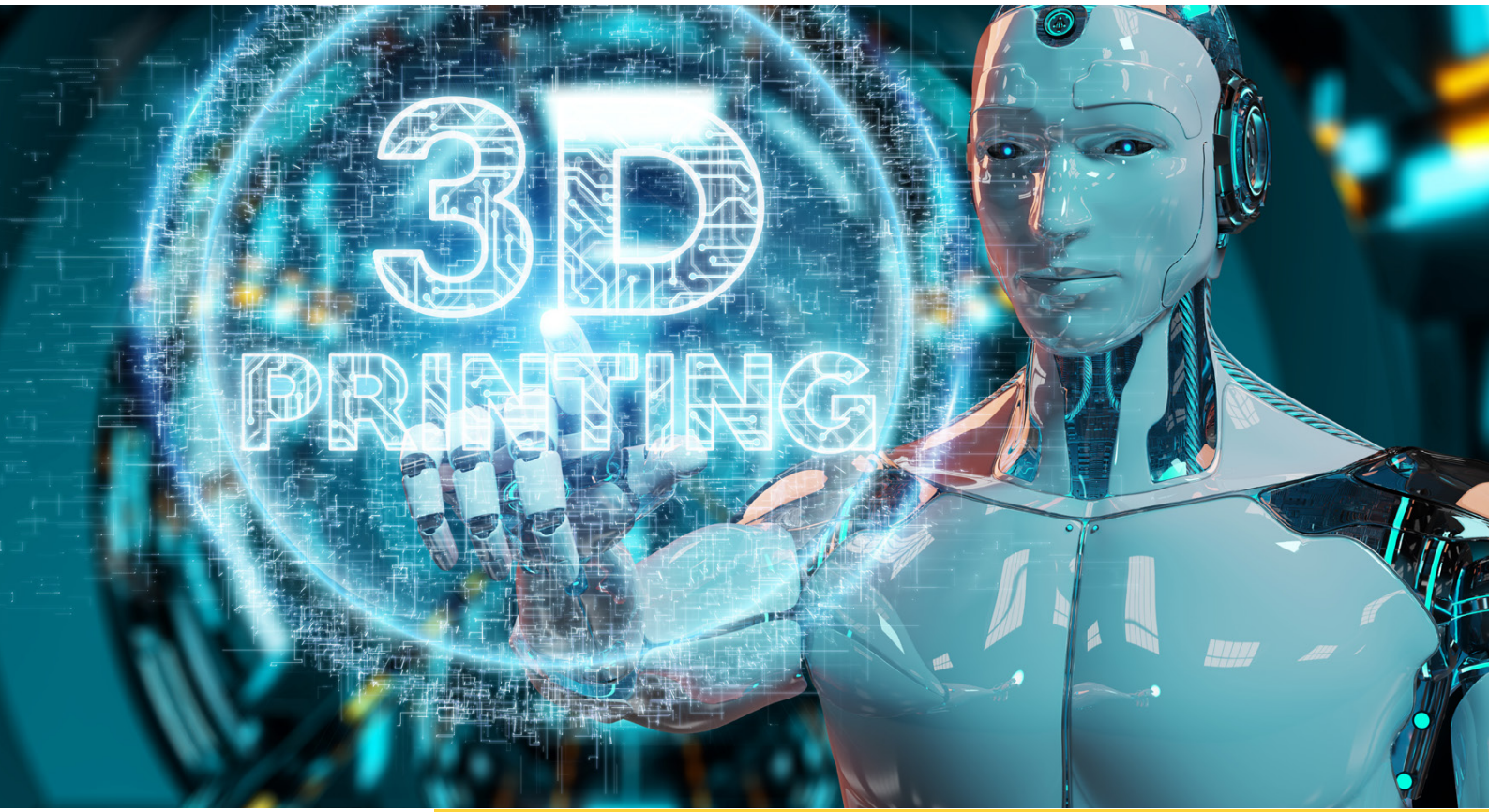
Politechnika Świętokrzyska
WYDZIAŁ MECHATRONIKI I BUDOWY MASZYN

Targi Kielce
exhibition & congress centre
30 LAT YEARS



V Konferencja Naukowa

Szybkie Prototypowanie

DRUK 3D & 4D

w zastosowaniach inżynierskich

19-20.09.2022

Kielce

www.szybkieprototypowanie.eu

V Konferencja Naukowa

SZYBKIE PROTOTYPOWANIE

DRUK 3D & 4D W ZASTOSOWANIACH INŻYNIERSKICH

Kielce, 19-20 września 2022

MATERIAŁY KONFERENCYJNE

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący

dr inż. Tomasz Kozior

Zastępcy przewodniczącego

dr inż. Damian Gogolewski

dr hab. inż. Paweł Zmarzły

Sekretarze

mgr inż. Mateusz Rudnik

mgr inż. Wiktor Szot

Członkowie

dr hab. inż. Jerzy Bochnia, dr hab. inż. Monika Madej, dr inż. Muammel M. Hanon, dr inż. Michał Skrzyniarz, dr inż. Łukasz Nowakowski, dr inż. Małgorzata Błasiak, mgr inż. Paweł Szczygieł, mgr inż. Mateusz Musiałek, mgr inż. Katarzyna Piotrowska, mgr inż. Al Mamun, mgr inż. Natalia Kowalska, mgr inż. Murni Balqis Hashim

KOMITET NAUKOWY

Przewodniczący

dr hab. inż. Sławomir BŁASIAK, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

Wiceprzewodniczący

dr hab. Jakub TAKOSOGLU, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

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

prof. dr hab. inż. Mariusz OLEKSY - Politechnika Rzeszowska

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

Członkowie komitetu naukowego

prof. dr hab. inż. Zbigniew KORUBA, - Politechnika Świętokrzyska
prof. dr. dr. hab. Andrea EHRMANN - Bielefeld University of Applied Science, Niemcy
prof. dr hab. inż. Czesław KUNDERA, - Politechnika Świętokrzyska
prof. dr hab. inż. Józef GAWLIK - Politechnika Krakowska

