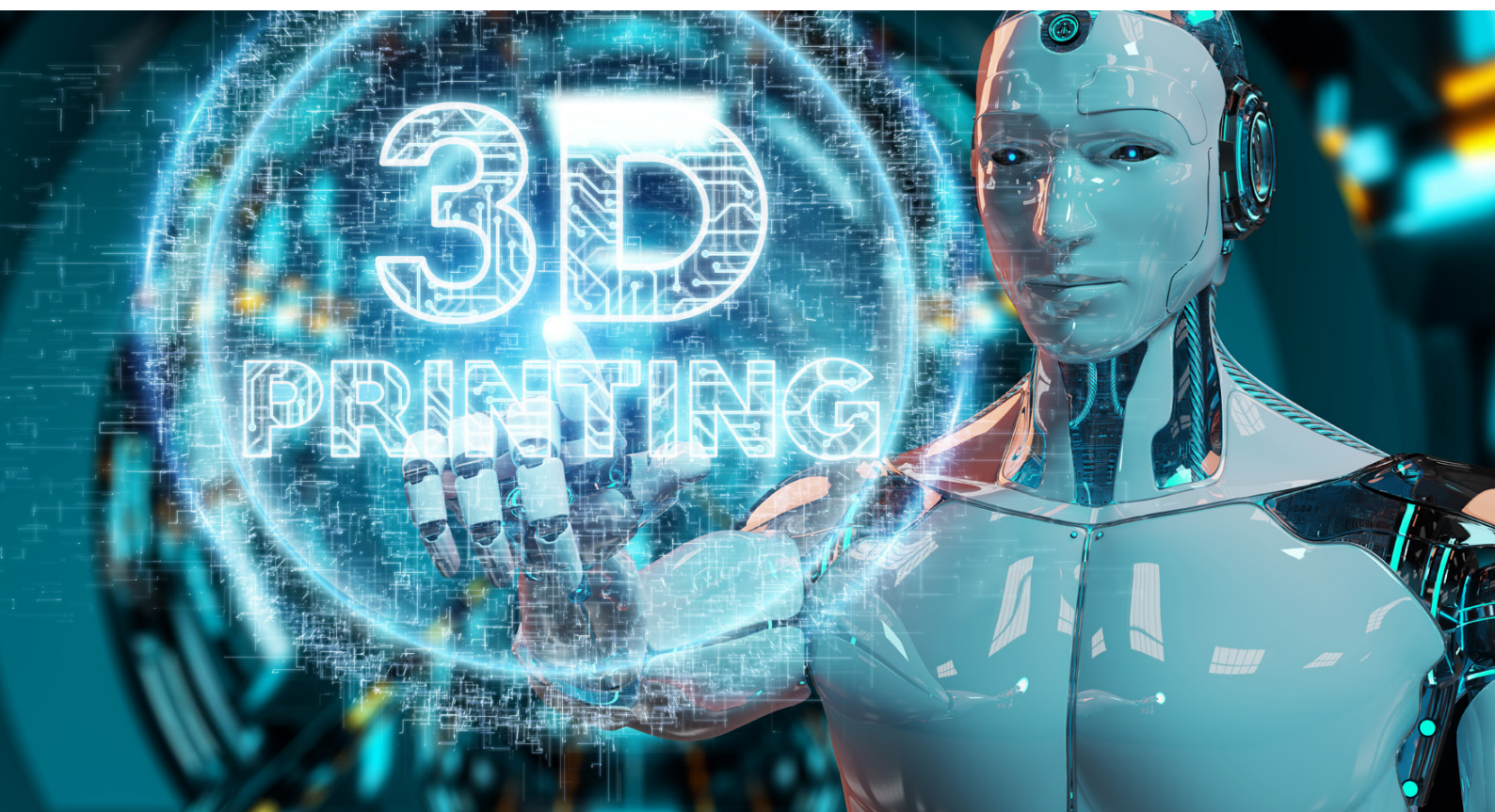




VIII Konferencja Naukowa

Szybkie Prototypowanie

DRUK
3D & 4D

problemy metrologiczne

17-19.09.2025

Kielce



**VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa
SZYBKIE PROTOTYPOWANIE**

**DRUK 3D & 4D
PROBLEMY
METROLOGICZNE**

MATERIAŁY KONFERENCYJNE

Kielce, 17-19 września 2025

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący

dr hab. inż. Tomasz KOZIOR, prof. PŚk

Zastępca przewodniczącego

dr hab. inż. Jerzy BOCHNIA, prof. PŚk

Sekretarze

mgr inż. Paweł SZCZYGIEŁ

dr inż. Wiktor SZOT

Członkowie

dr inż. Katarzyna PIOTROWSKA, dr inż. Joanna KOWALCZYK, dr inż. Jakub ŁUSZCZEK

mgr inż. Krystyna RADON-KOBUS, mgr inż. Mateusz RUDNIK,

mgr inż. Natalia KOWALSKA, PhD Muammel M. HANON

KOMITET NAUKOWY

Patronat honorowy

prof. dr hab. inż. Zbigniew KORUBA - Rektor Politechniki Świętokrzyskiej

dr hab. Jakub TAKOSOGLU, prof. PŚk - Dziekan Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn,
Politechnika Świętokrzyska

dr hab. inż. Krzysztof STĘPIEŃ, prof. PŚk - Kierownik Katedry Metrologii
i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn,
Politechnika Świętokrzyska

Przewodniczący

dr hab. inż. Sławomir BŁASIAK, prof. PŚk

Wiceprzewodniczący

prof. dr hab. inż. Grzegorz BUDZIK - Politechnika Rzeszowska

prof. dr hab. inż. Lucjan ŚNIEŻEK - Wojskowa Akademia Techniczna

dr hab. inż. Tomasz KOZIOR prof. Politechniki Świętokrzyskiej

Członkowie komitetu naukowego

prof. dr hab. inż. Zbigniew KORUBA - Politechnika Świętokrzyska
prof. dr hab. inż. Stanisław ADAMCZAK - Politechnika Świętokrzyska
prof. dr. dr. hab. Andrea EHRMANN - Bielefeld University of Applied Science, Niemcy
prof. dr hab. Grzegorz NIWIŃSKI - ASP w Warszawie
prof. dr hab. inż. Jana PETRU - VSB Technical University Ostrava, Czechy
doc. dr inż. Marek PAGÁČ - VSB Technical University Ostrava, Czechy
prof. dr hab. inż. Sebastian SCHOLZ
prof. dr hab. inż. Thomas MATHIA - Directeur de Recherche Emérite au C.N.R.S, Francja
prof. dr hab. inż. Mariusz OLEKSY - Politechnika Rzeszowska
prof. dr hab. inż. Józef GAWLIK - Politechnika Krakowska
prof. dr hab. Stanisław LEGUTKO - Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. Edward CHLEBUS - Politechnika Wrocławska
prof. dr hab. inż. Justyna PATALAS-MALISZEWSKA - Uniwersytet Zielonogórski
Assoc. Prof. Dr. Mohd Zaid Abu YAZID - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
prof. dr hab. Jarosław SĘP - Politechnika Rzeszowska
prof. dr hab. inż. Michał WIECZOROWSKI - Politechnika Poznańska
dr hab. inż. Jerzy BOCHNIA, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. inż. Jerzy JÓZWIK, prof. Politechniki Lubelskiej
prof. dr hab. inż. Grzegorz KRÓLCZYK, prof. Politechniki Opolskiej
dr hab. inż. Sławomir AUGUSTYN, prof. Wojskowej Akademii Technicznej
dr hab. inż. Izabela KRZYSZTOFIK, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. inż. Włodzimierz MAKIEŁA, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. Magda KOCHANOWSKA, prof. Akademii Sztuk Pięknych
dr hab. Rafał REIZER, prof. Uniwersytetu Rzeszowskiego
dr hab. inż. Mariusz CYGNAR, prof. PWSZ Nowy Sącz
dr hab. inż. Tomasz DZIUBEK, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Bartłomiej GAPIŃSKI, prof. Politechniki Poznańskiej
dr hab. inż. Damian GĄSIOREK, prof. Politechniki Śląskiej
dr hab. inż. Tomasz KURZYŃSKI, prof. Politechniki Wrocławskiej
dr hab. inż. Bogdan KOZIK, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Adam MARCINIEC, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Monika MADEJ, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. inż. Mariusz SOBOLAK, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Grzegorz WOJNAR, prof. Politechniki Śląskiej
dr hab. inż. Jacek REINER, prof. Politechniki Wrocławskiej
dr hab. inż. Radosław MARUDA, prof. Uniwersytetu Zielonogórskiego
dr hab. inż. Marcin BAJKOWSKI, prof. Politechniki Warszawskiej
dr hab. Robert PRZEKOP, prof. Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu
dr hab. inż. Piotr NIEŚLONY, prof. Politechniki Opolskiej
dr hab. inż. Krzysztof ŻABA, prof. Akademii Górniczo-Hutniczej

VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa
Szybkie Prototypowanie

Druk 3D & 4D problemy metrologiczne

dr hab. inż. Damian GOGOLEWSKI, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. inż. Paweł ZMARZŁY, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. inż. Tomasz BARTKOWIAK, prof. Politechniki Poznańskiej
dr inż. Jiri HAJNYS - VSB Technical University Ostrava, Czechy
dr inż. Janusz KLUCZYŃSKI – Wojskowa Akademia Techniczna
dr inż. Szymon TOFIL – Politechnika Świętokrzyska
dr inż. Jakub MESICEK - VSB Technical University Ostrava, Czechy
dr inż. Michał SKRZYNIARZ, Politechnika Świętokrzyska
dr inż. Mohd Shahneel SAHARUDIN - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
dr inż. Aleksandra MIROWSKA – Politechnika Gdańska
dr inż. Jadwiga PISULA - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Łukasz PRZESZŁOWSKI - Politechnika Rzeszowska
dr Nik Mohamad FARID - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
dr Sangeeth SURESH - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
dr inż. Przemysław SIEMIŃSKI - Politechnika Warszawska
dr inż. Paweł TUREK - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Małgorzata ZABORNIAK - Politechnika Rzeszowska
PhD Muammel M. HANON, Middle Technical University, Irak

Szanowni Państwo,

Odbývająca się w tym roku w Kielcach międzynarodowa konferencja „Szybkie Prototypowanie. Druk 3D i 4D – problemy metrologiczne” jest już ósmą edycją tego wydarzenia. W tym roku konferencja ta ma dla Politechniki Świętokrzyskiej szczególny wymiar, gdyż odbywa się w jubileuszowym roku obchodów 60-lecia powstania uczelni. Cieszymy się, że zechcieli Państwo wziąć udział w niniejszej konferencji oraz że zaszczytili nas swoją obecnością w tych dniach w Politechnice Świętokrzyskiej. Liczymy, że wspólnie spędzony czas pozwoli na poznanie naszej uczelni zarówno od strony badawczej, jak i dydaktycznej, a także na nawiązanie współpracy w wielu obszarach naukowych. Od czterech lat konferencja organizowana jest przez trzy uczelnie techniczne: Politechnikę Rzeszowską, Politechnikę Świętokrzyską oraz Wojskową Akademię Techniczną.

Technologie druku 3D, które są głównym tematem konferencji, w ostatnich latach znalazły bardzo wiele nowych zastosowań. Obecnie są szeroko stosowane nie tylko do wytwarzania pojedynczych prototypów, ale także w produkcji seryjnej. Ogromny rozwój w obszarze materiałów sprawił, że istnieje możliwość wykorzystania druku 3D w niemal wszystkich gałęziach przemysłu, ale także w zastosowaniach domowych. Na uwagę zasługuje również dynamiczny rozwój norm z obszaru technologii druku 3D, realizowany zarówno na poziomie międzynarodowym, jak i krajowym, m.in. poprzez Komitet Techniczny PKN – KT 207.

Metrologia, jako nauka o pomiarach, jest nierozzerwalnie związana z procesami wytwarzania. Jedynie wiarygodnie przeprowadzone pomiary pozwalają na ocenę jakości wykonanych modeli z użyciem druku 3D.

Tegoroczna konferencja, pod hasłem „Problemy metrologiczne”, obejmuje w szczególności zagadnienia pomiarowe dotyczące nowoczesnych metod badawczych, ich wiarygodności, możliwości pomiarowych oraz normalizacji. Liczymy, że połączenie obszarów badawczych, jakimi są druk 3D i metrologia, pozwoli na lepsze zrozumienie istotności prowadzonych badań oraz umożliwi rozwój naukowy uczestników konferencji.

Miejscem konferencji są Politechnika Świętokrzyska oraz Targi Kielce, które z powodzeniem łączą przedstawicieli przemysłu i nauki, a także środowiska społeczno-gospodarcze.

Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej od niemal 14 lat prowadzi badania dotyczące technologii druku 3D, a obecnie także druku 4D. Dzięki współpracy z wieloma ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą Wydział z powodzeniem zdobywa nowe, cenne doświadczenia w obszarze nowoczesnych przyrostowych technologii wytwarzania, zarówno w zakresie badań, jak i dostosowywania programów dydaktycznych. Doskonałym tego przykładem jest nowo powstałe w Politechnice Świętokrzyskiej Centrum Naukowo-Wdrożeniowe Inteligentnych Specjalizacji Regionu Świętokrzyskiego – CENWIS,

wspomagające środowisko przemysłowe w wysoko wyspecjalizowanych badaniach wdrożeniowych. Ośrodkiem łączącym technologie wytwarzania oraz metrologię jest także Świętokrzyski Kampus Laboratoryjny Głównego Urzędu Miar w Kielcach – ŚKLGUM, który powstał we współpracy z Politechniką Świętokrzyską.

Zarówno CENWIS, jak i ŚKLGUM świadczą usługi badawcze z wykorzystaniem najnowocześniejszej aparatury pomiarowej, z uwzględnieniem najnowszych norm z obszaru metrologii. Zachęcamy wszystkich uczestników do zapoznania się z ofertą obu ośrodków badawczych jeszcze podczas trwania konferencji oraz życzymy owocnej współpracy.

Kontynuacja konferencji w formie hybrydowej, zapoczątkowana w 2021 roku podczas IV edycji, okazała się doskonałym uzupełnieniem, pozwalającym na zwiększenie możliwości wymiany i transferu wiedzy, także wśród uczestników zagranicznych. Uzupełnieniem tej formuły jest dodatkowe tłumaczenie symultaniczne wszystkich sesji naukowych.

W imieniu organizatorów oraz Komitetu Naukowego konferencji serdecznie dziękujemy wszystkim uczestnikom za udział. Jednocześnie składamy serdeczne podziękowania Prezesowi Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, prof. Jerzemu Małachowskiemu, Prezesowi Głównego Urzędu Miar, prof. Jackowi Semaniakowi, Dyrektorowi Biura Polskiej Unii Metrologicznej, prof. Jerzemu Józwikowi, Marszałkowi Województwa Świętokrzyskiego, Pani Renacie Janik, oraz Pani Prezydent Miasta Kielce, Agacie Wojdzie, za objęcie patronatem VIII konferencji naukowej „Szybkie Prototypowanie. Druk 3D i 4D – problemy metrologiczne”. Wyrażamy również podziękowania dla wszystkich sponsorów i partnerów konferencji.

dr hab. inż. Tomasz Kozior, prof. PŚk
Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego

dr hab. inż. Sławomir Błasiak, prof. PŚk
Przewodniczący Komitetu Naukowego

Druk 3D & 4D - problemy metrologiczne

Dynamiczny rozwój, zwłaszcza w okresie ostatnich kilku lat, technologii przyrostowych nazywanych również technologiami druku 3D, pozwala włączyć te technologie w obszar współczesnych technik wytwarzania. Wśród czynników determinujących rozwój druku 3D wymienia się najczęściej:

- możliwość zaprojektowania i wykonania elementów o skomplikowanych kształtach, których nie można wykonać konwencjonalnymi technikami lub których wykonanie konwencjonalnymi technikami jest bardzo trudne;
- możliwość dostosowania produktu do indywidualnych potrzeb klienta (elastyczne systemy produkcyjne);
- możliwość zastąpienia kilku elementów jednym elementem;
- możliwość wytwarzania złożonych wewnętrznie struktur np. części o strukturze gąbczastej lub komórkowej.

W druku 3D oprócz geometrii kształtowana jest również struktura materiału wytwarzanych części. Kształtowanie modeli odbywa się „warstwa po warstwie”, co ma istotny wpływ na ich właściwości mechaniczne. Problem ten zaczęto dostrzegać w produkcji modeli użytkowych, zwłaszcza tam, gdzie ze względu na działające obciążenia zewnętrzne brana jest pod uwagę wytrzymałość materiału.

Warunkiem i punktem wyjściowym dla zastosowania wszystkich metod druku 3D jest utworzenie pełnego trójwymiarowego opisu geometrycznego wytwarzanego modelu. Może być to model bryłowy wykonany przy pomocy programu CAD i zapisany do formatu *.stl* (*ang. standard tessellation language*), który jest powszechnie stosowanym formatem wymiany danych w druku 3D. Format *.stl* modelu może być również otrzymany poprzez przetwarzanie danych powierzchniowych (transformacja modelu powierzchniowego) uzyskanych w wyniku zastosowania metod inżynierii odwrotnej takich jak np. skanowanie 3D lub zbieranie chmury punktów przy pomocy współrzędnościowej techniki pomiarowej.

Wymienione powyżej możliwości i metody wytwarzania elementów technologią druku 3D determinują stosowanie odpowiednich metod pomiarowych w zakresie długości i kąta, a więc geometrii otrzymywanych modeli, struktury geometrycznej ich powierzchni oraz właściwości mechanicznych. Wiąże się to z zastosowaniem odpowiednich przyrządów i aparatury pomiarowej oraz odpowiednich metod pomiarowych.

Literatura naukowo techniczna zawiera wiele prac poświęconych problemom metrologicznym w druku 3D dotyczących np.

- wpływu kierunków wydruku lub innych parametrów technologicznych na niepewność pomiarów geometrii wytwarzanych modeli i ich wytrzymałość (anizotropia właściwości mechanicznych i geometrii),
- wpływu parametrów technologicznych wydruku na strukturę geometryczną powierzchni wytwarzanych elementów,
- wpływu zapisu pliku *.stl* na jakość drukowanego modelu,
- szacowania niepewności pomiarów dla różnych metod i części drukowanych w technologii 3D,
- skanowania 3D oraz tomografii komputerowej jako metod tworzenia formatu *.stl*,
- metod oceny jakości wytwarzanych elementów itp.

VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa
Szybkie Prototypowanie
Druk 3D & 4D problemy metrologiczne

Katedra Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania w Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach również podejmuje prace naukowo-badawcze dotyczące opisanych powyżej problemów, a poprzez organizację VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Szybkie prototypowanie – druk 3D & 4D – problemy metrologiczne” przyczynia się także do upowszechnienia i wymiany informacji w środowisku inżynierów i pracowników naukowych zajmujących się metrologią i drukiem 3D.

dr hab. inż. Krzysztof Stępień, prof. PŚk – kierownik Katedry
dr hab. inż. Jerzy Bochnia, prof. PŚk
dr hab. inż. Tomasz Kozior, prof. PŚk

Spis treści

Jakub Aniulis, Grzegorz Dudzik, Krzysztof Abramski, Automated non-destructive monitoring of longitudinal filament properties for material extrusion 3D printing"	13
Rawabe Fatima Faidallah, Muammel M. Hanon, Nihal D. Salman, Advances in Fiber-Reinforced Polymer Composites for Additive Manufacturing and Sustainable Multi-Material Structures.....	14
Bartłomiej Sarzyński, Lucjan Śniezek, Krzysztof Grzelak, Janusz Kluczyński, Wytwarzanie przyrostowe techniką SLM stożkowych połączeń włączanych ze stali 42CrMo4 ze strefami laserowego wzmocnienia, Additive manufacturing of conical-interference joints from 42CrMo4 steel with laser hardened zones using the SLM technique	17
Dominik Malara, Tomasz Kozior, Aleksandra Bochenek, Michał Nawotka, Porównanie pomiaru struktury geometrycznej różnymi metodami dla modeli wytwarzanych w technologii MEX, Comparison of the measurement of geometrical surface structure by different methods for models manufactured using MEX technology	19
S. Suresh, T. Kozior, M.S. Saharudin, D. A. Hamid, Cross-Sectional Properties of Heat-Treated Ti6Al4V: A Comparison Between Subtractive and Additive Manufacturing	20
Katarzyna Jasik, Lucjan Śniezek, Janusz Kluczyński, Wpływ parametrów procesu na strukturę i właściwości mechaniczne elementów ze stali 17-4 PH wytwarzanych metodą MEX Influence of process parameters on structure and mechanical properties of 17-4 PH steel parts produced by the MEX method	21
Mateusz Rudnik, Wybrane właściwości mechaniczne konstrukcji bazującej na trójkącie Sierpińskiego, Selected Mechanical Properties of a Structure Based on the Sierpiński Triangle	22
Sławomir Luściński, Krzysztof Dubaj, Performance Evaluation of Robot Servicing Strategies for Robotic 3D Printer Farms Using Simulation	23
Janusz Kluczyński, Ireneusz Szachogłuchowicz, Jakub Łuszczek, Marta Lipińska, Janusz Mierzyński, Krzysztof Grzelak, Lucjan Śniezek, Marcin Wachowski, Technologia wytwarzania modułowych kół zębatach z wykorzystaniem utwardzanych laserowo połączeń kształtowo – wciskowych: wyniki badań mikrostrukturalnych, Manufacturing Technology of Modular Gears Using Form-Fitting Laser-Strengthened Connections: Microstructural Study Results.....	24
Kevin Moj, Grzegorz Robak, Analiza mechanizmów deformacji struktur komórkowych wytwarzanych metodą L-PBF, Deformation Mechanisms Analysis of Lattice Structures Fabricated via L-PBF Technology	26

Agnieszka Łagoda , <i>Ultradźwiękowa atomizacja materiałów odpadowych: studium przypadku stali MS1, Ultrasonic Atomization of Waste Materials: A Case Study on MS1 Steel</i>	28
Małgorzata Gontarz-Kulisiewicz, Grzegorz Budzik, Tomasz Dziubek, Bartłomiej Sobolewski , <i>Analiza dokładności wymiarowo-kształtowej wybranych metod addytywnych na podstawie prototypów badawczych, Analysis of the dimensional and shape accuracy of selected additive methods based on the developed analytical prototypes</i>	30
Mone Senz, Vanessa Tembrink, Bertina Bloch, Anne Kobza, Lilia Sabantina , <i>Design and Adaptive 3D-Manufacturing of a Modular Shoe Closure</i>	31
Tomasz Dziubek, Bartłomiej Sobolewski, Grzegorz Budzik, Łukasz Przeszłowski , <i>Zastosowanie procesów inżynierii odwrotnej w rekonstrukcji obiektów muzealnych, Application of reverse engineering processes in the reconstruction of museum objects</i>	32
Jadwiga Pisula, Paweł Turek, Grzegorz Budzik, Katarzyna Grzywacz-Danielewicz, Krzysztof Kuś, Michał Bałuszyński , <i>Wpływ materiału i technologii druku 3D na dokładność odwzorowania anatomicznego kości żuchwy, Influence of material and 3D printing technology on the accuracy of anatomical reproduction of the mandibular bone</i>	34
Małgorzata Zaborniak, Tomasz Dziubek, Bartłomiej Sobolewski, Krzysztof Kuś , <i>Analiza dokładności wymiarowo-kształtowej kół zębatach wytworzonych w technologii MJF, Dimensional and shape analysis of gears made using MJF technology</i>	36
Tomasz Kozior , <i>Standaryzacja w technologiach druku 3D, Standardization in 3D printing technologies</i>	38
Mariusz Dębski, Grzegorz Budzik, Łukasz Przeszłowski, Krzysztof Śniezek , <i>Wpływ orientacji druku 3D na właściwości mechaniczne połączeń zatraskowych wytwarzanych przyrostowo, The influence of 3D printing orientation on the mechanical properties of additively manufactured snap joints</i>	39
Aleksandra Bochenek, Tomasz Kozior, Dominik Malara, Jerzy Bochnia, Michał Nawotka , <i>Problemy metrologiczne skanowania 3D dla próbek wykonanych w wybranych technologiach druku 3D, Metrological Problems of 3D Scanning for Samples Made with Selected 3D Printing Technologies</i>	40
Agnieszka Klimek, Lucjan Śniezek, Janusz Kluczyński , <i>Wykorzystanie konwolucyjnej sieci neuronowej do oceny przebiegu zużycia zmęczeniowego powierzchni kół zębatach, Application of a convolutional neural network to assess the fatigue wear of the gear tooth surfaces</i>	41
Andrea Ehrmann , <i>3D printed scaffolds for tissue engineering</i>	42

Grzegorz Budzik, Łukasz Przeszłowski, Mariusz Dębski, Projektowanie konstrukcji cienkościennych wytwarzanych przyrostowo, Design of thin-walled structures manufactured using additive technology	43
Anna Bujarska, Paweł Zmarzły, Tomasz Kozior, Analiza porównawcza pomiarów odchyłki walcowości elementów wytwarzanych technologią FDM, Comparative Analysis of Cylindricity Deviation Measurements of Components Manufactured Using FDM Technology	44
Paweł Szczygiał, Tomasz Kozior, Analiza technik łączenia PLA-Cu z TPU i silikonem w procesach druku 3D i odlewania, Analysis of PLA-Cu Bonding Techniques with TPU and Silicone in 3D Printing and Casting Processes	45
Natalia Kowalska, Sławomir Błasiak, Michał Skrzyniarz, Badanie procesu skrawania na podstawie odchyłek wymiarowo-kształtowych próbek PLA wytwarzanych technologią MEX, Investigation of the milling process based on dimensional and shape deviations of PLA samples manufactured by MEX technology	46
Paweł Kasza, Ocena możliwości zastosowania obróbki ubytkowej jako metody postprocessingu elementów cienkościennych wykonanych wybraną technologią przyrostową	47
Urszula Kmiecik-Sołtysiak, Paweł Szczygiał, Dagmara Michta, Katarzyna Gałczyńska, Analiza topografii powierzchni, odchyłek wymiarowo-geometrycznych oraz właściwości biobójczych wydruków 3D z materiałów Plactive i CPE Antibac, Analysis of surface topography, dimensional accuracy and biocidal properties of 3D prints from Plactive and CPE Antibac.....	49
Wiktor Szot, Relaksacja naprężeń wybranych polimerów wytwarzanych drukiem 3D, Stress relaxation of selected polymers manufactured by 3D printing.....	50
Jerzy Bochnia, Tomasz Kozior, Ocena właściwości reologicznych modeli śmigieł dwułopatkowych wykonanych technologią druku 3D	51
Krystyna Radoń-Kobus, Paweł Szczygiał, Właściwości tribologiczne kompozytowego filamentu z dodatkiem stali, Tribological properties of composite filament with steel addition	52
Łukasz Przeszłowski, Dawid Gierula, Grzegorz Budzik, Łukasz Kochmański, Wykonanie stanowiska badawczego oraz badania druku 3D w procesie MEX stopami aluminium, Construction of a test stand and investigation of 3D printing using the MEX proces with aluminium alloys	53
Mateusz Musiałek, Zastosowanie wyników badań cienkościennych elementów drukowanych w technologii 3D w wytwarzaniu nowoczesnych elementów.....	54

Ireneusz Musiałek , <i>Implementacja metod inżynierii odwrótej w produkcji części</i>	55
Filip Kwidziński, Tomasz Żuradzki , <i>System monitorowania filamentu – studium przypadku, Filament tracking system – case study</i>	56
Adam Pyczek , <i>ReFab - od odpadu do filamentu, ReFab - from waste to filament</i>	57
Maria Gołdasz, Piotr Zając, Jakub Dryła, Jakub Bryła, Adam Martowicz , <i>Studium zastosowania narzędzi badawczych w sporcie: inteligentna wkładka wykonana w technologii druku 3D i badania materiałowe deski snowboardowej, Case study on the application of research tools in sport: a smart insole produced by 3D printing technology and material characterization of a snowboard</i>	59
W. Chatys, V. Reiskarts, K. Nechval , <i>High-precision 3D printing and calibration of FDM printer</i>	61
Łukasz Woźniak, Krzysztof Żaba, Maciej Balcerzak, Łukasz Kuczek, Ilona Różycka , <i>Wpływ parametrów procesu PBF-LB/M i obróbki postprocesowej na właściwości i mikrostrukturę stali maraging M300, The influence of PBF-LB/M and post processing parameters on the properties and microstructure of M300 maraging steel</i>	62
Eliza Romańczuk-Ruszk, Paulina Tomczyk, Bogna Sztorch, Robert E. Przekop , <i>Wybrane właściwości scaffoldów drukowanych 3D o różnych wzorach wypełnienia, Selected Properties of 3D-Printed Scaffolds with Different Infill Patterns</i>	63
Jiri Hajnys, Quoc-Phu Ma , <i>Possibilities of Supportless Metal Additive Manufacturing</i> ..	64
Joanna Kowalczyk, Katarzyna Piotrowska, Tomasz Kozior , <i>Wpływ powłoki Ti na właściwości materiału MED610 do zastosowań medycznych</i>	66
Dr Mohd Shahneel Saharudin , <i>Numerical and Environmental Assessment of 3D-Printed Liners for Type IV Composite Pressure Vessels</i>	67

Automated non-destructive monitoring of longitudinal filament properties for material extrusion 3D printing

Jakub Aniulis¹, Grzegorz Dudzik¹, Krzysztof Abramski¹

¹ Department of Field Theory, Electronic Circuits and Optoelectronics, Faculty of Electronics, Photonics and Microsystems, Wrocław University of Science and Technology, Wyb. Wyspińskiego 27, Wrocław 50-370, Poland; jakub.aniulis@pwr.edu.pl

Keywords: filament quality monitor, diameter characteristic, structural and thermal properties, digital twin, material extrusion filament manufacturing.

One of the factors that leads to inconsistencies and defects in parts produced by material extrusion 3D printing is the uncompensated change in material properties. To address this, a real-time filament quality monitor (R-FQM) can be used to continuously evaluate the filament along its length. By measuring parameters such as tube capacitance and diameter in multiple axes with different sensors, R-FQM can detect critical factors such as moisture content, roundness, internal and external defects, compound composition, electrical permeability, material homogeneity, Poisson's ratio and crystallinity. Collected data is encoded to specific filament segments, allowing precise tracking. R-FQM has a number of applications, including classifying filament materials, monitoring filament manufacturing quality, and creating digital twins of printed objects to improve the reliability and performance of 3D printing.

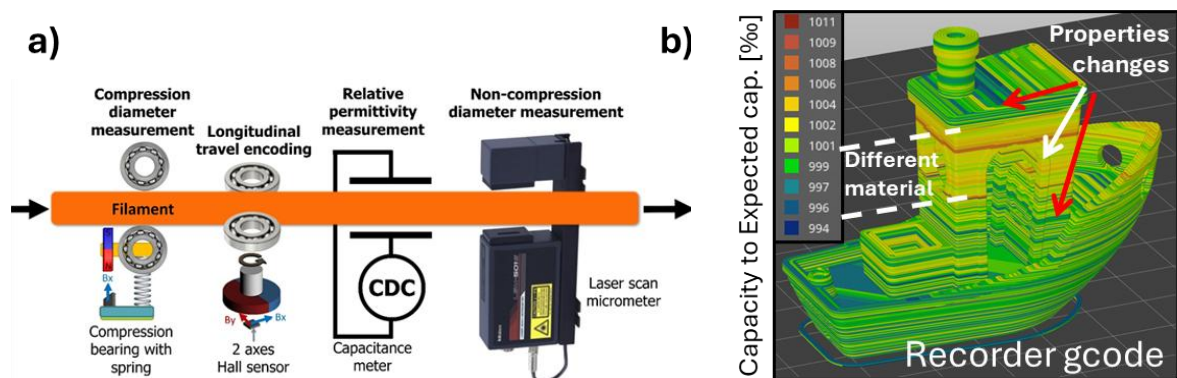


Figure 1. a) Real-time filament quality monitor (R-FQM) - simplified setup scheme, b) Recorded g-code of printed 3DBenchi model with R-FQM characteristics superimposed

Advances in Fiber-Reinforced Polymer Composites for Additive Manufacturing and Sustainable Multi-Material Structures

Rawabe Fatima Faidallah¹, Muammel M. Hanon², Nihal D. Salman²

¹ Mechanical Engineering Doctoral School, Szent István Campus, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő, Hungary; faidallah.rawabe.fatima.2@phd.uni-mate.hu

² Baquba Technical Institute, Middle Technical University (MTU), Baghdad, Iraq; muammel.m.hanon@mtu.edu.iq; nihal.d.salman@mtu.edu.iq

Keywords: bio-based reinforcements, reused polymer feedstock, mechanical characterization, layer-by-layer fabrication, hybrid material structures.

This study investigates the structural performance of thermoplastic composites reinforced with fibers and manufactured using Additive Manufacturing (AM), specifically employing the Material Extrusion (MEX) process. The research focuses on formulating and analyzing both unprocessed and recycled polymer-based filaments—specifically those composed of Polylactic Acid (PLA) and Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)—enhanced with carbon and plant-derived fibers, namely hemp and jute. The recycled filaments, derived from pre-consumer waste PLA (rPLA) and PETG, were blended with varying proportions of short hemp and jute fibers before being extruded into filament form and subsequently processed into test specimens using MEX-based 3D printing technology.

The mechanical behavior of these bio-composite materials was evaluated via standardized tensile testing protocols to determine how fiber type, fiber content, and the source of the base polymer (recycled versus virgin) influenced tensile performance. A comparative analysis was carried out between commercially available filaments—plain PLA, carbon fiber-reinforced PLA (CF-PLA), and PETG—and their corresponding recycled or natural fiber-reinforced alternatives. To broaden the scope, hybrid multi-material structures were fabricated in several arrangements, including homogeneous single-material types (PLA or PETG), dual-layer designs (e.g., PLA combined with CF-PLA and PETG with CF-PETG), and tri-layer gradient configurations (e.g., PLA/CF-PLA/PLA and PETG/CF-PETG/PETG), as shown in Figure 1. These configurations enabled examination of mechanical properties across transition interfaces and gradient zones.

To better understand fracture mechanisms and material bonding characteristics, optical microscopy was employed to observe the microstructural features of fractured specimens.

Among all tested materials, as tabulated in Table 1, CF-PETG achieved the highest tensile strength of 50.14 MPa, outperforming rPLA, neat PLA, and CF-PLA by 2%, 70%, and 6.7%, respectively. Recycled PLA incorporating 7 wt% hemp fibers showed improved tensile properties, reaching 38.8 MPa, which reflects a 29% enhancement over neat PLA and a 26% increase relative to recycled PLA without fiber reinforcement. Likewise, PETG reinforced with 7 wt% jute fibers recorded a tensile strength of 62.38 MPa, indicating gains of 12% compared to original PETG and 15% relative to its recycled version.