prof. dr hab. inż. Stanisław LEGUTKO - Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. Thomas MATHIA - Directeur de Recherche Emérite au C.N.R.S, Francja
prof. dr hab. inż. Stanisław ADAMCZAK - prof. Politechniki Świętokrzyskiej
assoc. prof. dr. Mohd Zaid Abu YAZID - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
prof. dr hab. inż. Jarosław SĘP - Politechnika Rzeszowska
prof. dr hab. inż. Michał WIECZOROWSKI - Politechnika Poznańska
dr hab. inż. Jerzy BOCHNIA, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
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. Marek IWANIEC, prof. Akademii Górniczo - Hutniczej
dr hab. inż. Jerzy JÓZWIK, prof. Politechniki Lubelskiej
dr hab. inż. Bogdan KOZIK, prof. Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. inż. Grzegorz KRÓLCZYK - Politechnika Opolska
dr hab. inż. Izabela KRZYSZTOFIK, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. inż. Aleksander MAZURKOW, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Adam MARCINIEC, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Monika MADEJ, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. inż. Włodzimierz MAKIEŁA, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. Mariusz RUSZEL, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Leszek SKOCZYLAS, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Mariusz SOBOLAK prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Andrzej TRYTEK, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Grzegorz WOJNAR, prof. Politechniki Śląskiej
dr hab. inż. Szymon WOJCIECHOWSKI, prof. Politechniki Poznańskiej
dr inż. Michał BATSCH - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Jacek BERNACZEK - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Marek BOLANOWSKI, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr inż. Maciej CADER - PIAP
dr inż. Paweł GIL - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Damian GOGOLEWSKI - Politechnika Świętokrzyska
dr hab. inż. Paweł Zmarzły - Politechnika Świętokrzyska
dr inż. Tomasz KOZIOR - Politechnika Świętokrzyska
dr inż. Roman GRYGORUK - Politechnika Warszawska
dr inż. Jiri HAJNYS - VSB Technical University Ostrava, Czechy
dr inż. Tomasz BARTKOWIAK - Politechnika Poznańska

dr inż. Marek MAGNISZEWSKI - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Rafał OLIWA - Politechnika Rzeszowska
doc. dr inż. Marek PAGÁČ - VSB Technical University Ostrava, Czechy
dr inż. Andrzej PASZKIEWICZ, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr inż. Jadwiga PISULA - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Łukasz PRZESZŁOWSKI - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Grzegorz PRZYDATEK - PWSZ Nowy Sącz
dr inż. Mohd Shahneel SAHARUDIN - Engineering School Robert Gordon University, Wielka Brytania
dr Lilia SABANTINA - Bielefeld University of Applied Science, Niemcy
dr inż. Nik Mohamad FARID - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
dr Sangeeth SURESH - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
dr Nur Syazana OSMAN - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
dr Jaronie Mohd JANI - Universiti Kuala Lumpur, Malezja
dr inż. Przemysław SIEMIŃSKI - Politechnika Warszawska
dr inż. Paweł TUREK - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Dawid WYDRZYŃSKI - Politechnika Rzeszowska
dr inż. Małgorzata ZABORNIAK - Politechnika Rzeszowska
dr Dominik ZIMON, prof. Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Rafał JURECKI, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

Szanowni Państwo,

V Konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie jest już dojrzałym cyklicznym wydarzeniem, które łączy zarówno środowisko naukowe jak i biznesowe związane z technologiami druku 3D/4D oraz innowacyjnymi technologiami wytwarzania i wspomagania procesów produkcji.

Przemysł 4.0, a także działania z tym związane wchodzą obecnie w zaawansowaną fazę, co sprawia, że tematyka konferencji jest niezwykle aktualna i istotna. Druk 3D/4D odgrywa kluczową rolę w trwającej transformacji przemysłowej, a konferencja naukowa jest doskonałą formą transferu aktualnej wiedzy naukowej, przemysłowej i biznesowej. Liczymy, że zarówno wystąpienia prelegentów jak i rozmowy w kuluarach przyniosą Państwu wiele inspiracji związanych z działalnością badawczą i dydaktyczną, a także przyczynią się do pogłębienia i ugruntowania współpracy pomiędzy uczestnikami konferencji.

Miejscem konferencji są Targi Kielce, które od niemal 30 lat z powodzeniem łączą przedstawicieli przemysłu oraz nauki, a także środowiska społeczno-gospodarcze. Długa i owocna współpraca pomiędzy Targami Kielce, a Politechniką Świętokrzyską od bardzo wielu lat pozwala na zacieśnianie relacji na styku nauki i przemysłu.

Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej od niemal 12 lat zajmuje się badaniami technologii druku 3D, a obecnie również druku 4D. Dzięki współpracy z ośrodkami naukowymi zarówno w kraju i zagranicą, Pracownicy naszego Wydziału z powodzeniem zdobywają nową wiedzę, a także cenne doświadczenia związane z unowocześnianymi przyrostowymi technologiami wytwarzania zarówno w zakresie dostosowania programów nauczania jak i badań. Doskonałym tego przykładem jest nowo powstałe w Politechnice Świętokrzyskiej Centrum Naukowo-Wdrożeniowe Inteligentnych Specjalizacji Regionu Świętokrzyskiego – CENWIS wspomagające naukowo środowisko przemysłowe w wysoko wyspecjalizowanych badaniach wdrożeniowych.

Kontynuacja konferencji w formie hybrydowej zapoczątkowana w 2021 roku podczas IV edycji okazała się doskonałym rozwiązaniem, które pozwoliło na zwiększenie i uzupełnienie możliwości wymiany i transferu wiedzy, również wśród uczestników z zagranicy. Uzupełnieniem tej formy jest dodatkowe tłumaczenie symultaniczne dla wszystkich uczestników biorących czynny udział w tym wydarzeniu.

W imieniu organizatorów oraz Komitetu Naukowego konferencji serdecznie dziękujemy za udział wszystkim uczestnikom. Jednocześnie serdecznie dziękujemy Prezesowi Głównego Urzędu Miar Panu Profesorowi Jackowi Semaniakowi, Marszałkowi Województwa Świętokrzyskiego Panu Andrzejowi Bętkowskiemu oraz Prezydentowi Miasta Kielce Panu Bogdanowi Wencie za objęcie patronatem V Konferencji Naukowej Szybkie Prototypowanie. Jednocześnie wyrażamy duże podziękowania dla wszystkich sponsorów oraz partnerów konferencji.

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

Druk 3D/4D w zastosowaniach inżynierskich

Technologie druku 3D znane są już od ponad czterdziestu lat, jednak dopiero obecnie ich stan zaawansowania jest na tyle duży, że możliwe jest ich bardzo szerokie, praktyczne wykorzystanie przemysłowe.

Historia rozwoju technologii druku 3D podzielona może zostać na cztery kluczowe etapy mniej więcej zajmujące około dekady.

Pierwsza dekada rozpoczynająca się w połowie lat 80-tych to powstanie pierwszych komercyjnych technologii przyrostowych takich jak FDM czy SLA. Systemy te charakteryzowały się ograniczoną dokładnością wytwarzanych modeli oraz bardzo wąską grupą stosowanych materiałów modelowych oraz wspierających.