Although both CF-PLA and rPLA composites demonstrated strong mechanical responses in tension and compression, the performance of multi-material specimens—especially those featuring gradient transitions—was comparatively lower. This decline was primarily linked to poor interfacial bonding between the dissimilar material layers, which served as initiation points for mechanical failure under loading. Overall, the study highlights the critical need for optimizing both fiber reinforcement content and interlayer bonding quality to enhance the structural reliability of fiber-reinforced components produced through multi-material AM techniques. These advancements are essential for advancing sustainable, high-performance composite applications in additive manufacturing.

Table 1. Mechanical performance characteristics of neat, single-gradient, and multi-gradient materials

Materials	Maximum applied load (Max L) [N]	Elongation at Max L [mm]	Young's modulus [MPa]
100% PLA	1920 ±65.2	0.69 ±0.07	2768 ±96
100% PETG	1759 ±119.5	0.77 ±0.09	2185 ±105
25% PLA + 50% CF- PLA + 25% PLA	1926.2 ±102.6	0.71 ±0.04	3626 ±127
25% PETG + 50% CF- PETG + 25% PETG	1736 ±67.7	0.94 ±0.16	2138 ±208
100% CF-PLA	1919.8 ±76.1	0.64 ±0.15	3914 ±76
100% CF-PETG	1032 ±82.8	0.7 ±0.06	1318 ±84
25% PETG + 50% PLA+ 25% PETG	1705 ±52.9	0.88 ±0.17	2498 ±197

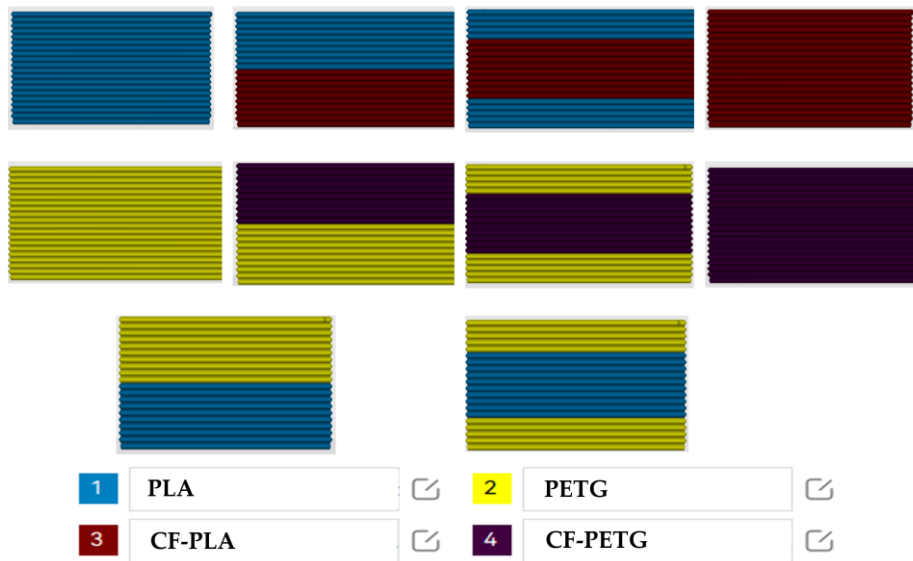


Figure 1. Diagram illustrating the functional layering patterns of different multi-material tensile samples, designed using Bambu Studio software

Wytwarzanie przyrostowe techniką SLM stożkowych połączeń wtlaczanych ze stali 42CrMo4 ze strefami laserowego wzmocnienia

Additive manufacturing of conical-interference joints from 42CrMo4 steel with laser hardened zones using the SLM technique

Bartłomiej Sarzyński¹, Lucjan Śniezek¹, Krzysztof Grzelak¹, Janusz Kluczyński¹

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn; e-mail: bartlomiej.sarzyński@wat.edu.pl, lucjan.sniezek@wat.edu.pl, krzysztof.grzelak@wat.edu.pl

Słowa kluczowe: techniki addytywne, LB-PBF, stal AISI 4140, hartowanie laserowe, mikrostruktura.

Keywords: additive techniques, LB-PBF, AISI 4140 steel, laser hardening, microstructure.

W pracy przedstawiono proces wytworzenia elementów modelowych stożkowego połączenia wtlaczanego ze stali 42CrMo4 z wykorzystaniem techniki selektywnego topienia laserowego (SLM). W pierwszym etapie dokonano doboru parametrów wytwarzania przyrostowego pod kątem minimalizacji porowatości, wykorzystując mikroskopię cyfrową oraz tomografię komputerową. Kolejno przeprowadzono objętościową obróbkę cieplną próbek badawczych oraz wykonano ścieżki laserowego wzmocnienia. Dokonano pomiarów mikrotwardości materiału rodzimego i wzmocnionego laserowo oraz przeprowadzono analizę mikrostruktury. Zmierzono wymiary stref wzmocnionych laserowo, co pozwoliło na opracowanie dokładnego modelu CAD. W celu oceny właściwości wytrzymałościowych materiału przeprowadzono statyczną próbę rozciągania. Dodatkowo, wykonano wstępną symulację realizacji połączenia przy użyciu metody elementów skończonych (MES). Wyniki zweryfikowano poprzez badania doświadczalne, realizując statyczną próbę skręcania połączenia. Dla celów porównawczych wykonano również próbki z materiału konwencjonalnego obrabianego metodą skrawania, które poddane zostaną identycznym badaniom wytrzymałościowym i analizie strukturalnej. Pozwoli to na ocenę efektywności technologii SLM względem tradycyjnych metod wytwarzania oraz wpływu ścieżek laserowego wzmocnienia na nośność połączenia.



Rysunek 1. Zdjęcie przedstawiające elementy stożkowego połączenia właczanego wytworzone techniką przyrostową SLM



Rysunek 2. Zdjęcie przedstawiające sposób realizacji stożkowego połączenia właczanego

Porównanie pomiaru struktury geometrycznej różnymi metodami dla modeli wytwarzanych w technologii MEX

Comparison of the measurement of geometrical surface structure by different methods for models manufactured using MEX technology

Dominik Malara^{1,2}, Tomasz Kozior^{1,2}, Aleksandra Bochenek², Michał Nawotka²

¹ Katedra Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska; dmalara@tu.kielce.pl; tkoziior@tu.kielce.pl;

² Zakład Technologii Cyfrowych, Laboratorium Informatyki Metrologicznej, Główny Urząd Miar; dominik.malara@gum.gov.pl; tomasz.kozior@gum.gov.pl; aleksandra.bochenek@gum.gov.pl; michal.nawotka@gum.gov.pl;

Słowa kluczowe: Metrologia, Struktura geometryczna powierzchni, druk 3D, MEX, FDM/FFF.

Keywords: Metrology, geometrical surface structure, 3D printing, MEX, FDM/FFF.

Popularyzacja metod druku 3D w wielu gałęziach przemysłu determinuje określenie ich struktury geometrycznej powierzchni. Rozwój metod pomiaru oraz coraz to nowsze materiały stosowane w druku 3D powodują potrzebę odpowiedniego ich doboru. Przedstawione badania dotyczą porównania trzech metod optycznych pomiaru struktury geometrycznej powierzchni: mikroskopii konfokalnej, mikroskopii zmiennooogniskowej nazywanej też mikroskopią różnicowania ogniskowego, a także interferometrii skaningowej koherentnej. Próbkę została wykonana w technologii MEX (z ang. Material Extrusion - wytłaczanie warstwowe materiału) z materiału elastycznego. Wyniki badań pokazują znaczne różnice w ilości punktów niezmiernych, a także analizowanych parametrów struktury geometrycznej powierzchni. Przeprowadzone badania pokazują problemy metrologiczne, a także mogą posłużyć jako wytyczne pomiarowe.

Cross-Sectional Properties of Heat-Treated Ti6Al4V: A Comparison Between Subtractive and Additive Manufacturing

S. Suresh¹, T. Koziar², M.S. Saharudin³, D. A. Hamid¹

¹ Universiti Kuala Lumpur – Malaysia Italy Design Institute, Kuala Lumpur, Malaysia

² Kielce University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Kielce, Poland

³ School of Engineering, Robert Gordon University, Aberdeen, UK

Keywords: Ti6Al4V, subtractive manufacturing, additive manufacturing, microstructure, porosity.

This study compares the cross-sectional characteristics of Ti6Al4V specimens fabricated through Subtractive Manufacturing (SM) and Selective Laser Melting Additive Manufacturing (AM) techniques. Both sets of specimens underwent heat treatments involving stress relieving (SR), hardening (HD), and aging (AG) in three different configurations. Wire EDM cutting, followed by polishing and chemical etching, prepared the cross-sections for microstructural characterization using optical and scanning electron microscopy. Responses measured include microhardness, microstructure, and porosity. Results show that AM specimens achieved comparable hardness and toughness to SM specimens after heat treatment. However, the porosity percentage in AM specimens was approximately 10 times higher than in SM specimens, despite the application of Hot Isostatic Pressing as post processing operation after the AM process. Both SM SR HD AG and AM SR HD AG configurations demonstrated the lowest porosity levels among their respective categories. The fine lamellar microstructure observed in these configurations indicates enhanced toughness, making them suitable for both load-bearing and frictional applications. Aging treatment notably brought the hardness values of AM and SM specimens closer, despite an initial difference of approximately 50 HV observed between the SR configuration and SR HD configuration. Overall, the findings emphasize that although AM Ti6Al4V specimens improve in hardness and microstructural consistency after heat treatment and HIP, the significantly higher internal porosity compared to SM specimens remains a critical drawback that limits their suitability or rather, sustainability for high-load and friction-intensive applications.

Wpływ parametrów procesu na strukturę i właściwości mechaniczne elementów ze stali 17-4 PH wytwarzanych metodą MEX

Influence of process parameters on structure and mechanical properties of 17-4 PH steel parts produced by the MEX method

Katarzyna Jasik¹, Lucjan Śniezek¹, Janusz Kluczyński¹

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, Warszawa, Polska; katarzyna.jasik@wat.edu.pl

Słowa kluczowe: wytwarzanie przyrostowe, kompozyty metalowo-polimerowe, MEX, porowatość.

Keywords: additive manufacturing, metal-polymer composites, MEX, porosity.

W pracy przedstawiono badania nad optymalizacją parametrów procesu dla technologii ekstruzji materiału (MEX) w kontekście wytwarzania przyrostowego elementów ze stali nierdzewnej 17-4 PH. MEX, znana z niskich kosztów oraz łatwości obsługi, ewoluowała dzięki rozwojowi filamentów kompozytowych zawierających proszki metali, co umożliwia produkcję w pełni metalowych części po odpowiedniej obróbce końcowej (płukania i spiekanie). Badania dotyczyły wpływu parametrów druku na gęstość, porowatość i właściwości mechaniczne wytworzonych elementów. Opracowano macierz parametrów, wykonano próbki testowe, które następnie poddano analizie mikroskopowej, pomiarom twardości oraz testom mechanicznym. Wstępne wyniki wskazują, że odpowiednia modyfikacja parametrów druku poprawia właściwości strukturalne komponentów. Przy dalszej optymalizacji technologia MEX może stanowić konkurencyjną alternatywę wobec droższych metod wytwarzania przyrostowego z metalu, szczególnie w zastosowaniach prototypowych i produkcji małoseryjnej.

Wybrane właściwości mechaniczne konstrukcji bazującej na trójkącie Sierpińskiego

Selected Mechanical Properties of a Structure Based on the Sierpiński Triangle

Mateusz Rudnik¹

¹ Politechnika Świętokrzyska; mrudnik@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: Trójkąt Sierpińskiego, Właściwości mechaniczne, Struktury fraktalne, Analiza numeryczna, Lekkość konstrukcji.

Keywords: Sierpiński Triangle, Mechanical Properties, Fractal Structures, Numerical Analysis, Structural Lightness.

W pracy przedstawiono analizę wybranych właściwości mechanicznych struktur bazujących na geometrii trójkąta Sierpińskiego. Do badań przygotowano cztery różne konstrukcje, które wydrukowano przy użyciu drukarki 3D FLSUN V400 z wykorzystaniem materiału PLA. Dla każdej z nich przeprowadzono symulacje numeryczne mające na celu ocenę zachowania mechanicznego pod obciążeniem. Analizie poddano m.in. sztywność i potencjalną lekkość konstrukcji. Oczekuje się, że struktury fraktalne oparte na trójkącie Sierpińskiego wykażą korzystny stosunek wytrzymałości do masy, co może znaleźć zastosowanie w lekkich i wytrzymałych komponentach inżynierskich.



Rysunek 1. Stopnie generowania struktury komórkowej trójkąta Sierpińskiego

Performance Evaluation of Robot Servicing Strategies for Robotic 3D Printer Farms Using Simulation

Sławomir Luściński¹, Krzysztof Dubaj¹

¹ Kielce University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Kielce, Poland; slawomir.luscinski@tu.kielce.pl

Keywords: robotic 3D printer farm, simulation modeling, performance evaluation, FlexSI.

The proliferation of robotic 3D printer farms, driven by advancements in additive manufacturing, is revolutionising flexible automated production. However, optimising their operational efficiency, particularly the robotic servicing of printers, remains a critical challenge. This paper addresses this by employing FlexSim-based simulation modelling to analyse and evaluate robotic 3D printer farm performance comprehensively. A detailed model is developed to investigate the impact of diverse robotic servicing strategies—including FIFO, Nearest Neighbour, Earliest Due Date (EDD) prioritisation, and tactics incorporating motion optimisation and task batching—on key performance indicators (KPIs). These KPIs encompass system throughput, printer and robot utilisation, average production cycle time, and Work-In-Progress (WIP) levels. The findings identify crucial performance drivers, facilitate a comparative analysis of servicing strategies, and provide actionable recommendations for designing and operationalising such additive manufacturing systems. Furthermore, the study underscores FlexSim's utility as a powerful decision-support tool for configuring and managing advanced Industry 4.0 production environments.

Technologia wytwarzania modułowych kół zębatach z wykorzystaniem utwardzanych laserowo połączeń kształtowo – wciskowych: wyniki badań mikrostrukturalnych

Manufacturing Technology of Modular Gears Using Form-Fitting Laser-Strengthen Connections: Microstructural Study Results

Janusz Kluczyński¹, Ireneusz Szachogluchowicz¹, Jakub Łuszczek¹, Marta Lipińska², Janusz Mierzyński¹, Krzysztof Grzelak¹, Lucjan Śniezek¹, Marcin Wachowski¹

¹ Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, janusz.kluczynski@wat.edu.pl, ireneusz.szachogluchowicz@wat.edu.pl, jakub.luszczek@wat.edu.pl, janusz.mierzynski@wat.edu.pl, krzysztof.grzelak@wat.edu.pl, lucjan.sniezek@wat.edu.pl, marcin.wachowski@wat.edu.pl

² Zakład Projektowania Materiałów, Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, marta.lipinska@pw.edu.pl

Słowa kluczowe: wytwarzanie przyrostowe, stapianie proszków metali w łożu proszkowym, stal 21NiCrMo2, połączenia kształtowo – wciskowe, utwardzanie laserowe.

Keywords: additive manufacturing, laser powder bed fusion of metals, 21NiCrMo2 steel, form-fitting connections, laser hardening.

Celem badań było analiza mikrostrukturalna dwuelementowych kół zębatach z wytworzonych zastosowaniem selektywnego stapiania proszków metali (SLM) oraz innowacyjnych połączeń kształtowo–wciskowych utwardzanych laserowo. Analizie poddano mikrostrukturę i mikrotwardość elementów wykonanych ze stali 21NiCrMo2, wytwarzanych konwencjonalnie i addytywnie, poddanych obróbce cieplno-chemicznej (nawęglaniu) oraz lokalnemu umocnieniu laserowemu. Badania mikrotwardości wykazały, że niezależnie od metody wytwarzania, po odpowiedniej obróbce możliwe było uzyskanie zbliżonych wartości twardości. Obróbka laserowa powodowała znaczny wzrost mikrotwardości (do 950 HV0.2) i rozdrobnienie mikrostruktury do wielkości ziaren poniżej 500 nm, z przewagą fazy

martenzytycznej. Uzupełniająca analiza EBSD potwierdziła te obserwacje, wykazując zależność pomiędzy udziałem granic o dużym kącie dezorientacji, rozdrobnieniem struktury i wzrostem twardości. Technologia ta umożliwia lokalne wzmacnianie kluczowych obszarów bez pogarszania właściwości całego elementu, co czyni ją bardzo interesującą alternatywą w produkcji precyzyjnych i wytrzymałych komponentów mechanicznych.

Analiza mechanizmów deformacji struktur komórkowych wytwarzanych metodą L-PBF

Deformation Mechanisms Analysis of Lattice Structures Fabricated via L-PBF Technology

Kevin Moj¹, Grzegorz Robak¹

¹ Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki i PKM, ul. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole; e-mail: ke.moj@po.edu.pl

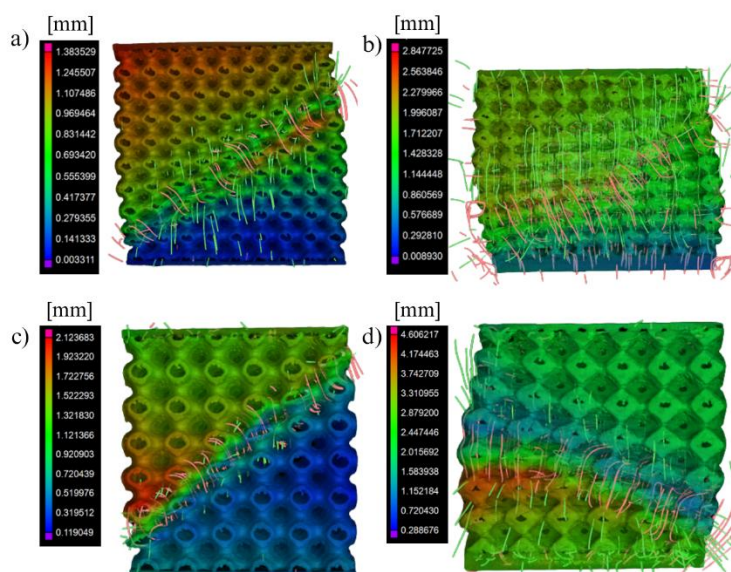
Słowa kluczowe: wytwarzanie przyrostowe, MES, tomografia komputerowa, mechanizmy deformacji.

Keywords: additive manufacturing, FEA, computed tomography, deformation mechanisms.

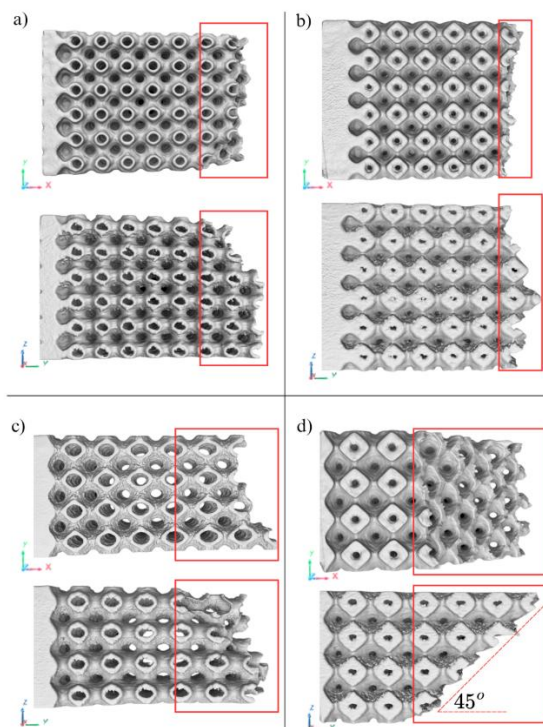
W referacie przedstawiono wyniki badań nad mechanizmami zniszczenia struktur komórkowych typu TPMS Schwarz, wytworzonych z wykorzystaniem technologii przyrostowych. Analiza objęła próbki wykonane z trzech materiałów – stopu tytanu Ti64, poliamidu PA12 oraz stali narzędziowej MS1 – o różnych konfiguracjach geometrycznych (wielkość komórek: 2 mm i 3 mm; gęstość względna: 25% i 50%). Struktury poddano obciążeniom monotonicznym: rozciąganiu oraz ściskaniu. W celu szczegółowej charakterystyki uszkodzeń zastosowano tomografię komputerową, a dla próbek rozciąganych dodatkowo profilometrię optyczną.

Analiza wykazała istnienie dwóch dominujących mechanizmów zniszczenia: tworzenie pasm ścinania oraz degradację warstwową. W przypadku niskiej gęstości struktury (25%) pasma ścinania były dobrze zdefiniowane i jednoznacznie widoczne. Przy wyższej gęstości (50%) obserwowano mieszany charakter deformacji – współwystępowanie pasm ścinania oraz stopniowej destrukcji warstw. Zastosowanie cyfrowej korelacji objętościowej (DVC) umożliwiło analizę rozkładu przemieszczeń wewnątrz próbek i dokładne odwzorowanie przebiegu zniszczeń.

Uzyskane wyniki stanowią istotny wkład w rozumienie zachowania struktur komórkowych TPMS pod obciążeniem, co może znaleźć zastosowanie m.in. w projektowaniu lekkich komponentów o kontrolowanej absorpcji energii.



Rysunek 1. Analiza mechanizmu deformacji dla struktury komórkowej Schwarz - ściskanie:
a) wielkość komórki 2 mm, gęstość względna 25%; b) wielkość komórki 2 mm, gęstość względna 50%; c) wielkość komórki 3 mm, gęstość względna 25%; d) wielkość komórki 3 mm, gęstość względna 50%



Rysunek 2. Analiza mechanizmu deformacji dla struktury komórkowej Schwarz - rozciąganie: a) wielkość komórki 2 mm, gęstość względna 25%; b) wielkość komórki 2 mm, gęstość względna 50%; c) wielkość komórki 3 mm, gęstość względna 25%; d) wielkość komórki 3 mm, gęstość względna 50%

Ultradźwiękowa atomizacja materiałów odpadowych: studium przypadku stali MS1

Ultrasonic Atomization of Waste Materials: A Case Study on MS1 Steel

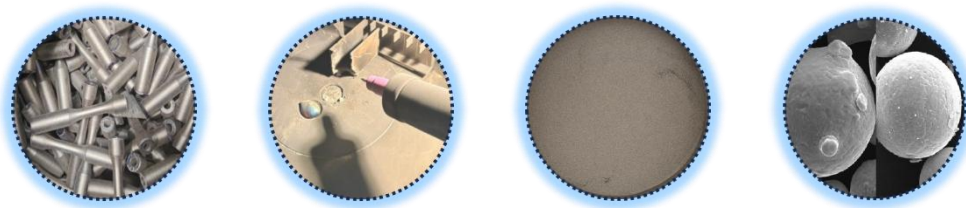
Agnieszka Łagoda¹

¹ Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, ul. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole;
a.lagoda@po.edu.pl

Słowa kluczowe: atomizacja ultradźwiękowa, druk 3D, stal maraging, proszek metalu.

Keywords: ultrasonic atomization, 3D printing, maraging steel, metal powder.

W niniejszym badaniu zastosowano atomizację ultradźwiękową do recyklingu odpadów metalowych, skupiając się na stali MS1. W tym procesie stopiona stal MS1 była kierowana na wibrującą sonotrodę, gdzie w wyniku oscylacji o wysokiej częstotliwości, była rozdrabniana na drobne cząstki proszku. Ta metoda umożliwiła efektywny recykling odpadów z druku 3D, przekształcając je w proszek w pełni nadający się do ponownego użycia i dalszych zastosowań w produkcji addytywnej (rys. 1). Z początkowych 8 kg odpadów metalowych udało się odzyskać 4 kg proszku o wysokiej jakości. Uzyskany proszek poddano charakterystyce, w tym ocenie składu chemicznego i właściwości materiału drukowanego (tab. 1). Badanie potwierdza, że atomizacja ultradźwiękowa jest innowacyjną i obiecującą techniką zrównoważonego recyklingu metali, oferującą potencjalną alternatywę dla konwencjonalnych metod produkcji proszków, jednocześnie zmniejszając ilość odpadów materiałowych w produkcji addytywnej metali.



Rysunek 1. Proces atomizacji MS1, od lewej: złomy, komora atomizera, uzyskany proszek, cząstki proszku (kupny z lewej, atomizowany z prawej)

Tabela 1. Wybrane właściwości mechaniczne badanej stali MS1

	Próbki drukowane przed obróbką cieplną			Próbki drukowane po obróbce cieplnej		
	proszek oryginalny	proszek atomizowany	specyfikacja	proszek oryginalny	proszek atomizowany	specyfikacja
Rm [MPa]	1189	1141	1200	1964	2074	2080±100
HV	366	355	-	623	630	~513-636

Analiza dokładności wymiarowo-kształtowej wybranych metod addytywnych na podstawie prototypów badawczych

Analysis of the dimensional and shape accuracy of selected additive methods based on the developed analytical prototypes

Małgorzata Gontarz-Kulisiewicz¹, Grzegorz Budzik¹, Tomasz Dziubek¹,
Bartłomiej Sobolewski¹

¹Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Al. Powstańców Warszawy 12, 32-959 Rzeszów; m.gontarz@prz.edu.pl; gbudzik@prz.edu.pl; tdziubek@prz.edu.pl; b_sobolewski@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: dokładność wymiarowa, dokładność kształtowa, wytwarzanie addytywne, metrologia, DMLS.

Keywords: dimensional accuracy, shape accuracy, additive manufacturing, metrology, DMLS.

W pracy przedstawiono wyniki analizy dokładności odwzorowania geometrii pod względem wymiarowo-kształtowym modeli wykonanych w wybranych metodach wytwarzania addytywnego (AM). Analizę przeprowadzono na podstawie opracowanych modeli badawczych, wykonanych przy użyciu metod: MEM, DLP, PJM i DMLS. W badaniach wzięto pod uwagę szerokość otworów i brył prostopadłościennych, a także średnicę otworów i brył walcowych, wykonanych w rozpatrywanym zakresie pomiarowym od 0,1 mm do 10 mm. W pracy przedstawiono zaprojektowane i wykonane modele w wybranych metodach AM, a także sposób ich pomiaru. Zgrupowano uzyskane wartości badanych parametrów w zależności od metody addytywnej. Na podstawie wyników pomiaru wykonano analizę dokładności odwzorowania geometrii modeli badawczych w zależności od rozpatrywanego parametru i od metody przyrostowej użytej do wykonania modeli względem założonych wymiarów nominalnych oraz sformułowano wnioski końcowe.

Design and Adaptive 3D-Manufacturing of a Modular Shoe Closure

Mone Senz¹, Vanessa Tembrink¹, Bertina Bloch¹, Anne Kobza¹, Lilia Sabantina^{1,2*}

¹ Department of Apparel Engineering and Textile Processing, Berlin University of Applied Sciences – HTW Berlin, 12459, Berlin, Germany

² Department of Textile and Paper Engineering, Universitat Politècnica de València, Pza Ferrandiz y Carbonell s/n, 03801 Alcoy, Spain; Lilia.Sabantina@HTW-Berlin.de

Keywords: Adaptive, Design, Shoes, 3D Printing, Closure, Accessibility

Both 3D printing and adaptive design are increasingly relevant topics in the footwear industry. Through adaptive design, products such as shoes can be made accessible, opening up new markets. Herniated discs, most commonly occurring in the lower back, often affect young adults and can impair mobility for varying periods. Movements like bending can become painful, complicating daily tasks and necessitating solutions that ease these challenges. The aim of surgery or therapy for herniated discs is to alleviate pain, thus requiring solutions that provide temporary relief during treatment.

This study examines the feasibility of retrofitting conventional sneakers with a modular, hands-free closure system to assist middle-aged individuals with herniated discs in putting on shoes more comfortably. The objective was to develop an adaptive closure system that can be attached to various sneaker models to enhance user comfort. Based on an analysis of existing closure systems and adaptive design approaches, an innovative closure was constructed using FDM 3D printing with PLA, designed to retrofit lace-up shoes. Several design variants were created and tested iteratively, evaluating functionality and wearability through wear-testing. Results indicate that the modular closure functions fundamentally well but faces material-related limitations. The insights gained provide valuable avenues for further advancement of adaptive shoe closures and the targeted application of 3D printing technologies in functional clothing for individuals with physical limitations.

Zastosowanie procesów inżynierii odwrotnej w rekonstrukcji obiektów muzealnych

Application of reverse engineering processes in the reconstruction of museum objects

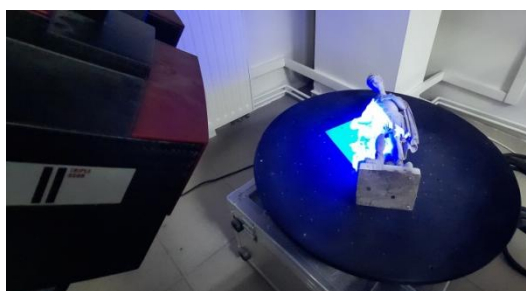
Tomasz Dziubek¹, Bartłomiej Sobolewski¹, Grzegorz Budzik¹, Łukasz Przeszłowski¹

¹Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa; tdziubek@prz.edu.pl;
b_sobolewski@prz.edu.pl; gbudzik@prz.edu.pl; lprzeszl@prz.edu.pl;

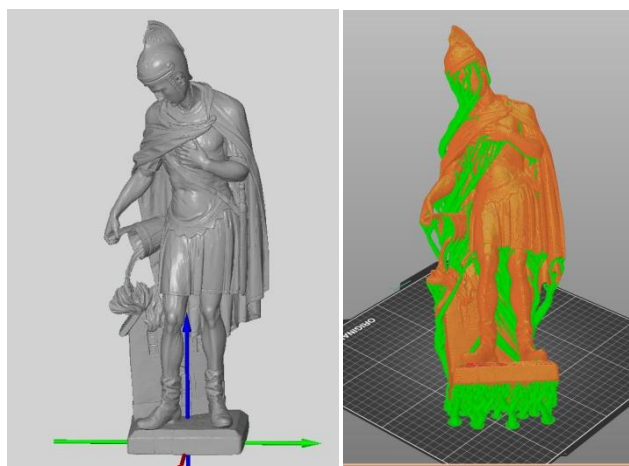
Słowa kluczowe: inżynieria odwrotna, skanowanie 3D, modelowanie 3D-CAD, druk 3D, materiały polimerowe.

Keywords: Reverse Engineering, 3D Scanning, 3D modelling, 3D Printing, polymer materials.

W pracy przedstawiono analizę możliwości rekonstrukcji obiektów o charakterze muzealnym. Zaprezentowano tok procesu inżynierii odwrotnej od pomiaru do uzyskania modeli fizycznych. W zależności od postawionych celów, zastosowano różne tryby procesów rekonstrukcji. Jednym z rozwiązań było przeprowadzenie procesu pomiarowego (rys. 1), a następnie obróbka danych pomiarowych wykonana w oprogramowaniu GOM Inspect oraz przygotowanie procesu wytwarzania (rys. 2).

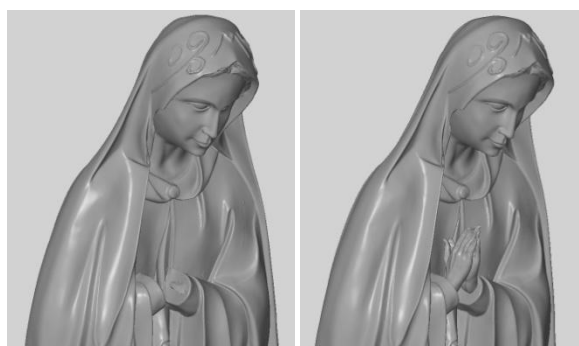


Rysunek 1. Proces digitalizacji przykładowej geometrii z zastosowaniem optycznego skanera 3D Atos II Triple Scan



Rysunek 2. Obróbka danych pomiarowych oraz przygotowanie procesu wytwarzania

Innym trybem postępowania było zastosowanie środowiska oprogramowania Catia, gdzie stosując odpowiednie moduły dedykowane do procesów inżynierii odwrotnej oraz modelowania powierzchniowego, opracowana została brakująca geometria dłoni (rys. 3).



Rysunek 3. Opracowanie i wykonanie geometrii brakujących dłoni

We wszystkich przedstawionych przypadkach przeprowadzone zostały procesy wytwórcze, mające na celu wykonanie kompletnych modeli lub brakujących fragmentów (rys. 4). W tym celu zastosowano przyrostową technikę FFF.



Rysunek 4. Przykładowe odtworzone obiekty muzealne

Wpływ materiału i technologii druku 3D na dokładność odwzorowania anatomicznego kości żuchwy

Influence of material and 3D printing technology on the accuracy of anatomical reproduction of the mandibular bone

Jadwiga Pisula¹, Paweł Turek¹, Grzegorz Budzik¹, Katarzyna Grzywacz-Danielewicz¹,
Krzysztof Kuś², Michał Bałuszyński³

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn; jpisula@prz.edu.pl; pturek@prz.edu.pl; gbudzik@prz.edu.pl; d617@stud.prz.edu.pl

² Carl Zeiss Sp. z o.o.; krzysztof.kus@zeiss.com

³ Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Fryderyka Chopina w Rzeszowie; m.baluszynski@outlook.com

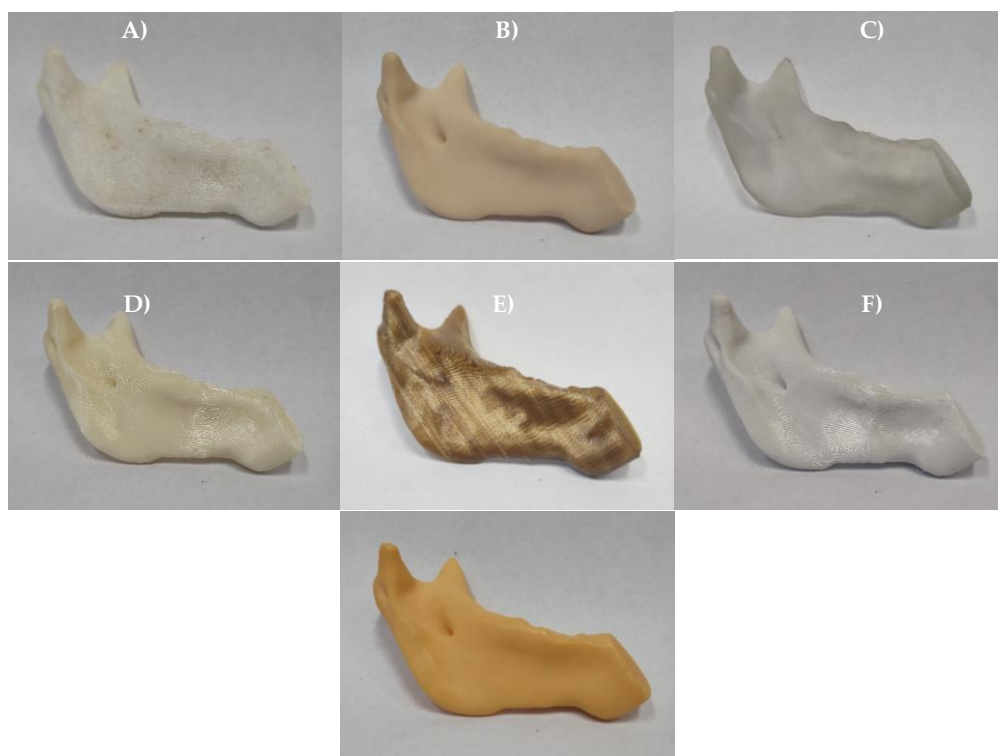
Słowa kluczowe: druk 3D, metrologia medyczna, pomiary optyczne, technologie addytywne, dokładność odwzorowania

Keywords: 3D printing, medical metrology, optical measurements, additive technologies, reproduction accuracy.