W kolejnej dekadzie zauważyć można silny rozwój wielu nowych systemów druku 3D, w dużej mierze bazujących na technologiach laserowego spiekania i topienia proszków zarówno tworzyw sztucznych (SLS) jak i metali (SLM, LENS, DMLS) oraz metod bazujących na polimeryzacji (PJ, PJM, MJM).

Trzecia dekada dotyczy głównie rozwoju uprzednio wymienionych technologii w aspekcie zmniejszenia gabarytów drukarek 3D jak i wzrostu wymiarów przestrzeni komór roboczych oraz możliwości wytwarzania z tym związanych. W okresie tym jednocześnie wprowadzono znaczne unowocześnienia w zakresie sterowania procesem technologicznym, ze szczególnym uwzględnieniem kontroli procesu poprzez odpowiedni dobór sterowania parametrami technologicznymi. Czynności te wpłynęły na znaczny wzrost precyzji wytwarzanych modeli oraz na ich jakość w aspekcie zgodności z modelami CAD. Ponadto zabiegi te pozwoliły na redukcje niekorzystnego zjawiska anizotropii właściwości mechanicznych jednak ostatecznie go nie wyeliminowały.

Ostatnia trwająca czwarta dekada dotyczy rozwoju druku 3D w dwóch istotnych obszarach: chemii materiałów oraz druku 4D. W kontekście nowych materiałów z całą pewnością należy zwrócić szczególną uwagę na ogromny rozwój związany z technologią FDM – gdzie obecnie do dyspozycji mamy nie tylko materiał PLA, czy ABS, ale i filamenty na bazie poliamidów – PA, poliwęglanów - PC, PTFE, PLA wzmacnianych włóknami węglowymi oraz innymi dodatkami zmieniającymi zarówno wygląd jak i właściwości (elastyczność, właściwości cierne, twardość etc.). Rozwój materiałów nie ominął technologii na bazie proszków metali, gdzie do spektrum materiałów wlicza się zarówno stale nisko jak i wysoko stopowe, proszki na bazie tytanu do zastosowań medycznych i stomatologicznych jak i na bazie bardzo pożądanego przez przemysł aluminium. Wzrost dostępnych materiałów sprawił, że druk 3D stosowany jest już nie tylko w prototypowaniu, ale i wykorzystywany jest do budowy krótkich serii funkcjonalnych modeli, gdzie głównym ich odbiorcą jest przemysł motoryzacyjny, lotniczy, zbrojeniowy, spożywczy, medyczny, w tym stomatologiczny, architektoniczny, odlewniczy, branża naukowo-dydaktyczna oraz wiele innych.

Wspomniany rozwój chemii materiałów sprawił, że możemy mówić o wkroczeniu technologii druku 3D na nową ambitną, inteligentną ścieżkę – druku 4D. Uwzględnienie w druku 3D kolejnego wymiaru w postaci czasu oraz zastosowanie nowych inteligentnych materiałów sprawia, że przed technologiami przyrostowymi otwierają się nowe możliwości

zastosowań oraz ścieżki rozwoju. Inteligentne materiały podnoszą jakość wytwarzanych modeli zwiększając ich cechy użytkowe oraz umożliwiają zmianę charakterystyki pracy wytwarzanych warstwowo modeli inicjowanej za pomocą odpowiedniego bodźca jakim może być czas, temperatura, pole magnetyczne etc. Coraz śmielej technologie druku 3D/4D wykorzystywane są w obszarach, w których do niedawna ze względu na niską jakość wytwarzanych modeli nie było możliwe ich wdrożenie. Podniesienie jakości wytwarzanych modeli uzyskano również poprzez wdrożenie do mechanizmu pracy drukarki 3D takich rozwiązań jak **self-decision-making machine**, które pozwalają na usprawnienie procesu wytwarzania oraz na bardziej efektywną kontrolę procesu w celu budowy modeli o wysokiej oczekiwanej przez klienta jakości. Zarządzanie jakością poprzez sterowania procesem technologicznym doskonale wpisuje się w realia technologii druku 4D, gdzie **smart material** oraz smart design przenoszą znany do niedawna druk 3D na nowy wyższy poziom druku 4D.

Wydaje się, że kolejna piąta dekada z całą pewnością ukierunkowana będzie na rozwój w dziedzinie metrologii druku 3D/4D, gdzie wiele stosowanych obecnie materiałów na bazie poliamidów czy ciekłych żywic polimerowych wykazuje pewne trudności pomiarowe. Z całą pewnością pozwoli to na wytwarzanie jeszcze bardziej precyzyjnych modeli oraz przyczyni się do wzrostu zastosowania technologii przyrostowych w nowych gałęziach przemysłu.

Jak można zauważyć druk 3D w ostatniej dekadzie bardzo mocno ewoluował i stał się bardzo zaawansowanym narzędziem do praktycznych zastosowań inżynierskich.

dr hab. inż. Sławomir Błasiak, prof. PŚk
dr hab. inż. Jerzy Bochnia, prof. PŚk
dr inż. Tomasz Kozior

SPIS TREŚCI

Małgorzata Zaborniak, Grzegorz Budzik, Łukasz Kochmański, Kacper Kondrat, *Wybrane aspekty technologii przyrostowych w wytwarzaniu części zamiennych dla przemysłu motoryzacyjnego, Selected aspects of additive technologies in the production of spare parts for the automotive industry* 11

Jerzy Bochnia, Tomasz Kozior, Paweł Szczygieł, Mateusz Musiałek, *Analiza właściwości mechanicznych cienkościennych próbek wykonanych technologią przyrostową FDM, Analysis of the mechanical properties of thin-walled samples made with the FDM additive technology*.....13

Grzegorz Budzik, Jerzy Józwik, Mateusz Przytuła, Andrzej Paszkiewicz, *Możliwości monitorowania procesu wytwarzania przyrostowego na farmie drukarek 3D, Possibilities of monitoring the additive manufacturing process on a 3D printer farm* 15

Tomasz Dziubek, Grzegorz Budzik, Bartłomiej Sobolewski, Konrad Pawłowski, *Integracja systemów CAx w procesie inżynierii odwrotnej wirnika turbosprężarki, Integration of CAx systems in the Reverse Engineering process of a turbocharger rotor* 17

Bartłomiej Sobolewski, Grzegorz Budzik, Tomasz Dziubek, Karol Łopaciński, *Badania zawiasu meblowego wytwarzanego przyrostowo z materiału termoplastycznego, Research of furniture hinge manufactured by additive method from thermoplastic material* 19

Bogdan Kozik, Mariusz Dębski, Jadwiga Pisula, *Analiza wytrzymałości połączeń klejowych części wytwarzanych metodami szybkiego prototypowania, Analysis of the strength of adhesive joints of parts manufactured by rapid prototyping methods* 21