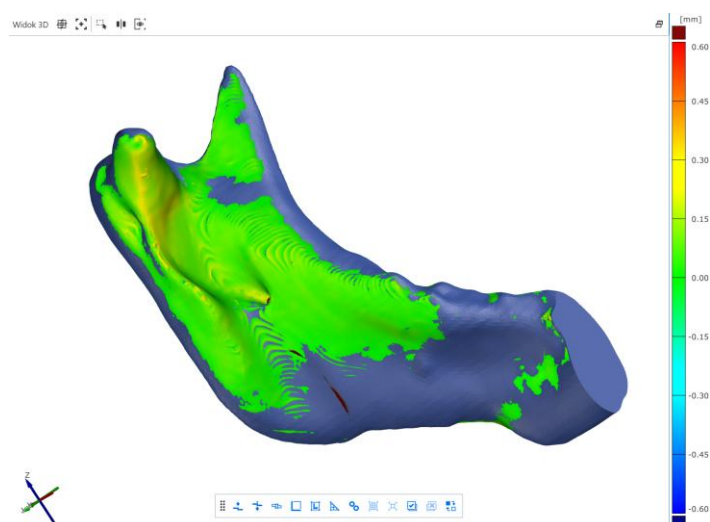
Współcześnie materiały polimerowe cieszą się coraz większym zainteresowaniem w dziedzinie inżynierii medycznej, a przemysł druku 3D cały czas intensywnie się rozwija, co przekłada się na zwiększenie precyzji i jakości wytwarzanych spersonalizowanych modeli anatomicznych. Praca przedstawia analizę wpływu materiału oraz technologii druku 3D na dokładność wymiarowo-kształtową modeli kości żuchwy. W ramach badań wykonano modele z siedmiu różnych materiałów stosowanych w technologiach addytywnych, takich jak FFF (Fused Deposition Modeling), DLP (Digital Light Processing) i PolyJet (Rys. 1).

Procesy pomiarowe przeprowadzono z użyciem współrzędnościowego optycznego skanera 3D Atos II Triple Scan. Uzyskane dane porównano z cyfrowym modelem referencyjnym opracowanym w środowisku CAD wykorzystując oprogramowanie ZEISS Inspect do szczegółowej analizy dokładności odwzorowania. Ocena obejmowała analizę globalną geometrii wydrukowanych modeli. Wyniki zostały przedstawione za pomocą kolorowych map odchyłeń, co pozwoliło na ilościową i jakościową ocenę wpływu materiału oraz

technologii druku na wierne odwzorowanie struktur kostnych (Rys. 2). Przeprowadzone badania umożliwiają lepsze zrozumienie ograniczeń i możliwości różnych materiałów oraz technologii addytywnych w medycznym modelowaniu anatomicznym.



Rysunek 1. Modele żuchwy otrzymane: A) techniką FFF z materiału PA, B) techniką DLP z materiału E-Model, C) techniką PolyJet z materiału MED610, D) techniką FFF z materiału ABS, E) techniką FFF z materiału PEEK, F) techniką FFF z materiału PLA, G) techniką DLP z materiału E-Denstone



Rysunek 2. Przykładowa analiza wymiarowo – kształtowa badanych modeli żuchwy

Analiza dokładności wymiarowo-kształtowej kół zębatach wytworzonych w technologii MJF

Dimensional and shape analysis of gears made using MJF technology

Małgorzata Zaborniak¹, Tomasz Dziubek¹, Bartłomiej Sobolewski¹, Krzysztof Kuś²

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn; mzab@prz.edu.pl; tdziubek@prz.edu.pl, b_sobolewski@prz.edu.pl

² Carl Zeiss Sp. z o.o.; krzysztof.kus@zeiss.com

Słowa kluczowe: koła zębate, druk 3D, technologia MJF, pomiary optyczne, kontrola jakości.

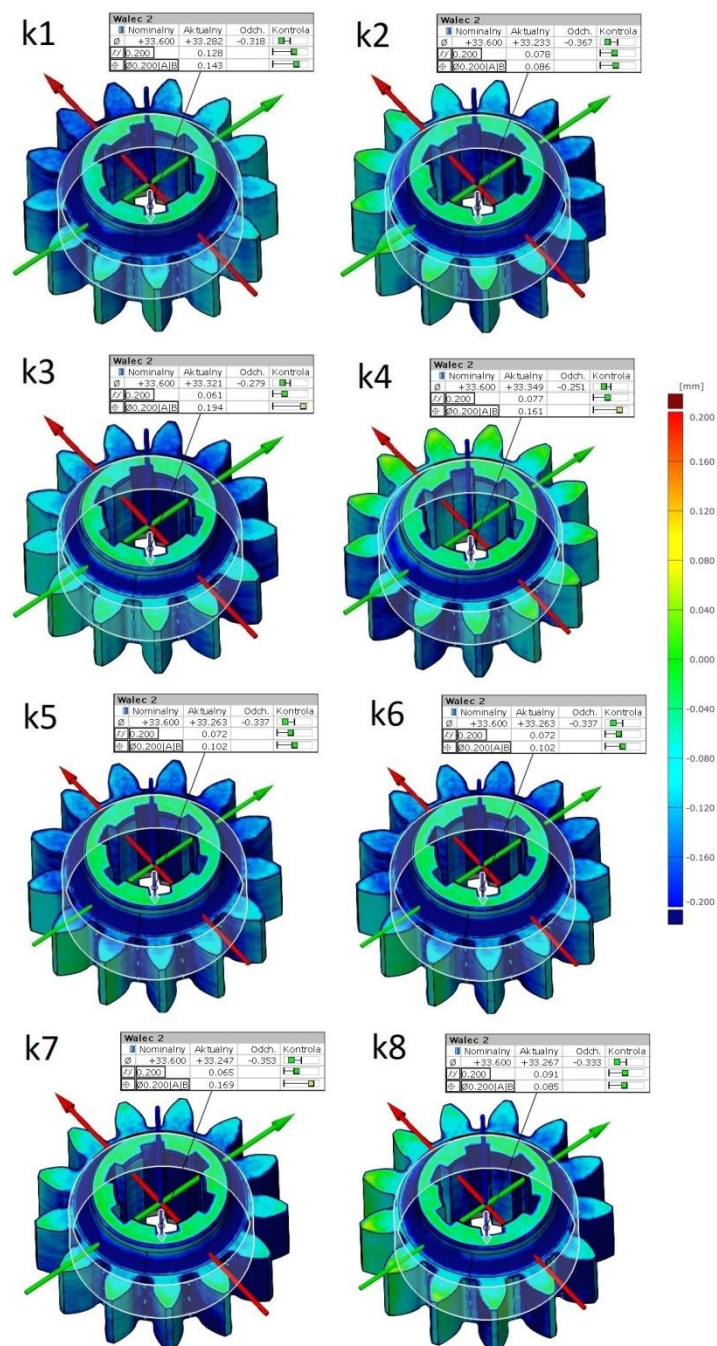
Keywords: gears, 3D printing, MJF technology, optical measurements, quality control.

Technologie addytywne dają coraz większe możliwości wytwarzania elementów maszyn nie tylko o złożonych kształtach, ale także charakteryzujących się zwiększoną wytrzymałością. Dokładność wymiarowo-kształtowa kół zębatach bezpośrednio wpływa na ich funkcjonalność, trwałość, efektywność oraz bezpieczeństwo pracy układów mechanicznych. Występujące błędy wymiarowo-kształtowe mogą prowadzić do nadmiernego zużycia zębów, do nierównomiernego i niewłaściwego zazębiania kół w przekładni, co wpływa m.in. na skrócenie czasu pracy przekładni. W ramach przeprowadzonych badań poddano analizie osiem kół zębatach (Rys.1a) wykonanych z półkryształicznego polimeru – poliamidu 12 (PA12) – przy zastosowaniu technologii Multi Jet Fusion (MJF).



Rysunek 1. Modele 3D badanych kół zębatach (a), pomiary na skanerze Atos II Triple Scan (b)

Procesy pomiarowe wykonano przy użyciu współrzędnościowego optycznego skanera 3D Atos II Triple Scan. Zastosowane oprogramowanie ZEISS Inspect umożliwiło wykonanie analiz dokładności kół zębatach, prezentując wyniki zarówno ilościowo, jak i za pomocą kolorowych map odchyłeń. Analiza globalna (Rys.2.) polegała na nałożeniu geometrii powierzchni uzyskanej przez skanowanie optyczne na referencyjny model 3D-CAD. Dodatkowo każdy z modeli poddany został rozszerzonym analizom wybranych cech geometrycznych określających dokładność mierzonej geometrii.



Rysunek 2. Analizy wymiarowo-kształtowe badanych kół zębatach

Standaryzacja w technologiach druku 3D

Standardization in 3D printing technologies

Tomasz Kozior¹

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania; tkozior@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: Druk 3D, Technologie Przyrostowe, Standaryzacja, Metrologia.

Keywords: 3D Printing, Additive Technology, Standardization, Metrology.

Streszczenie przedstawia analizę procesu normalizacji w obszarze technologii druku 3D pod kątem zarówno procesu technologicznego jak i kwalifikacji pracowników obsługujących maszyny - drukarki 3D. Ponadto swoim zakresem obejmuje również temat bezpieczeństwa w obszarze eksploatacji drukarek 3D przez pracowników jak i uczniów w środowisku akademickim. Artykuł zwraca szczególną uwagę na zagadnienia związane z aktualnie obowiązującymi normami w obszarze badawczym, jak i typowo przemysłowym, czyli związanym ze zlecaniem druku 3D przez klientów i wdrażaniem produkcji przyrostowej na zamówienie klienta. W pracy przedstawiono również zagadnienia związane z normami aktualnie opracowywanymi oraz tymi wskazanymi do rozwoju w przyszłości. Analizę przeprowadzono w oparciu o aktualnie obowiązujące normy międzynarodowe takie jak ISO i ASTM. Jak wykazał przegląd aktualnej literatury oraz analiza działań w obszarze normalizacji, druk 3D, pomimo ponad 40 lat istnienia, jest nadal technologią rozwijającą się i wymagającą stworzenia odpowiednich warunków poprzez proces normalizacji, zarówno krajowej, jak i międzynarodowej.

Wpływ orientacji druku 3D na właściwości mechaniczne połączeń zatrzaskowych wytwarzanych przyrostowo

The influence of 3D printing orientation on the mechanical properties of additively manufactured snap joints

Mariusz Dębski¹, Grzegorz Budzik¹, Łukasz Przeszlowski¹, Krzysztof Śnieżek,

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów; m.debski@prz.edu.pl; gbudzik@prz.edu.pl; lprzeszl@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: technologie przyrostowe, połączenia zatrzaskowe, badania wytrzymałościowe, materiały polimerowe, anizotropia mechaniczna.

Keywords: additive technologies, snap joints, strength tests, polymeric materials, mechanical anisotropy.

Technologie wytwarzania przyrostowego umożliwiają efektywną produkcję elementów o złożonej geometrii z tworzyw polimerowych, przy zachowaniu wysokiej precyzji i niskich kosztów jednostkowych. Jednym z kluczowych zastosowań w inżynierii mechanicznej są połączenia zatrzaskowe stanowiące integralny element konstrukcyjny eliminujący potrzebę stosowania dodatkowych komponentów montażowych. Ze względu na anizotropię części wytwarzanych przyrostowo, orientacja elementu względem platformy roboczej urządzenia istotnie wpływa na jego wytrzymałość i zachowanie mechaniczne w warunkach obciążenia. W publikacji przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych zatrzasków wytworzonych metodą ekstruzji warstwowej na drukarce 3D Prusa i3 MK3. Próbkę do badań wykonano z kopoliesteru PETG oraz polilaktydu (PLA) w czterech konfiguracjach względem platformy roboczej urządzenia odzwierciedlających najczęstsze konfiguracje spotykane w praktyce inżynierskiej. Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku odpowiedniego doboru zakresu planowanego ugięcia zatrzasku mieszczącego się w granicy jego pracy sprężystej, orientacja modelu względem platformy roboczej nie ma istotnego wpływu na poprawność działania połączenia. Umożliwia to projektowanie i wytwarzanie zatrzasków zorientowanych pod kątem estetyki całego wyrobu.

Problemy metrologiczne skanowania 3D dla próbek wykonanych w wybranych technologiach druku 3D

Metrological Problems of 3D Scanning for Samples Made with Selected 3D Printing Technologies

Aleksandra Bochenek¹, Tomasz Kozior ^{1,2}, Dominik Malara^{1,2}, Jerzy Bochnia²,
Michał Nawotka¹

1 Główny Urząd Miar, Zakład Technologii Cyfrowych, Laboratorium Informatyki Metrologicznej; aleksandra.bochenek@gum.gov.pl; michal.nawotka@gum.gov.pl

2 Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechaniki i Budowy Maszyn, Katedra Niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania; tkozior@tu.kielce.pl; dmalara@tu.kielce.pl; jbochnia@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: metrologia, skanowanie 3D, druk 3D, FDF/FFF, PolyJet, SLS

Keywords: metrology, 3D scanning, 3D printing, FDF/FFF, PolyJet, SLS

Możliwości technologii skanowania 3D są istotnym uzupełnieniem technik pomiarowych, które podlegają stałemu rozwojowi, jednakże świadomość o ograniczeniach tego rozwiązania pozwala na świadome wykorzystanie ich potencjału. Przeprowadzone badania obrazują wyzwania problemów skanowania 3D dla próbek przedstawiających specyficzną geometrię modelu z otworami o różnych rozmiarach i kształtach, co niejako symuluje sytuacje z jakimi można się spotkać przy przemysłowym wykorzystaniu skanowania 3D. Próbkę wykonano w trzech technologiach druku 3D: FDM/FFF, PolyJet, SLS dla porównania różnic w jakości wykonania modeli oraz ich rejestracji w wynikach skanowania.

Wykorzystanie konwolucyjnej sieci neuronowej do oceny przebiegu zużycia zmęczeniowego powierzchni kół zębatach

Application of a convolutional neural network to assess the fatigue wear of the gear tooth surfaces

Agnieszka KLIMEK¹, Lucjan ŚNIEŻEK¹, Janusz KLUCZYŃSKI¹

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa; agnieszka.klimek@wat.edu.pl; lucjan.sniezek@wat.edu.pl; janusz.kluczynski@wat.edu.pl

Słowa kluczowe: zużycie zmęczeniowe, sieci neuronowe, koła zębata

Keywords: fatigue wear, convolutional neuron network, gears

Jednym z kluczowych wyzwań przy ocenie przydatności elementów maszyn i urządzeń wytwarzanych technikami przyrostowymi jest analiza ich odporności na zużycie zmęczeniowe. Obecnie stosowane metody oceny stopnia zużycia kół zębatach opierają się na manualnej analizie obrazów powierzchni zużycia, co czyni cały proces czasochłonnym i podatnym na błędy wynikające z czynnika ludzkiego. Obiecującym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie metod sztucznej inteligencji, w szczególności algorytmów uczenia maszynowego opartych na konwolucyjnych sieciach neuronowych.

Celem niniejszego opracowania jest prezentacja narzędzia wykorzystującego algorytm YOLOv5 do automatycznej oceny zużycia zmęczeniowego kół zębatach pompy zębatej. Na podstawie wcześniejszych badań opracowano algorytm umożliwiający detekcję dwóch typów defektów (rysy oraz wykruszenia) oraz obliczanie ich powierzchni. Opracowany model osiąga pewność rozpoznawania wykruszeń 0,75 przy założonym współczynniku intersekcji (IoU) równym 0,5.

3D printed scaffolds for tissue engineering

Andrea Ehrmann¹

¹ Bielefeld University of Applied Sciences and Arts, Bielefeld, Germany;
andrea.ehrmann@hsbi.de

Keywords: 3D printing, FDM, tissue engineering, mammalian cells.

The cultivation of mammalian cells on three-dimensional substrates is of great interest for tissue engineering and other biotechnological applications. In addition to the chosen material, the surface structure also influences cell adhesion and proliferation.

Here, we present a comparison of different materials, including polymers and Ti64, which are used as 3D-printed substrates for the growth of mammalian cells. We discuss potential influencing factors with regard to cell adhesion to the respective surfaces and show different approaches for improving the quantitative evaluation of cell growth experiments by modifying dyes and staining processes.

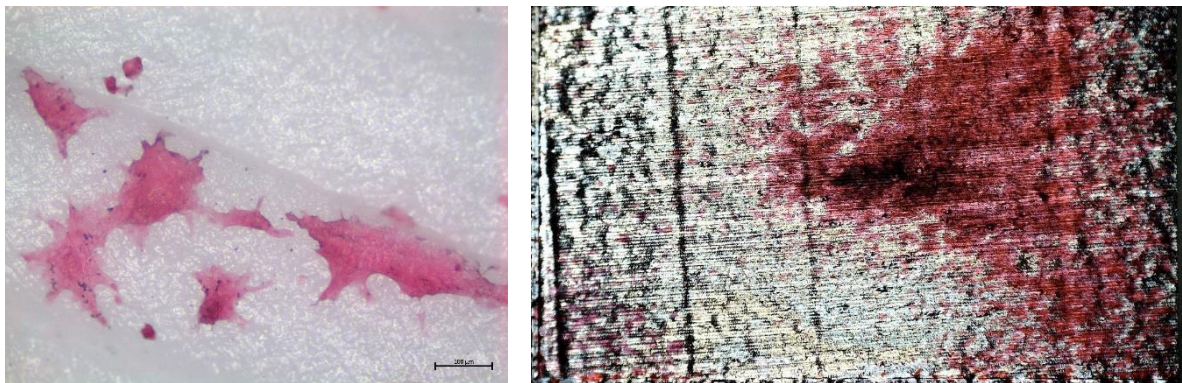


Figure 1. 3T3 cells on 3D printed poly(lactic acid) (PLA) (left panel) and Ti64 (right panel).

Projektowanie konstrukcji cienkościennych wytwarzanych przyrostowo

Design of thin-walled structures manufactured using additive technology

Grzegorz Budzik¹, Łukasz Przeszłowski¹, Mariusz Dębski¹

¹Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, gbudzik@prz.edu.pl; lprzeszl@prz.edu.pl; m.debski@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: modelowanie 3D-CAD, druk 3D, struktury cienkościenne, struktury szkieletowe

Keywords: 3D-CAD modeling, 3D Printing, thin-walled structures, skeletal structures

Artykuł dotyczy analizy metod projektowania konstrukcji cienkościennych przeznaczonych do wytwarzania metodami przyrostowymi. Metody przyrostowe pozwalają na niemal dowolne kształtowanie geometrii wyrobu, jednak w przypadku elementów cienkościennych o profilach otwartych i zamkniętych pojawiają się pewne trudności technologiczne wynikające z istoty kształtowania addytywnego i nakładania poszczególnych warstw materiału.

Przedstawiono możliwości i sposoby modelowania elementów cienkościennych w odniesieniu do różnych procesów wytwarzania addytywnego i materiałów stosowanych w tych metodach. Analizie poddano sposób projektowania ze względu na uzyskanie minimalnych grubości ścianek, które można uzyskać metodami przyrostowymi. Odniesiono się również do geometrii obiektów cienkościennych i sposobów budowy konstrukcji podporowych w zależności od rozmieszczenia wytwarzanego modelu względem układu współrzędnych drukarki 3D. Przeprowadzono również przegląd metod pomiarowych możliwych do użycia w celu określenia dokładności geometrycznej modeli wytwarzanych przyrostowo jako cienkościenne z profilami otwartymi, częściowo zamkniętymi i zamkniętymi.

Analiza porównawcza pomiarów odchyłki walcowości elementów wytwarzanych technologią FDM.

Comparative Analysis of Cylindricity Deviation Measurements of Components Manufactured Using FDM Technology

Anna Bujarska¹, Paweł Zmarzły¹, Tomasz Kozior¹

¹ Politechnika Świętokrzyska; Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania, abujarska@tu.kielce.pl; pzmarzly@tu.kielce.pl; tkozior@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: druk 3d, technologia FDM, odchyłka walcowości, pomiar

Keywords: 3D printing, FDM technology, cylindricity deviation, measurement

Modelowanie osadzania topionego (FDM) stanowi jedną z najczęściej stosowanych technik wytwarzania przyrostowego (MEX). Ocena dokładności geometrycznej wytworzonych elementów wymaga przeprowadzenia pomiarów odchyłki walcowości, co umożliwia identyfikację potencjalnych defektów wynikających z procesu druku 3D oraz dostarcza istotnych informacji o jakości powierzchni detalu.

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów odchyłki walcowości, elementów cylindrycznych wytworzonych z materiału ABS metodą FDM. W celu przeprowadzenia badania wytworzono trzy serie próbek (po 10 sztuk każda), różniących się orientacją druku: 0°, 45° oraz 90°. Do analizy porównawczej zastosowano dwa systemy pomiarowe. Jako układ referencyjny wykorzystano przyrząd Talyrond 365, realizujący pomiar metodą zmian promienia. Drugim narzędziem badawczym była współrzędnościowa maszyna pomiarowa Prismo Navigator firmy Zeiss.

Uzyskane wyniki wykazały istotny wpływ orientacji druku na wartości odchyłki walcowości próbek cylindrycznych wytworzonych metodą FDM. Dodatkowo wykazano, że orientacja druku wpływała także na rozbieżności pomiędzy wartościami odchyłek otrzymanymi z zastosowaniem obu systemów pomiarowych. Można jednak stwierdzić, że współrzędnościowa metoda pomiarowa może być efektywnie stosowana do oceny walcowości elementów wytwarzanych technologią FDM.

Analiza technik łączenia PLA-Cu z TPU i silikonem w procesach druku 3D i odlewania

Analysis of PLA-Cu Bonding Techniques with TPU and Silicone in 3D Printing and Casting Processes

Paweł Szczygieł¹, Tomasz Kozior¹

¹ Politechnika Świętokrzyska; Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania; pszczygiel@tu.kielce.pl; tkoziior@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: wielomateriałowy druk 3D, odlewanie do formy, elastomery

Keywords: multi-material 3D printing, casting into a mold, elastomers

W pracy zbadano dwie metody wytwarzania kompozytowych próbek z wykorzystaniem elastomerów TPU i silikonu. Pierwsza z nich obejmowała wielomateriałowy druk 3D próbek z materiałów PLACTIVE (PLA-Cu) i TPU przy użyciu drukarki wyposażonej w pojedynczą głowicę oraz stację materiałową. Druga metoda polegała na odlewaniu silikonu do form wytworzonych technologią przyrostową MEX. Za pomocą druku 3D wykonano zarówno formy, jak i elementy próbek z PLA-Cu, które stanowiły 50% objętości każdej próbki. Pozostałą część uzupełniono silikonem, wcześniej odgazowanym w komorze próżniowej. Próbkę przygotowano w dziewięciu wariantach, różniących się orientacją druku (X, Y, Z) oraz geometrią połączenia (Flat, Sinus wave, Cubic).

Celem badań była analiza jakości połączenia PLA-Cu z TPU i silikonem w zależności od założonych zmiennych. Ocenę przeprowadzono zarówno za pomocą testów wytrzymałości na rozciąganie, jak i testów zginania, w których rejestrowano odpowiednio wytrzymałość na rozciąganie oraz maksymalne obciążenie zginające. Wyniki wykazały, że zarówno orientacja druku, jak i geometria próbek mają istotny wpływ na jakość połączenia.

Badanie procesu skrawania na podstawie odchyłek wymiarowo-kształtowych próbek PLA wytwarzanych technologią MEX

Investigation of the milling process based on dimensional and shape deviations of PLA samples manufactured by MEX technology

Natalia Kowalska¹, Sławomir Błasiak¹, Michał Skrzyniarz¹,

¹ Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Technologii Mechanicznej, ul. Tysiąclecia P. Polskiego 7; nkowalska@tu.kielce.pl; sblasiak@tu.kielce.pl; mskrzyniarz@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: CNC, MEX, PLA, obróbka wykończeniowa

Keywords: CNC, MEX, PLA, finishing

Technologie przyrostowe pomimo ciągłego dostosowywania do problemów produkcyjnych, często nie spełniają kryteriów inżynierskich w zakresie tolerancji wymiarów oraz kształtu. Stosunkowo ważnym etapem wprowadzania modeli wytwarzanych przyrostowo stała się odpowiednia obróbka wykończeniowa. Zastosowanie obróbki CNC umożliwia uzyskanie modeli w których zalety obu technologii pozwalają na wytworzenie modeli o złożonej geometrii ale spełniających stawiane wymagania dotyczące tolerancji wymiarów oraz kształtów. Stosowanie obróbki CNC wymaga jednak odpowiedniego przygotowania próbki, głównie poprzez wykonanie odpowiednich zmian w geometrii umożliwiających wprowadzenie naddatku na obróbkę. W niniejszej pracy przedstawiono propozycje modeli planowania naddatku na podstawie wytworzonej geometrii oraz jej wpływ na tolerancje wymiarów oraz wybranych odchyłek kształtu. Modele naddatków zostały zaplanowane na podstawie zależności parametrów wytwarzania przyrostowego: wysokości warstwy, skurczu materiału oraz sinusa kąta pomiędzy wytwarzania powierzchnią a platformową roboczą. Zastosowano projektowane modele naddatku na próbce wytworzonej z materiału PLA (polilaktydu) na drukarce 3D Bambu Lab X1C. Wytworzona przyrostowo próbka została zmierzona, a następnie obrobiona na centrum obróbkowym Hermle B300. Wyniki badania wykazały słusność stosowania modeli z planowanym naddatkiem oraz na pozytywny wpływ obróbki skrawaniem na otrzymywane odchyłki wymiarowo-kształtowe.

Ocena możliwości zastosowania obróbki ubytkowej jako metody postprocessingu elementów cienkościennych wykonanych wybraną technologią przyrostową.

Paweł Kasza

¹ Politechnika Świętokrzyska w Kielcach Szkoła Doktorska pawel.kasza@gum.gov.pl

Słowa kluczowe: druk 3D, technologie przyrostowe, postprocessing, prototypowanie, obróbka ubytkowa CNC, struktura geometryczna powierzchni, dokładność wymiarowo-kształtowa

Keywords: 3D printing, additive technologies, post-processing, prototyping, CNC machining, surface texture, dimensional and shape accuracy

Powierzchnia prototypów wytworzonych metodą przyrostową za pomocą drukarek 3D, w szczególności wykonane w technologii FDM, charakteryzują się stosunkowo wysoką porowatością oraz schodkowaną powierzchnią. Kontrola jakości, nawet bez użycia profesjonalnych narzędzi pomiarowych pozwala na wykrycie pewnego poziomu nierówności, który jest nieakceptowalny w wielu precyzyjnych zastosowaniach. W prototypowaniu wymagana jest powierzchnia o mniejszej chropowatości. Wymagania stawiane przez przemysł zarówno w dziedzinie przetwórstwa tworzyw sztucznych jak i pokrewnych, narzucają konieczność wytworzenia działających prototypów, wykonanych w wysokich klasach dokładności, które odzwierciedlają i urzeczywistniają projekty opracowane przy użyciu oprogramowania CAD. W związku z wyżej wymienionymi wymogami przemysłu, przeprowadzono badania polegające na wydrukowaniu prototypu, którego specyfiką jest cienkościenność. W celu poprawy jakości powierzchni poddano go obróbce ubytkowej z zastosowaniem frezarki CNC oraz oprogramowania CAM.



Rysunek 1. Przekrój modelu cienkościennego zaprojektowanego w CAD 3D

Podczas wytwarzania prototypu, uwzględniono w modelu naddatki pod dalszą obróbkę. Dzięki temu po jej zrealizowaniu uzyskano prototyp, będący odwzorowaniem zaprojektowanego modelu o wymiarach i tolerancjach określonych podczas projektowania. Pomiary oraz ich analiza potwierdziły, że zastosowanie obróbki ubytkowej do poprawy jakości wytwarzanych prototypów, metodą przyrostową jest zasadny i w znaczący sposób poprawia dokładność.



Rysunek 2. Prototyp podczas obróbki kształtowej na frezarce CNC

Analiza topografii powierzchni, odchyłek wymiarowo-geometrycznych oraz właściwości biobójczych wydruków 3D z materiałów Plactive i CPE Antibac

Analysis of surface topography, dimensional accuracy and biocidal properties of 3D prints from Plactive and CPE Antibac

Urszula Kmiecik-Sołtysiak^{1,2}, Paweł Szczygiel¹, Dagmara Michta¹, Katarzyna Gałczyńska^{2,3},

¹Politechnika Świętokrzyska w Kielcach; usoltysiak@tu.kielce.pl; pszczygiel@tu.kielce.pl ; dmichta@tu.kielce.pl

²Świętokrzyski Kampus Laboratoryjny Głównego Urzędu Miar w Kielcach; urszula.kmiecik@gum.gov.pl; katarzyna.galczynska@gum.gov.pl;

³Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach; katarzyna.galczynska@ujk.edu.pl

Słowa kluczowe: topografia powierzchni, właściwości biobójcze, Plactive, CPE Antibac, współrzędnościowa maszyna pomiarowa

Keywords: surface topography, biocidal properties, Plactive, CPE Antibac, coordinate measuring machine CMM

Celem pracy była ocena wybranych właściwości wydruków 3D wykonanych z materiałów biomedycznych: Plactive oraz CPE Antibac, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów topografii powierzchni, odchyłek wymiarowo-geometrycznych oraz właściwości biobójczych. Analizy parametrów topografii powierzchni próbek dokonano z zastosowaniem: interferometru światła białego TalySurf CCI, Nanomaszyny SIOS oraz profilometru stykowego TalySurf PGI. Pomiary wykorzystane do oceny wymiarowo-geometrycznej wykonano przy użyciu współrzędnościowej maszyny pomiarowej Prismo Navigator ZEISS. Uzyskane dane pozwoliły również na określenie powtarzalności procesu druku 3D. Dodatkowo wykonano testy aktywności biobójczej wobec *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus* przy użyciu metody oznaczania jednostek tworzących kolonie (CFU) zgodnie z normą ISO 22196.

Relaksacja naprężeń wybranych polimerów wytwarzanych drukiem 3D

Stress relaxation of selected polymers manufactured by 3D printing

Wiktor Szot¹

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania; wszot@tu.kielce.pl;

Słowa kluczowe: relaksacja naprężeń, wytwarzanie przyrostowe, model Maxwella-Wiecherta, materiały polimerowe.

Keywords: stress relaxation, additive technology, Maxwell-Wiechert model, polymer materials.

Relaksacji naprężeń to spadek naprężenia w czasie przy zadanym stałym odkształceniu. Zjawisko to jest bardzo istotne, ponieważ informuje o prognozowanym zachowaniu elementów podczas długotrwałej eksploatacji. Materiały wytwarzane technologiami przyrostowymi są najczęściej polimerami, które wykazują cechy lepkosprężyste. Jedną z technik eksperymentalnych do charakteryzowania materiałów lepkosprężystych jest statyczna relaksacja naprężeń, którą wykorzystano w niniejszych badaniach.

W badaniach uwzględniono trzy technologie wytwarzania przyrostowego: selektywne spiekanie proszków (SLS), fotoutwardzanie akrylowych żywic polimerowych (PJM) oraz wytłaczanie warstwowe (MEX). Badanymi materiałami były: PA 2200, ABS P430 i MED 610. Wytypowano parametry technologiczne druku 3D ze względu na zastosowaną technologię wytwarzania. Spośród tych parametrów trzy wartości orientacji wydruku: 0°, 45° oraz 90° zostały przyjęte jako stałe i identyczne dla wszystkich analizowanych materiałów. Do oceny zjawiska relaksacji naprężeń przyjęto model pięcioparametrowy Maxwella-Wiecherta.

Na podstawie wyników badań można zauważyć m.in. uzyskanie silnego dopasowania modelu reologicznego do krzywych eksperymentalnych relaksacji naprężeń oraz anizotropie właściwości reologicznych ze względu na orientację wydruku.

Ocena właściwości reologicznych modeli śmigieł dwułopatkowych wykonanych technologią druku 3D.

Jerzy Bochnia¹, Tomasz Kozior¹

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechaniki i Budowy Maszyn, Katedra Niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania; jbochnia@tu.kielce.pl; tkozior@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: skanowanie 3D, druk 3D, metrologia

Keywords: 3D scanning, 3D printing, metrology

W pracy opisano wyniki testów relaksacji naprężeń i pełzania modelu śmigła dwułopatkowego wykonanego technologią FDM na podstawie pliku .stl otrzymanego poprzez skanowanie obiektu handlowego. W testach reologicznych naprężenia i odkształcenia otrzymano w wyniku działania siły skupionej działającej centralnie na śmigło w trójpunktowej próbie zginania. Badanie wykonano zarówno dla modeli handlowych jak i dla modeli wydrukowanych w celu porównania właściwości reologicznych. Do opisu zjawisk reologicznych zastosowano funkcje oparte o wieloparametrowe modele Maxwela-Wiecherta i Kelvina-Voigta.

Właściwości tribologiczne kompozytowego filamentu z dodatkiem stali

Tribological properties of composite filament with steel addition

Krystyna Radoń-Kobus¹, Paweł Szczygieł¹

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechaniki i Budowy Maszyn;
kradonkobus@tu.kielce.pl; pszczygiel@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: druk 3D, filament kompozytowy, stal 316L, technologia MEX, badania tribologiczne

Keywords: 3D printing, composite filament, 316L steel, MEX technology, tribological tests

Badania dotyczyły próbek wytworzonych technologią MEX z filamentu kompozytowego zawierającego 82% wagowo proszku stali 316L. Krążki o średnicy 40 mm i grubości 6 mm drukowano w dwóch kierunkach: 0° i 90°. Przeprowadzono testy tribologiczne w układzie tarcia z kulką stalową 100Cr6 o średnicy 6 mm na tribometrze TRB3 w warunkach ruchu obrotowego. Parametry badań obejmowały obciążenie 5 N, prędkość poślizgu 0,1 m/s, całkowitą drogę tarcia 1000 m oraz temperaturę 22 ± 1 °C. Próby prowadzono zarówno w warunkach tarcia technicznie suchego, jak i w obecności roztworu 0,9% NaCl. Dodatkowo strukturę śladów zużycia analizowano za pomocą mikroskopu konfokalnego Leica DCM8 w trybie interferometrycznym, a zwilżalność powierzchni określono przy użyciu tensjometru optycznego Attension Theta Flex z wykorzystaniem wody destylowanej.