Mariusz Oleksy, Kacper Kroczek, Katarzyna Bulanda, Rafał Oliwa, *Kompozyty polilaktydowo-hydroksyapatytowe o potencjalnym zastosowaniu w medycynie, Polylactide-hydroxyapatite composites with potential application in medicine*.....23

Małgorzata Zaborniak, Grzegorz Budzik, Jakub Supel, Izabela Winnicka, *Możliwości zastosowania druku 3D w inżynierii medycznej, Possibilities of using 3D printing in medical engineering* 25

Jacek Bernaczek, *Analiza wybranych właściwości wytrzymałościowych materiału PMMA, Analysis of selected strength properties of PMMA material*.....27

Mariusz Dębski, Bogdan Kozik, Jadwiga Pisula, *Analiza wytrzymałości na skręcanie wybranych żywic chemoutwardzalnych wytwarzanych metodą odlewania pod obniżonym ciśnieniem, Torsional strength analysis of selected chemically hardening resins produced by casting under reduced pressure*.....29

Paweł Szczygieł, Jerzy Bochnia, Tomasz Kozior, Krystyna Radoń-Kobus, *Analiza właściwości mechanicznych materiałów termoplastycznych do zastosowań medycznych w druku 3D/4D, Analysis of mechanical properties of thermoplastic materials for medical applications in 3D/4D printing*.....31

Mateusz Rudnik, Jerzy Bochnia, Tomasz Kozior, *Wybrane właściwości mechaniczne heksagonalnych struktur komórkowych wytwarzanych drukiem 3D., Selected mechanical properties of hexagonal cell structures manufactured by 3D printing.* 33

Paweł Zmarzły, *Ocena walcowości modeli odlewniczych wykonanych wybranymi technologiami przyrostowymi, Assessment of cylindricity of casting patterns made with selected additive technologies*.....35

Damian Gogolewski, *Wieloskalowa ocena powierzchni funkcjonalnych wytwarzanych przyrostowo w zastosowaniach medycznych, Multiscale analysis of additively manufactured functional surfaces in medical applications*.....36

Tomasz Kozior, Mateusz Rudnik, Paweł Szczygieł, Jerzy Bochnia, *Druk 3D/4D - postęp i przyszłość technologii oraz materiałów, 3D/4D printing - progress and future of technologies and materials*.....38

Jerzy Józwik, Grzegorz Budzik, Mateusz Przytuła, Andrzej Paszkiewicz, *Wybrane zagadnienia analizy cech geometrycznych powierzchni części wytwarzanych w technologii przyrostowej SLM, Selected problems of the analysis of geometrical surface features of parts manufactured in SLM additive technology* 40

Katarzyna Bulanda, Mariusz Oleksy, Rafał Oliwa, *Hybrydowe kompozyty polimerowe stosowane w technologii szybkiego prototypowania, Hybrid polymer composites used in rapid prototyping technology*..... 43

Rafał Oliwa, Mariusz Oleksy, Katarzyna Bulanda, *Kompozyty polimerowe stosowane w technologii druku 3D, Polymer composites used in 3D printing technology* 45

Izabela Miechowicz, Jakub Trzyna, Wiktoria Wojnarowska, *Druk 3D jako nowoczesne narzędzie pracy artysty, 3D printing as an innovative tool for artists* 47

Jakub Aniulis, Grzegorz Dudzik, Krzysztof Abramski, *Monitor jakości filamentu dla drukowania włóknem ciągliwym, Filament quality monitor for fused filament fabrication* 49

Łukasz Przeszłowski, Grzegorz Budzik, Łukasz Kochmański, Ireneusz Chrzan, *Analiza wytrzymałości wspornika wykonanego w technologii przyrostowej FFF z optymalizacją topologii, Strength analysis of a bracket made in the FFF incremental technology with topology optimization*..... 51

Jakub Trzyna, Izabela Miechowicz, Wiktoria Wojnarowska, *Recycling materiału podporowego, jako odpadu w procesie druku 3d, Recycling of 3D printing support material*..... 53

Krystyna Radoń-Kobus, Monika Madej, Paweł Szczygieł, Katarzyna Piotrowska, *Ocena właściwości materiałów wykonanych w technologii druku 3D/4D do zastosowań medycznych* 55

Janusz Kluczyński, Lucjan Śnieżek, Krzysztof Grzelak, Jakub Łuszczek, *Systemy wytwarzania przyrostowego w Instytucie Robotów i Konstrukcji Maszyn WIM WAT – rozwiązania technologiczne dla Sił Zbrojnych RP oraz przemysłu cywilnego, Additive manufacturing technologies at the IRiKM WIM WAT - technological solutions for the Armed Forces of the Republic of Poland and the civil industry*..... 57

Katarzyna Piotrowska, Monika Madej, Krystyna Radoń-Kobus Paweł Szczygieł, *Wpływ nanocząstek miedzi na właściwości poliaktydu PLA do zastosowań w systemach biotribologicznych* 58

Andrea Ehrmann, Guido Ehrmann, Tomasz Blachowicz, *Skanery 3D do szybkiego prototypowania i kontroli jakości w druku 3D, Smart textiles from 3D printed shape memory polymers – a review* 60

Zdenek Joska, Jakub Horníček, Tomáš Dražan, Adam Švásta, Zdenek Pokorný and David Dobrocký, *Możliwości wykorzystania druku 3D do produkcji komponentów i części stosowanych w wojsku, Possibilities of using 3D printing for the production of components and parts used in the Army* 61

Maximilian Kroll, *Wytwarzanie addytywne struktur hybrydowych, Additive Manufacturing of hybrid structures* 63

Menuja Suriyathasan, Hannah Brodermanns, Marc Neumann, Lilia Sabantina, *Preliminary sewing studies and determination of the optimal needle size for 3D printing/textile composites prepared using FFF printing technology*..... 65

Tomasz Kozior, Al Mamun, Jiri Hajnys, Michaela Klöcker, Lilia Sabantina, *Analysis of the orientation of nanofibers fabricated with needle-free and needle-based electrospinning technologies and coated onto 3D-printed free-form composites manufactured with FFF, PJM, and SLM technologies* 67

Muammel M. Hanon, László Zsidai, *The tribological characteristics of 3D printed polymers and polymer composites* 69

Murni Balqis Hashim, Paweł Szczygiel, Tomasz Kozior, Nik Farid Nik Ismail, Azman Senin, *Analiza wpływu właściwości wytrzymałościowych malezyjskiej skóry owczej typu nappa na projektowanie szycia odzieży, Inspecting the effect of tensile properties on Malaysia sheepskin nappa leather on garment sewability design* 71