Uzyskane wyniki potwierdzają hydrofobowy charakter powierzchni dla obu kierunków druku, co wskazuje na ograniczoną zwilżalność materiału wodą. Analiza współczynnika tarcia wykazała, że w przypadku próbek drukowanych pod kątem 0° tarcie w środowisku roztworu NaCl było o około 15% niższe w porównaniu do warunków suchych. Otrzymane rezultaty wskazują, że obecność roztworu NaCl działa korzystnie jako czynnik smarujący, poprawiając warunki współpracy węzła tarcia i ograniczając intensywność zużycia.

Przeprowadzone badania dowodzą, że filament polimerowy modyfikowany stalą 316L może znaleźć zastosowanie w obszarach wymagających poprawionej odporności tribologicznej. Wyniki potwierdzają potencjał tego typu materiałów w inżynierii, prototypowaniu oraz projektowaniu elementów funkcjonalnych, szczególnie w środowiskach, gdzie obecność cieczy roboczych może dodatkowo wspomagać ich trwałość i efektywność pracy.

Wykonanie stanowiska badawczego oraz badania druku 3D w procesie MEX stopami aluminium

Construction of a test stand and investigation of 3D printing using the MEX proces with aluminium alloys

Łukasz Przeszłowski¹, Dawid Gierula¹ Grzegorz Budzik¹, Łukasz Kochmański¹

1 Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, lprzeszl@prz.edu.pl; 166833@stud.prz.edu.pl; gbudzik@prz.edu.pl; l.kochmanski@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: druk 3D, technologia MEX, stop aluminium, wytwarzanie przyrostowe

Keywords: 3D printing, MEX technology, aluminium alloy, additive manufacturing

W artykule przedstawiono proces projektowania i wykonania stanowiska do przyrostowego wytwarzania modeli ze stopów aluminium w technologii MEX (MaterialExtrusion). Głównym celem było określenie możliwości realizacji procesu bez użycia przemysłowych metod, takich jak PBF, DED czy BJT. Opracowany układ bazuje na podgrzewaniu indukcyjnym dyszy głowicy drukującej. Przeprowadzone badania ujawniły problemy z kontrolą temperatury, oraz brakiem atmosfery ochronnej, prowadząc do utleniania wytworzonych modeli. Pomimo ograniczeń uzyskano stabilną ekstruzję i wykonano elementy o prostej geometrii. Wyniki wskazują na możliwość dalszej rozbudowy stanowiska z wykorzystaniem powszechnie dostępnych komponentów oraz integrację rozwiązań stosowanych w druku przemysłowym.

Zastosowanie wyników badań cienkościennych elementów drukowanych w technologii 3D w wytwarzaniu nowoczesnych elementów

Mateusz Musiałek¹

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

Słowa kluczowe: druk 3D, modele cienkościenne

Keywords: 3D printing, thinwalled models

Rozwój technologii przyrostowych w ostatnich latach otworzył nowe możliwości w zakresie projektowania i wytwarzania elementów konstrukcyjnych o złożonej geometrii zoptymalizowanych właściwościach. Szczególną rolę odgrywają cienkościenne elementy drukowane w technologii 3D, które pozwalają na uzyskanie korzystnego stosunku wytrzymałości do masy, przy jednoczesnej redukcji zużycia materiału oraz możliwości integracji wielu funkcji w jednej części. W referacie zaprezentowano wyniki badań wytworzonych elementów wraz z praktycznym zastosowaniem. Badania obejmowały zarówno aspekty mechaniczne, jak i geometryczne, pozwalając na określenie zależności pomiędzy parametrami projektowymi a nośnością i trwałością elementów. Szczególną uwagę zwrócono na identyfikację czynników wpływających na odporność cienkościennych elementów oraz na możliwości ich modelowania i optymalizacji w procesie projektowym oraz wytwarzania.

Implementacja metod inżynierii odwrotnej w produkcji części

Ireneusz Musiałek¹

¹Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach Filia w Sandomierzu, Samodzielny Zakład Mechatroniki, Kierunek Mechatronika; Ireneusz.musialek@ujk.edu.pl

Słowa kluczowe: inżynieria odwrotna, druk 3D, metrologia

Keywords: reverse engineering, 3D printing, metrology

Inżynieria odwrotna znajduje szerokie zastosowanie w procesach wytwarzania elementów z wykorzystaniem technologii przyrostowych, w tym druku 3D. Umożliwia ona odtworzenie komponentów wycofanych z produkcji, trudno dostępnych na rynku, a także tworzenie części o skomplikowanej budowie, które nie mogą być wykonane metodami konwencjonalnymi. Współcześnie, w oparciu o dane uzyskane ze skanów 3D, produkuje się m.in. protezy, ortezy, pokrycia kosmetyczne czy inne indywidualnie dopasowane rozwiązania ortopedyczne. Proces wdrożenia inżynierii odwrotnej do wytwarzania elementów 3D rozpoczyna się od dokładnej analizy istniejącego modelu lub komponentu. Realizuje się to za pomocą różnych technik, takich jak skanowanie trójwymiarowe czy szczegółowa analiza geometrii. Uzyskane informacje umożliwiają nie tylko odtworzenie części, ale również identyfikację ewentualnych problemów konstrukcyjnych i opracowanie sposobów ich eliminacji. W tym kontekście inżynieria odwrotna wspiera także proces tworzenia prototypów, pozwalając na wprowadzenie udoskonaleń konstrukcyjnych jeszcze przed rozpoczęciem produkcji seryjnej.

System monitorowania filamentu – studium przypadku

Filament tracking system – case study

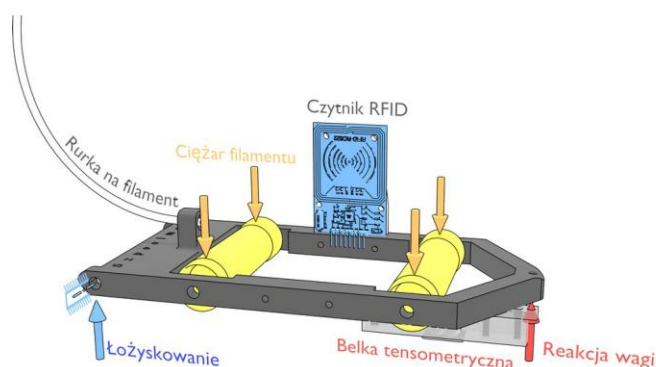
Filip Kwidziński¹, Tomasz Żuradzki¹

1 Akademia Górniczo-Hutnicza, Studenckie Koło Naukowe AGH Rapid Prototyping;
fkwidzinski@student.agh.edu.pl; tzuradzki@student.agh.edu.pl

Słowa kluczowe: druk 3d, farma druku, magazyn, inwentaryzacja, filament

Keywords: additive manufacturing, print farm, storage, filament

Prowadzenie i utrzymanie farmy druku 3D niesie ze sobą wiele wyzwań i trudności technicznych. Jednym z nich może być utrzymanie szerokiej i zróżnicowanej gamy materiałów, w tym również ich wariantów kolorystycznych dla małoseryjnej produkcji elementów o dużym zróżnicowaniu pod względem zastosowań, właściwości mechanicznych oraz wizualnych. Automatyzacja zarządzania stanem magazynowym oraz śledzenie zużycia poszczególnych szpul może znacznie uprościć ten aspekt procesu wytwarzania. Autorzy formułują koncepcję systemu opartego o sieć urządzeń śledzących zużycie filamentu przez drukarki 3D oparte o technologię FDM i raportujących stan do centralnej bazy danych. Przeprowadzono studium przypadku zastosowania przedstawionego rozwiązania w zarządzanej przez studentów farmie druku 3D należącej do SKN AGH Rapid Prototyping.



Rysunek 1. Symboliczny schemat urządzenia prezentujący jego podstawową funkcjonalność.

ReFab - od odpadu do filamentu

ReFab - from waste to filament

Adam Pyczek¹

¹ Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki; pyczek@student.agh.edu.pl

Słowa kluczowe: filament, recykling, druk 3D, gospodarka obiegu zamkniętego, wyciągarka filamentu

Keywords: filament, recycling, 3D printing, circular economy, filament extruder

Recykling w druku 3D staje się coraz istotniejszy ze względu na rosnącą ilość odpadów produkcyjnych, takich jak podpory czy nieudane wydruki. W skali przemysłowej, np. w farmach drukarek, problem ten przybiera szczególnie dużą skalę, dlatego poszukuje się technologii umożliwiających odzysk materiału i jego ponowne wykorzystanie.

Jednym z rozwiązań jest proces przetwarzania zużytych filamentów w pełnowartościowy materiał do dalszego druku. Odpady są rozdrabniane w shredderze, a następnie segregowane według wielkości cząstek. Zbyt duże fragmenty poddaje się ponownemu mieleniu, natomiast odpowiednio rozdrobniona frakcja trafia do wyciągarki.

Tam materiał ulega termicznemu uplastycznieniu i jest wyciągany w postaci nowego filamentu. Kluczowym etapem jest chłodzenie, które pozwala zachować stabilność wymiarową, a także bieżący pomiar średnicy eliminujący odchylenia. Gotowy produkt nawijany jest na szpule i może być ponownie stosowany w drukarkach 3D.

Proces ten nie tylko obniża koszty produkcji, lecz także ogranicza negatywny wpływ na środowisko i zwiększa efektywność wykorzystania surowców w technologii przyrostowej.

W pracy zawarto wyniki badań porównawczych granulatu i filamentu uzyskanego w autorskim procesie z materiałami dostępnymi komercyjnie. Analizowano m.in. jednorodność średnicy, stabilność wymiarową i przydatność do druku 3D, co pozwoliło ocenić skuteczność recyklingu.



Rysunek 1. Rynna wibracyjna

Studium zastosowania narzędzi badawczych w sporcie: inteligentna wkładka wykonana w technologii druku 3D i badania materiałowe deski snowboardowej

Case study on the application of research tools in sport: a smart insole produced by 3D printing technology and material characterization of a snowboard

Maria Gołdasz¹, Piotr Zając¹, Jakub Dryla¹, Jakub Bryła, Adam Martowicz

¹ Studenckie koło naukowe AGH Rapid Prototyping, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; mariagoldasz@student.agh.edu.pl; dryla@student.agh.edu.pl; zajacpiotr@student.agh.edu.pl

² Katedra Robotyki i Mechatroniki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; jakbryla@agh.edu.pl; adam.martowicz@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: biomechanika, druk 3D, analiza materiałowa,

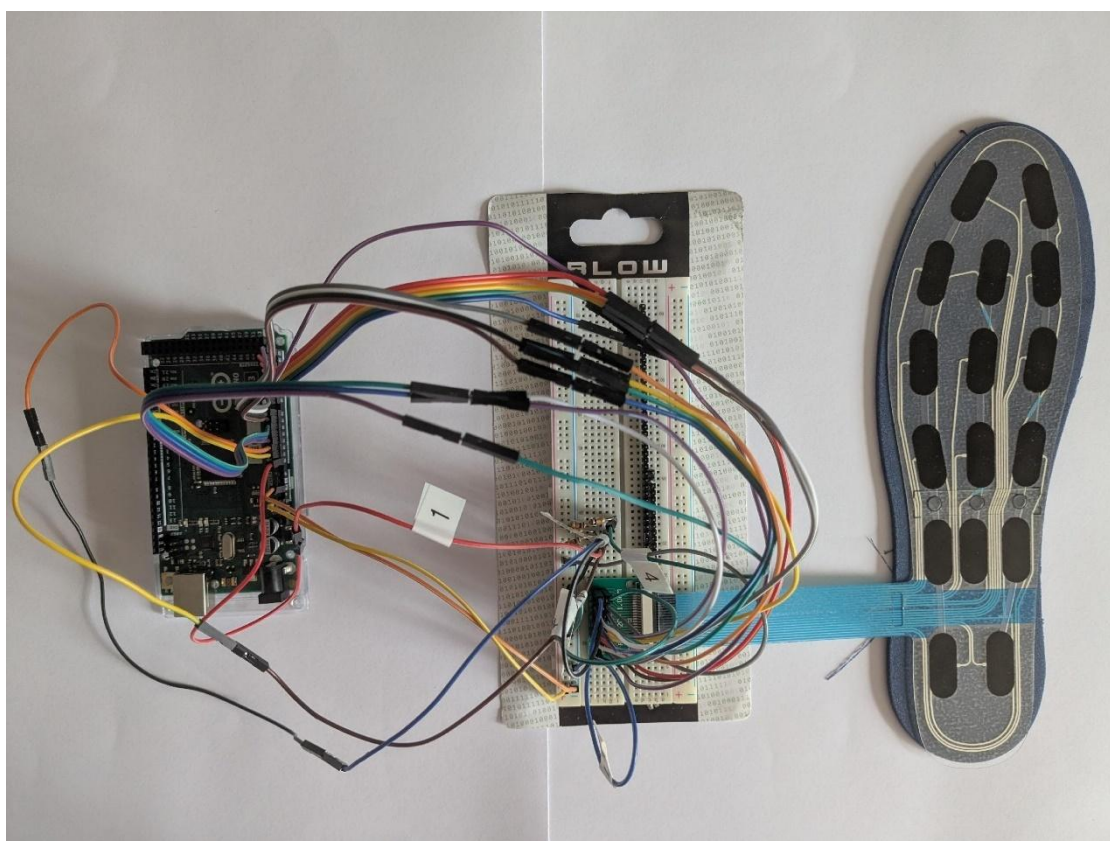
Keywords: biomechanics, 3D printing, material analysis

Niniejsze studium przypadku prezentuje opracowanie i wstępne zastosowanie narzędzi badawczych dedykowanych analizie biomechanicznej w dyscyplinach sportowych. Pierwsza część pracy dotyczy inteligentnej wkładki wykonanej w technologii druku 3D i wyposażonej w czujniki nacisku. Wkładka została zaprojektowana jako niskokosztowa i personalizowana narzędzie pomiarowe, umożliwiające rejestrację rozkładu nacisków podszwowych oraz obciążeń dynamicznych podczas ruchów sportowca w trakcie zjazdu na desce snowboardowej. Podstawowe testy funkcjonalne przeprowadzono w układzie prototypowym z wykorzystaniem rezystancyjnych czujników, co pozwoliło zweryfikować reakcję czujnika w warunkach statycznych i dynamicznych.

Druga część badań obejmuje testy materiałowe deski snowboardowej. Na wyciętych próbkach sprzętu sportowego przeprowadzono analizę materiałową w celu określenia podstawowych parametrów wytrzymałościowych, pozwalających na lepsze zrozumienie zachowania struktur kompozytowych pod obciążeniem.

Uzyskane wyniki stanowią cenny punkt odniesienia do oceny jakości materiałów stosowanych w sprzęcie sportowym przeznaczonym do intensywnej eksploatacji. Opracowane na tym etapie wnioski posłużą do wytypowania kierunków dalszego rozwoju konstrukcji desek snowboardowych.

Połączenie badań funkcjonalnych inteligentnej wkładki z analizą materiałową deski snowboardowej ukazuje potencjał integracji technologii przyrostowej, elektroniki i nauki o materiałach w tworzeniu nowoczesnych narzędzi badawczych. Zaprezentowane podejście wpisuje się w rozwój spersonalizowanej aparatury pomiarowej wspierającej monitorowanie zawodników oraz optymalizację sprzętu w dyscyplinach takich jak skoki narciarskie i snowboard alpejski.



Rysunek 1. Prototyp wkładki pomiarowej

High-precision 3D printing and calibration of FDM printer

W. Chatys¹, V. Reiskarts², K. Nechval²

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

² Riga Aeronautical Institute, konstantin.nechval@gmail.com

Keywords: FDM 3D printing, slicer, calibration, precision, quality control

This publication discusses the impact of implementing a performance calibration method for the most popular FDM printers. The following work was accomplished using advanced settings that are applicable to a wide range of FDM 3D printing, including some software, such as OrcaSlicer. Until now, this method of control had never been used in general and significantly reduces preparation time, but increase quality control. The primary advantage of this method is that it eliminates the need to for searching and approaches to the individual settings, as well as not needed total deep study of the equipment, but instant resolve some of the main objectives. The width and uniformity of the gap between mating parts can say a lot about the assembly quality and, of course, the quality of individual part manufacturing. One of the most common questions is: What is the accuracy of a given machine? Accuracy is not a single value it's a function. It is a property of an entire system, which includes: the machine itself, the tool, how the tool is mounted, the work piece, how the work piece is mounted, the operator, his skill level, his mood, the software.

If we're talking about digital manufacturing, this list can be even longer. The same applies to 3D printing. So what is 3D printer accuracy? It's a function of many variables: the machine, the material, the model, the slicer, and not least - the operator. This system must be tuned to achieve maximum precision.

The article below presents a step by step explanation of calibration principles in 3D printing, specifically for achieving industrial-grade accuracy.