Mohd Shahneel Saharudin, Ahmad Ilyas Rushdan, Islam Shyha, Fawad Inam, *Kompozyty na bazie MXene do zastosowań w druku 3D, MXene-based composites for 3D Printing Applications* 73

Wiktor Zawrocki, Maciej Jędraszak, *Zwiększenie wytrzymałości filamentów do druku 3D przez domieszkowanie grafenem, Improving the durability of 3D printing filaments by addition of graphene*....75

Maciej Gołaszewski, Maciej Tabiszewski, Roman Grygoruk, *BioCloner – pierwsza polska biodrukarka 3D dedykowana do implantów wchłanialnych, BioCloner – first Polish 3D bioprinter dedicated to bioresorbable implants* 77

Grzegorz Budzik, Tomasz Dziubek, Bartłomiej Sobolewski, Małgorzata Gontarz, *Analiza zużycia materiału w procesie wytwarzania kół skorupowych metodami MEX, Analysis of material consumption in the manufacturing process of shell gears with the use of MEX methods*....79

Jakub Łuszczek, Lucjan Śnieżek, Krzysztof Grzelak, Janusz Kluczyński, Harsh Mehta, Maximillian Kroll, *Metodyka implementacji innowacyjnych materiałów w zakresie techniki selektywnego stapiania laserowego, Methodology of implementation of innovative materials in the field of selective laser melting technology*....81

Mateusz Musiałek, Jerzy Bochnia, Damian Gogolewski, *Analiza wpływu parametrów technologicznych na wybrane właściwości mechaniczne elementów cienkościennych wytwarzanych technologią przyrostową FDM, Analysis of the influence of technological parameters on selected mechanical properties of thin-walled elements produced with the FDM additive technology.* 82

Wiktor Szot, Jerzy Bochnia, Paweł Zmarzły, *Ocena relaksacji naprężeń modeli wykonanych technologią przyrostową FDM z materiału elastycznego, Stress relaxation of models made by additive FDM technology from flexible material*....84

Natalia Kowalska, Sławomir Błasiak, Michał Skrzyniarz, Łukasz Nowakowski, *Wpływ obróbki wykończeniowej na wybrane wielkości geometryczne elementów z materiału PLA wytwarzanego w technologii FDM, Influence of Finishing Process on Selected Geometrical Parameters of PLA Parts Produced by FDM Technology* 86

Vladyslav Andrusyshyn, Vitalii Ivanov, Sławomir Luściński, Ivan Pavlenko, *Zastosowanie technologii addytywnych w prototypowaniu chwytaków, The use of additive technologies in the prototyping of grippers* 88

Anna Gębarska, Anna Wilczak, *Skanery 3D do szybkiego prototypowania i kontroli jakości w druku 3D, 3D scanners for rapid prototyping and quality control in 3D printing* 89

Maciej Cader, Wojciech Kiński, Piotr Falkowski, Grzegorz Fiuk, *Badania wytrzymałości na rozciąganie próbek wydrukowanych w technologii DMLS z materiału ALSI10mg, Tests of tensile strength of samples printed in DMLS technology from ALSI10mg material* 91

Wybrane aspekty technologii przyrostowych w wytwarzaniu części zamiennych dla przemysłu motoryzacyjnego

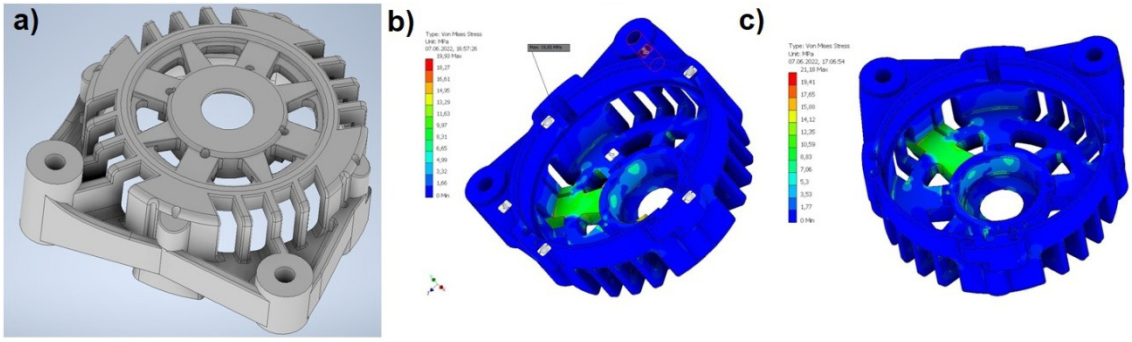
Selected aspects of additive technologies in the production of spare parts for the automotive industry

Małgorzata Zaborniak[1], Grzegorz Budzik[1], Łukasz Kochmański[1], Kacper Kondrat[2]

[1] Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn; mzab@prz.edu.pl; gbudzik@prz.edu.pl, l.kochmanski@prz.edu.pl

[2] Politechnika Rzeszowska; 157564@stud.prz.edu.pl

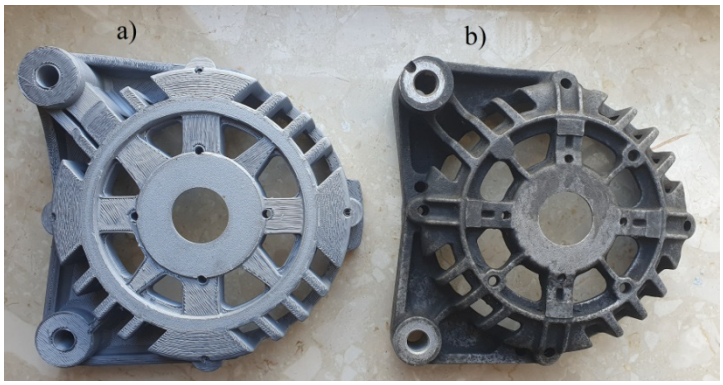
Wytwarzanie części zamiennych metodami przyrostowymi wymaga analizy i doboru odpowiednich materiałów do ich wytwarzania, szczególnie w przypadku kiedy części oryginalne wykonywane są technologiami konwencjonalnymi. Wybór materiałów do druku 3D jest tym trudniejszy, że wymaga poszerzonej wiedzy inżynierskiej. Ponieważ, materiały te różnią się od materiałów tradycyjnych, takimi parametrami jak moduł Younga czy też wytrzymałością na rozciąganie i ściskanie, a ze względu na przyrostową technologię wykonywania mogą mieć też charakter orientacyjny. W ramach przeprowadzonych prac badawczych Autorzy podjęli próbę opracowania modelu korpusu alternatora z zastosowaniem technologii addytywnej. W ramach przeprowadzonych badań, wykonano modele 3D-CAD korpusu alternatora, a następnie na podstawie przeprowadzonych badań MES (rys.1), dobrano materiał i metodę wydruku 3D.