Wpływ parametrów procesu PBF-LB/M i obróbki postprocesowej na właściwości i mikrostrukturę stali maraging M300

The influence of PBF-LB/M and post processing parameters on the properties and microstructure of M300 maraging steel

Łukasz Woźniak¹, Krzysztof Żaba¹, Maciej Balcerzak¹, Łukasz Kuczek¹, Ilona Różycka¹

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059, Kraków, Polska

Słowa kluczowe: PBF-LB/M, stal maraging M300, obróbka cieplna, HIP, laserowa modyfikacja powierzchni, mikrostruktura, porowatość, właściwości mechaniczne

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu druku 3D metodą PBF-LB/M oraz parametrów postprocessingu na właściwości i mikrostrukturę stali maraging M300. W pierwszym etapie wykonano kształty modeli, wykorzystując różne parametry druku 3D z wykorzystaniem drukarki XactMetal XM200C, w tym moc lasera, odległość między liniami skanowania, grubość warstwy, prędkość i rodzaj skanowania. Następnie kształty poddano procesom obróbki objętościowej, w tym obróbce cieplnej polegającej na przesycaniu i starzeniu oraz HIP w szerokim zakresie parametrów. Próbkę poddano również laserowej modyfikacji powierzchni, polegającej na śrutowaniu i przetapianiu. Próbkę poddano badaniom geometrii za pomocą skanera 3D, porowatości za pomocą tomografii komputerowej, właściwości mechanicznych w próbie rozciągania, twardości Vickersa, chropowatości i topografii powierzchni za pomocą mikroskopu konfokalnego, obserwacji mikrostruktury SEM i analizie fazowej. Na podstawie wyników badań określono optymalne parametry druku 3D i obróbki końcowej, mające na celu uzyskanie minimalnej porowatości, maksymalnej twardości i właściwości mechanicznych stali maraging M300.

Wybrane właściwości scaffoldów drukowanych 3D o różnych wzorach wypełnienia

Selected Properties of 3D-Printed Scaffolds with Different Infill Patterns

Eliza Romańczuk-Ruszek¹, Paulina Tomczyk¹, Bogna Sztorch², Robert E. Przekop²,

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Biomedycznej,
ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok; e.romanczuk@pb.edu.pl;

² Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 10, 61-614 Poznań; rprzekop@amu.edu.pl,
bogna.sztorch@amu.edu.pl

Słowa kluczowe: druk 3D, skafoldy, inżynieria tkankowa, właściwości mechaniczne

Keywords: 3D printing, scaffolds, tissue engineering, mechanical properties

Scaffoldy stanowią kluczowy element w inżynierii tkankowej, pełniąc rolę tymczasowej, trójwymiarowej matrycy wspierającej procesy regeneracji tkanek. Dzięki kontrolowanej architekturze porów oraz możliwości personalizacji, druk 3D umożliwia precyzyjne odwzorowanie geometrii scaffoldów, co pozwala na dostosowanie ich właściwości mechanicznych i biologicznych do specyficznych wymagań.

W niniejszej pracy zaprojektowano i wykonano trzy typy scaffoldów z żywicy fotopolimerowej, różniące się geometrią wewnętrzną. Po procesie druku 3D próbki poddano procesowi fotoutwardzania w dwóch wariantach czasowych: 30 i 60 minut, a następnie przeprowadzono wybrane właściwości mechaniczne oraz obserwacje struktury, w celu oceny wpływu badanych czynników na uzyskane właściwości.

Uzyskane wyniki potwierdziły, że architektura scaffoldów ma istotny wpływ na ich wytrzymałość mechaniczną. Konstrukcje o wyższej gęstości wypełnienia wykazywały większą odporność na obciążenia ściskające w porównaniu ze strukturami bardziej porowatymi. Zaobserwowano również, że wydłużenie czasu utwardzania sprzyjało poprawie wybranych parametrów mechanicznych, choć jego znaczenie było mniejsze niż efekt związany z architekturą wewnętrzną.

Otrzymane wyniki wskazują, że odpowiednie zaprojektowanie geometrii scaffoldów, w połączeniu z optymalizacją procesu utwardzania, stanowi kluczowy element w przygotowaniu rusztowań dla zastosowań biomedycznych.

Possibilities of Supportless Metal Additive Manufacturing

Jiri Hajnys^{1,2}, Quoc-Phu Ma¹

¹ Faculty of Mechanical Engineering, VSB—Technical University of Ostrava, 70800, Ostrava, Czech Republic

² Faculty of Manufacturing Technologies, Technical University of Košice with a Seat in Prešov, 080 01 Prešov, Slovakia

Keywords: SLM, PBF, Supportless, 3D print, additive manufacturing.

This study addresses the possibilities and experimental validation of support-free metal additive manufacturing. Despite the high degree of design freedom offered by this technology, it remains constrained by the necessity of support structures, particularly for low-angle overhangs. Unsupported regions are highly susceptible to residual stresses and surface defects such as warpage and dross formation, primarily resulting from insufficient heat dissipation and rapid solidification. From the limited body of literature, it is evident that most studies focus on optimizing downskin printing, while others investigate alternative approaches such as heat-support methods, the addition of surface-active elements, dissolvable supports, optimization of support or component geometry, and infrared powder preheating. Nevertheless, a systematic and repeatable strategy for reliable support-free printing is still lacking.

In this work, the High-Energy Downskin technique was selected for experimental evaluation. A Design of Experiments (DoE) was conducted with a total of 18 samples with 7 different angles, varying laser power, scanning speed, and energy density. The results demonstrate a significant improvement in surface roughness with increased laser power, see Fig. 1. Based on these findings, a process map was established (see Fig. 2) to determine and predict the optimal printing parameters, enabling reliable support-free manufacturing of bridge-like geometries.

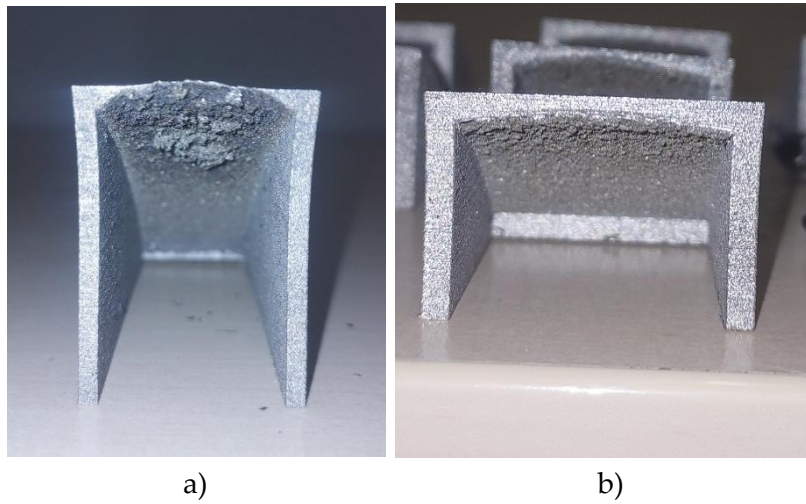


Figure 1. Bridge shape sample a) with standard parameters, b) with high energy parameters

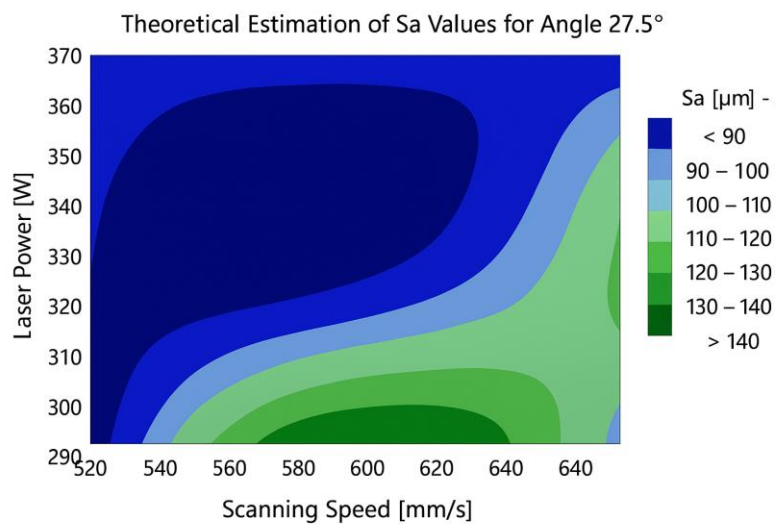


Figure 2. Theoretical Estimation of Sa value

Wpływ powłoki Ti na właściwości materiału MED610 do zastosowań medycznych

Joanna Kowalczyk¹, Katarzyna Piotrowska¹, Tomasz Kozior¹

¹ Kielce University of Technology; Faculty of Mechatronics and Mechanical Engineering,
jkowalczyk@tu.kielce.pl, kpawelec@tu.kielce.pl, tkoziior@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: MED610, powłoka Ti, kąt zwilżania, tarcie, zużywanie.

Keywords: MED610, Ti coating, friction, wear, contact angle.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących modyfikacji powierzchni materiału MED610, powszechnie wykorzystywanego w prototypowaniu elementów do zastosowań medycznych. Analizie poddano próbki w dwóch wariantach przygotowania powierzchni: niepolerowane (oczyszczone po wydruku 3D) oraz poddane obróbce mechanicznej (polerowane). Na wszystkie próbki naniesiono powłokę tytanową metodą fizycznego osadzania z fazy gazowej - PVD. Ocenie poddano strukturę geometryczną powierzchni przed i po polerowaniu oraz przed i po osadzeniu powłoki, zwilżalność, a także właściwości tribologiczne w warunkach smarowania sztuczną śliną. W testach tribologicznych jako przeciwpróbkę zastosowano kulę stalową.

Analiza kąta zwilżania wykazała, że powierzchnie niepolerowane cechują się lepszą zwilżalnością niż polerowane. Najniższy kąt zwilżania odnotowano dla próbki niepolerowanej z powłoką Ti, co potwierdza jej właściwości hydrofilowe. Z kolei powierzchnie polerowane – zarówno z powłoką, jak i bez niej – wykazywały wyższe kąty zwilżania, a obecność powłoki dodatkowo zwiększała ich hydrofobowość. W badaniach tribologicznych najniższą wartość średniego współczynnika tarcia (0.36) zaobserwowano dla próbki niepolerowanej bez powłoki. Dla pozostałych wariantów współczynnik ten mieścił się w zakresie od 0.52 do 0.59. Zastosowanie powłoki Ti na powierzchni niepolerowanej wpłynęło korzystnie na stabilność przebiegu zużycia liniowego oraz nieznacznie obniżyło jego wartość w porównaniu do próbki bez powłoki. Co istotne, próbki polerowane zużywały się mniej niż niepolerowane, natomiast naniesienie powłoki Ti na powierzchnię niepolerowaną pozwoliło ograniczyć zużycie aż o 40%.

Uzyskane wyniki potwierdzają zasadność zastosowania powłoki Ti w celu poprawy właściwości użytkowych materiału MED610. Modyfikacja ta przyczynia się do zwiększenia odporności na zużycie oraz umożliwia kontrolę właściwości powierzchniowych, co może mieć istotne znaczenie w kontekście zastosowań w środowisku jamy ustnej.

Numerical and Environmental Assessment of 3D-Printed Liners for Type IV Composite Pressure Vessels

Mohd Shahneel Saharudin¹

¹ Robert Gordon University, Scotland; s.saharudin@rgu.ac.uk

Keywords: 3D printing, composite, vessel

Composite pressure vessels play a vital role in gas storage due to their reduced weight compared with Type III vessels. While Type III vessels employ metallic liners, Type IV vessels utilise polymeric liners, which can be manufactured through conventional injection moulding or emerging additive manufacturing methods. Among these, 3D printing offers greater flexibility in both design and fabrication. The novelty of this research lies in its combined focus on performance analysis and sustainability assessment, areas that remain underexplored in the literature. A digital model of the vessel was developed in SolidWorks 2025, and finite element analysis was conducted to evaluate burst pressure and deformation behaviour. Additionally, life cycle sustainability studies were performed on the digital design and manufacturing process to assess environmental impacts. The findings demonstrate that the fused deposition modelling (FDM) technique provides enhanced design flexibility and a more environmentally sustainable alternative to Type III pressure vessels.



HYDROPRESS®
hydraulika siłowa

www.hydropress.pl

HYDROPRESS DZIAŁA JUŻ OD 28 LAT

Działalność firmy opiera się na kompleksowej dostawie wysokiej jakości komponentów hydraulicznych w branży hydrauliki siłowej, a także na usługach doradztwa technicznego, projektowaniu, montażu i serwisie.

W 2023 r. firma Hydropress uruchomiła Centrum Badawczo - Rozwojowe w Rumii. Prowadzone są w nim badania oraz usługi z zakresu innowacyjnych technologii i materiałów.

Główne obszary badawcze:

- Druk 3D z metalu (DMLS/SLM)
- Reverse engineering i modelowanie 3D-CAD
- Projektowanie, budowa i montaż elementów hydraulicznych
- Nowe materiały w hydraulice siłowej oraz powłoki zabezpieczające



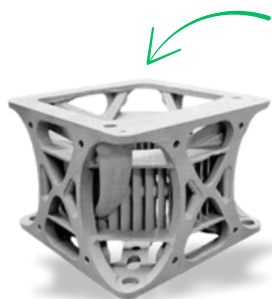
CENTRUM BADAWCZO-ROZWOJOWE W RUMI

2000 M2 POWIERZCHNI



CENTRUM LOGISTYCZNE
I SIEDZIBA FIRMY
HYDROPRESS W ELBLĄGU

7000 M2 POWIERZCHNI



**USŁUGI
DRUKU 3D
Z METALU**

- DMLS / SLM

AMTH

Additive Manufacturing
Technology
by Hydropress

www.amth.pl

Centrum Badawczo-Rozwojowe Hydropress ma największy w Polsce system druku 3D z metalu (EOS M400, EOS M290) oraz wyposażenie do kompleksowej obsługi w zakresie badań i obróbki końcowej wytwarzanych produktów. Centrum realizuje usługi pod marką AMTH.

DRUK 3D Z TWORZYW SZTUCZNYCH

- SLS
- FDM



SKANOWANIE 3D



OBRÓBKA POWIERZCHNI

- piaskowanie
- szkiełkowanie
- szlifowanie
- powlekanie chemiczne (niklowanie)
- powlekanie elektrochemiczne
- barwienie



BADANIA

- badania składu materiałów i powłok:
 - ➔ spektrometria iskrowa
 - ➔ spektrometria X-ray
- mikroskopia metalograficzna
- endoskopia
- badania twardości
- badania chropowatości
- badania antykorozyjne w komorze solnej



OBRÓBKA CNC

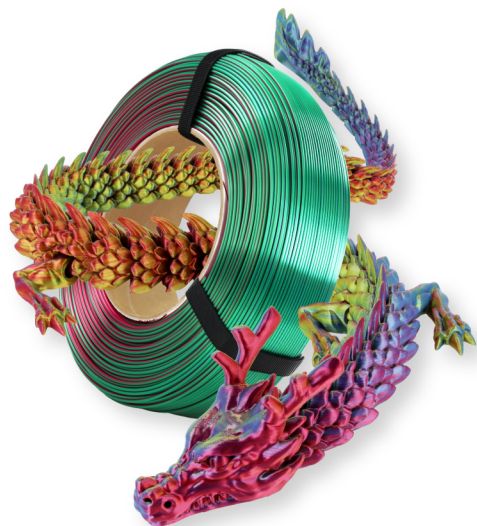
- frezowanie
- toczenie
- elektrodrażenie



OBRÓBKA TERMICZNA

- piec komorowy temp. do 13000 C





FILAMENTY HOBBISTYCZNE

POLSKI PRODUCENT FILAMENTÓW DO DRUKU 3D

FILAMENTY TECHNICZNE

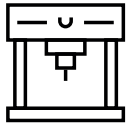


LAUREAT DIAMENTÓW FORBESA 2025

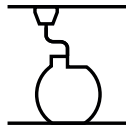


Technologiami druku 3D przyspieszamy i upraszczamy produkcję

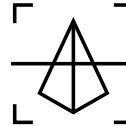
NASZ ZAKRES DZIAŁALNOŚCI



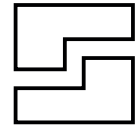
DRUKARKI 3D



USŁUGI DRUKU 3D



SKANERY 3D



PROJEKTOWANIE

TECHNOLOGIE DRUKU 3D W NASZEJ OFERCIE

Technologia SLS i SAF



Technologia SLA i LFD



Technologia FDM



Technologia SLM



Technologia PolyJet



- Technologie proszkowe (PP, PA-12, PA-11)
- Wydruki odporne temperaturowo i chemicznie
- Produkcja seryjna (druk wieloelementowych komór roboczych), przemysł (wysoka precyzja i ekonomiczność)
- Druk 3D z żywic za pomocą lasera lub ekranu LCD
- Dostępna szeroka gama żywic i maszyny wielkogabarytowe
- Wysoka precyzja, gładka powierzchnia, skomplikowane geometrie wydruków
- Prototypowanie, produkcja części, szybki tooling, stomatologia
- Najpopularniejsza w przemyśle technologia
- Produkcja wytrzymałych detali z różnych materiałów
- Możliwość użycia materiałów wzmacnianych włóknem węglowym i szklanym
- Spersonalizowane narzędzia, części zamienne, prototypy testowe
- Druk 3D z metalu poprzez topienie proszków
- Możliwość tworzenia skomplikowanych geometrii (kanały, siatki)
- Zastosowania: przemysł, stomatologia, implantologia, transport, lotnictwo, motoryzacja
- Wydruki nawet do 1,5 m
- Druk 3D w pełnej palecie kolorów RAL
- Możliwość łączenia różnych materiałów
- Wzornictwo przemysłowe (prototypy funkcjonalne), medycyna (modele anatomiczne na podstawie skanów pacjenta), stomatologia (protezy monolityczne, modele)

OFICJALNY DYSTRYBUTOR MAREK