Rysunek 1. Model korpusu alternatora: a) geometria 3D-CAD, b) naprężeń Von Mises dla elementu z PEEK c) rozkład naprężeń Von Mises dla elementu z ULTEM 9085

Obudowa alternatora jest narażona na działanie podwyższonych temperatur w komorze silnika na stałym poziomie około 80°C, z możliwością chwilowego wzrostu temperatury do 130°C. Materiał musi być odporny na drgania występujące w pojeździe, spowodowane pracą

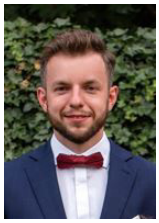
silnika oraz jazdą po nierównych nawierzchniach. Dodatkowo wykazywać musi odpowiednią sztywność. Biorąc pod uwagę powyższe wymagania, możliwymi do wykorzystania materiałami dla tego typu konstrukcji są materiały typu: PEEK, proszki aluminium oraz ULTEM 9085. Takie podejście do projektowania części zamiennych z analizą naprężeń i odkształceń konstrukcji pozwala na zmniejszenie masy konstrukcji, dając możliwość jej uproszczenia, przy zachowaniu tej samej funkcjonalności (rys.2).



Rysunek 2. Model obudowy alternatora a) wydrukowany model obudowy, b) oryginalna obudowa

Słowa kluczowe: druk 3D, alternator, MES, Rapid Prototyping.

Keywords: 3D Printing, alternator, MES, Rapid Prototyping.

	Dr inż. Małgrozata Zaborniak, adiunkt w Katedrze Konstrukcji Maszyn. Działalność badawcza koncentruje się głównie na zagadnieniach współrzędnościowych technik pomiarowych, inżynierii odwrotnej (RE) w procesie projektowania i wytwarzania części maszyn. Ponadto aplikacji technologii RP w inżynierii medycznej.
	Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik – Kierownik Katedry Konstrukcji Maszyn na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia z zakresu przyrostowych technik wytwarzania, inżynierii odwrotnej, inżynierii materiałowej, systemów CAD oraz INDURSTY 4.0.
	Mgr inż. Łukasz Kochmański, doktorant 2-roku Szkoły Doktorskiej Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej dyscyplina naukowa inżynieria materiałowa. Pracownik Katedry Konstrukcji Maszyn wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa. Na co dzień zajmuje się przyrostowymi metodami wytwarzania (druk 3D), zarówno od strony naukowej jak i technicznej.
	Mgr inż. Kacper Kondrat. Absolwent Politechniki Rzeszowskiej. Zainteresowania dotyczą nowoczesnych systemów wytwarzania, technologii Rapid Prototyping oraz motoryzacji.

Analiza właściwości mechanicznych cienkościennych próbek wykonanych technologią przyrostową FDM

Analysis of the mechanical properties of thin-walled samples made with the FDM additive technology

Jerzy Bochnia[1], Tomasz Kozior[1], Paweł Szczygieł[1], Mateusz Musiałek[1]

[1] Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii; jbochnia@tu.kielce.pl; tkozior@tu.kielce.pl; pszczygiel@tu.kielce.pl; mmusialek@tu.kielce.pl

W pracy opisano wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie próbek wykonanych z materiału ABS medyczny przy pomocy metody FDM (Fused Deposition Modeling). Zastosowano próbki cienkościenne o niestandardowych grubościach nominalnych 1, 1,4 i 1,8 mm, wykonane w trzech kierunkach drukowania X, Y i Z oraz próbkę referencyjną o grubości 4 mm. W opisie uwzględniono wpływ kierunku druku na geometrię otrzymanych próbek. Pokazano zdjęcia stereoskopowe makrostruktury w poszczególnych przekrojach rozerwanych elementów. Przeprowadzono symulację obciążeń z zastosowaniem MES. Wyniki mogą być przydatne dla inżynierów projektantów i technologów projektujących elementy cienkościenne wytwarzane przy użyciu technologii FDM.

Słowa kluczowe: technologia FDM, wytrzymałość na rozciąganie, elementy cienkościenne.

Keywords: FDM technology, tensile strength, thin-walled elements.

	dr hab. inż. Jerzy Bochnia prof. PŚk jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zatrudnionym w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.
	dr inż. Tomasz Kozior jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, zatrudnionym w Katedrze Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania. Od 2012 roku zajmuje się badaniami własności mechanicznych, metrologicznych i tribologicznych materiałów stosowanych w druku 3D/4D.
	mgr inż. Paweł Szczygieł jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na ww. uczelni. Zajmuje się badaniami dotyczącymi zastosowania druku 3D/4D w medycynie.
	mgr inż. Mateusz Musiałek jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na Uniwersytecie Technologiczno-Humanistycznym im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu. Zajmuje się badaniami elementów cienkościennych wytwarzanych w technologii druku 3D.

Możliwości monitorowania procesu wytwarzania przyrostowego na farmie drukarek 3D

Possibilities of monitoring the additive manufacturing process on a 3D printer farm

Grzegorz Budzik[2], Jerzy Józwik[1], Mateusz Przytuła[3], Andrzej Paszkiweicz[4]

[1] Politechnika Rzeszowska; Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa; gbudzik@prz.edu.pl
[2] Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny; j.jozwik@pollub.pl
[3] Politechnika Rzeszowska, Szkoła Doktorska Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej; m.przytula@prz.edu.pl
[4] Politechnika Rzeszowska; Wydział Elektrotechniki i Informatyki; andrzejp@prz.edu.pl

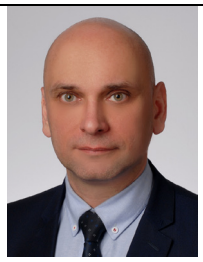
Monitorowanie procesu wytwarzania przyrostowego w trybie ciągłym staje się w ostatnim czasie istotnym wyzwaniem dla projektantów drukarek 3D oraz oprogramowania nimi sterującego. Większość dotychczasowych konstrukcji drukarek 3D nie było wyposażonych w sieciowe systemy do zdalnej kontroli procesu. Podyktowane to było m.in. tym, że zakładano przebieg procesu jako bezawaryjny w odniesieniu do pojedynczej drukarki co w określonym horyzoncie czasowym procesu przyrostowego nie stanowiło problemu produkcyjnego. Postępujące prace nad automatyzacją procesów druku 3D oraz preprocesingu i postprocesing powodują potrzebę monitoringu pracy drukarki 3D z punktu widzenia organizacji produkcji, szczególnie z punktu widzenia bezawaryjnej pracy zespołu drukarek czy farm drukarek 3D. Farmę drukarek 3D zdefiniować można jako zespół maszyn do druku 3D działających w obrębie jednego środowiska projektowo – wytwórczego (rys. 1).

Rys. 1. Farma drukarek 3D w Laboratorium Szybkiego Prototypowania, Katedra Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej

Przykładem tego typu farmy mogą być drukarki firmy Prusa i3 MK3, będące na wyposażeniu Laboratorium Szybkiego Prototypowania na Wydziale Mechanicznym Politechniki Rzeszowskiej w Katedrze Konstrukcji Maszyn (rys. 1). Model i3 MK3 jest konstrukcją pracującą w technologii FFF (ang. Fused Filament Fabrication). Drukarki tego typu fabrycznie są wyposażone w gniazdo kart SD do transferu danych do procesu wydruku. Realizacja prac badawczych i wdrożeniowych polegała na doposażeniu 15 drukarek w mikrokomputery klasy Raspberry Pi oraz oprogramowanie służące do zdalnego monitoringu. Pozwoliło to na przekształcenie zespołu osobno pracujących drukarek w farmę, możliwą do sterowania i monitorowania w trybie zdalnym z wykorzystaniem narzędzi sieciowych oraz chmury danych. Rozwiązanie tego typu może również korzystać z narzędzi struktury INDUSTRY 4.0 z zakresie badawczym i produkcyjnym.

Słowa kluczowe: druk 3D, farma drukarek, sieciowe narzędzia monitoringu procesu

Keywords: 3D Printing, printer farm, network process monitoring tools

	Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik – Kierownik Katedry Konstrukcji Maszyn na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia z zakresu przyrostowych technik wytwarzania, inżynierii odwrotnej, inżynierii materiałowej, systemów CAD, wzornictwa przemysłowego oraz Przemysłu 4.0.
	Dr hab. inż. Jerzy Józwik, prof. uczelni – Kierownik Katedry Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej a jednocześnie Dyrektor Biura Polskiej Unii Metrologicznej i Zastępca Dyrektora Instytutu Nauk Technicznych i Lotnictwa Państwowej Akademii Nauk Stosowanych w Chełmie. Organizator wielu konferencji i sympozjów naukowych a także inicjator seminarium Synergia Nauki i Przemysłu. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia monitorowania i nadzorowania procesów wytwarzania, zagadnień eksploatacji maszyn, tribologii i zużycia a także technik wytwarzania inkrementalnego.
	Doktorant w Szkole Doktorskiej Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej. Pasjonat świata robotyki i automatyki przemysłowej. Obecnie prowadzi badania nad automatyzacją procesu wytwarzania przyrostowego oraz zagadnieniami związanymi z sieciowością i integracją maszyn do druku 3d.
	Dr inż. Andrzej Paszkiewicz jest adiunktem w Zakładzie Systemów Złożonych Politechniki Rzeszowskiej. Jest współorganizatorem szeregu warsztatów i konferencji z zakresu sieci komputerowych, inżynierii oprogramowania oraz Przemysłu 4.0. Jego obecne zainteresowania badawcze skupiają się na szeroko rozumianych procesach zachodzących w strukturach sieciowych, a także na rozwoju technologii do zastosowań przemysłowych m.in. dla druku 3D.

Integracja systemów CAx w procesie inżynierii odwrotnej wirnika turbosprężarki

Integration of CAx systems in the Reverse Engineering process of a turbocharger rotor

Tomasz Dziubek[1], Grzegorz Budzik[1], Bartłomiej Sobolewski[1], Konrad Pawłowski[2]

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

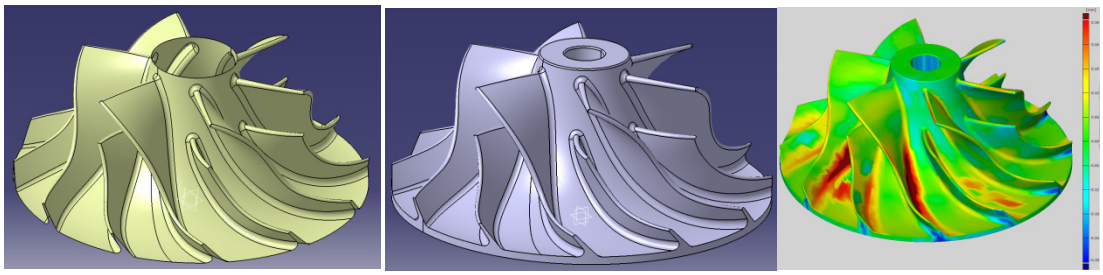
[2]Politechnika Rzeszowska; konrad.pawlowski.work@gmail.com

Integracja szeroko pojętych systemów CAx w znacznym stopniu zwiększa spektrum możliwości projektowania oraz wytwarzania części maszyn. Zastosowanie nowoczesnych systemów pomiarowych powiązanych ze środowiskiem CAD oraz RP podnosi wydajność pracy, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów związanych z wytworzeniem prototypu lub gotowego wyrobu. W ramach realizacji niniejszej pracy przeprowadzony został proces obróbki danych numerycznych, uzyskanych z zastosowaniem skanera Atos II Triple Scan.

Rysunek 1. Pozyskanie danych numerycznych

W wyniku integracji oprogramowania GOM Inspect oraz Catia V5 stosując przyjętą metodykę modelowania przeprowadzono proces inżynierii rekonstrukcyjnej. Podczas realizacji procesu odtwarzania geometrii przyjęto tok postępowania polegający na wyodrębnieniu powierzchni i krzywych w oprogramowaniu GOM Inspect, a wyodrębnione powierzchnie wyeksportowano do oprogramowania CATIA, gdzie przeprowadzono dalszą część procesu rekonstrukcji. W trakcie tych działań prowadzone były cykliczne analizy dokładności odwzorowania rekonstruowanej geometrii. W wyniku wykonanych prac zostały zidentyfikowane możliwości oraz ograniczenia wynikające z zastosowanych środowisk programowych. Końcowym akcentem pracy była wykonana analiza dokładności odwzorowanej geometrii względem wykonanego skanu modelu fizycznego, potwierdzająca

poprawność przeprowadzonego procesu, a stosując technikę druku Poly Jet wykonano model fizyczny wirnika.



Rysunek 2. Rekonstrukcja i analiza geometrii wirnika

Słowa kluczowe: systemy CAx, inżynieria odwrotna, współrzędnościowe pomiary optyczne druk 3D.

Keywords: CAx systems, Reverse Engineering, coordinate optical measurements, 3D printing.

	Dr hab. inż. Tomasz Dziubek, prof. PRz jest absolwentem Politechniki Rzeszowskiej, WBMiL. Po ukończeniu studiów w 2004 r. rozpoczął pracę w Katedrze Konstrukcji Maszyn. W 2020 roku uzyskał tytuł doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na zagadnieniach z zakresu konstrukcji maszyn, inżynierii odwrotnej oraz systemów CAD/CMM/RP.
	Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia z zakresu przyrostowych technik wytwarzania, inżynierii odwrotnej, projektowania CAD oraz współrzędnościowych technik pomiarowych.
	Dr inż. Bartłomiej Sobolewski jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Od 2007 roku jest pracownikiem Katedry Konstrukcji Maszyn. W 2015 roku uzyskał tytuł doktora nauk technicznych. Zajmuje się zagadnieniami z zakresu konstrukcji maszyn, w szczególności przekładni zębatych, technik RP, inżynierii odwrotnej oraz systemów CAD.
	Mgr inż. Konrad Pawłowski, jest absolwentem Politechniki Rzeszowskiej, kierunku Mechatronika, specjalność: Komputerowo Wspomagane Projektowanie. Studia ukończył w lipcu 2022 roku. Od października 2021 pracuje jako inżynier mechanik oraz tester oprogramowania wspomagającego pracę inżynierów w środowisku CATIA V5.

Badania zawiasu meblowego wytwarzanego przyrostowo z materiału termoplastycznego

Research of furniture hinge manufactured by additive method from thermoplastic material

Bartłomiej Sobolewski[1], Grzegorz Budzik[1], Tomasz Dziubek[1], Karol Łopaciński[2]

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

[2]Politechnika Rzeszowska; 157877@stud.prz.edu.pl

W artykule przedstawiono przebieg oraz wyniki prac badawczych mających na celu ocenę wytrzymałości i przydatności do praktycznego stosowania zawiasu meblowego wytworzonego przyrostowo z materiału termoplastycznego. Przeprowadzone prace badawcze obejmowały: opracowanie założeń konstrukcyjnych, przyjęcie docelowej geometrii, wykonanie modelu 3D-CAD, przeprowadzenie wstępnych analiz wytrzymałościowych w środowisku MES, wytworzenie prototypu metodą FFF z tworzywa termoplastycznego, przeprowadzenie badań w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Geometrię zawiasu wykonano w oparciu o typowe rozwiązania konstrukcyjne dostępne na rynku, uwzględniając równocześnie specyfikę przyjętej metody wytwórczej. Na modelu 3D-CAD wykonano analizę wytrzymałościową MES. Pozwoliło to na oszacowanie wartości naprężeń i określenie tym samym przydatności opracowanej geometrii do przeprowadzenia badań na modelu rzeczywistym. W kolejnym etapie wytworzono modele badawcze z zastosowaniem technologii FFF. Modele badawcze wykonano z wypełnieniami: liniowym 30%, sześciokątnym 30%, liniowym 60%, sześciokątnym 60% oraz pełnym 100%. Przeprowadzono badania stanowiskowe mające na celu: określenie maksymalnej nośności zawiasu przy obciążeniu działającym w kierunku prostopadłym do osi oraz określenie zużycia zawiasu podczas pracy w warunkach zbliżonych do rzeczywistych uwzględniających obciążenie drzwiami. W wyniku zrealizowanych prac okazało się że zawias z pełnym wypełnieniem przenosi bez uszkodzenia obciążenie wywołane masą 160 kg, najniższą nośność stwierdzono w przypadku zawiasu wykonanego z wypełnieniem sześciokątnym 30% - zerwanie nastąpiło przy obciążeniu masą 85kg. Celem określenia żywotności zawiasy dokonano pomiaru luzu w dwóch punktach referencyjnych umieszczonych na drzwiach, uzyskane rezultaty przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Uzyskane wyniki badań żywotności zawiasów

	Masa drzwi 7kg		Masa drzwi 14kg		Masa drzwi 14kg ze smarowaniem	
Ilość cykli [-]	Odległość x_1[mm]	Odległość x_2[mm]	Odległość x_1[mm]	Odległość x_2[mm]	Odległość x_1[mm]	Odległość x_2[mm]
10	0	0	0,6	0,4	0	0,5
20	0	0	1	0,8	0	0,6
50	0,2	0,2	1,3	1,1	0,2	1
75	0,5	0,4	1,5	1,2	0,5	1,3
100	0,5	0,5	1,7	1,4	0,5	1,5
150	0,6	0,6	b.d.	b.d.	0,6	1,6
200	0,6	0,7	b.d.	b.d.	0,9	1,8

Słowa kluczowe: druk 3d, FFF, technologia FFF, zawias, pet-g.

Keywords: 3d printing, FFF, hinge, pet-g.

	Dr inż. Bartłomiej Sobolewski jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Od 2007 roku jest pracownikiem Katedry Konstrukcji Maszyn. W 2015 roku uzyskał tytuł doktora nauk technicznych. Zajmuje się zagadnieniami z zakresu konstrukcji maszyn, w szczególności przekładni zębatych, technik RP, inżynierii odwrotnej oraz systemów CAD
	Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia z zakresu przyrostowych technik wytwarzania, inżynierii odwrotnej, projektowania CAD oraz współrzędnościowych technik pomiarowych.
	Dr hab. inż. Tomasz Dziubek, prof. PRz jest absolwentem Politechniki Rzeszowskiej, WBMiL. Po ukończeniu studiów w 2004 r. rozpoczął pracę w Katedrze Konstrukcji Maszyn. W 2020 roku uzyskał tytuł doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na zagadnieniach z zakresu konstrukcji maszyn, inżynierii odwrotnej oraz systemów CAD/CMM/RP.
	Mgr inż. Karol Łopaciński, jest absolwentem Politechniki Rzeszowskiej, kierunku Mechatronika, specjalność: Komputerowo Wspomagane Projektowanie. Studia ukończył w lipcu 2022 roku. Jego zainteresowania naukowe skupie ja się na zagadnieniach związanych z praktycznym zastosowaniem druku 3D oraz systemami CAD.

Analiza wytrzymałości połączeń klejowych części wytwarzanych metodami szybkiego prototypowania

Analysis of the strength of adhesive joints of parts manufactured by rapid prototyping methods

Bogdan Kozik[1], Mariusz Dębski[1], Jadwiga Pisula[1],

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

Technologie przyrostowe pozwalają na wykonywanie obiektów, których geometria może być o wiele bardziej skomplikowana, niż w przypadku wytwarzania części tradycyjnymi metodami. Należy jednak pamiętać, że proces addytywnego wytwarzania wiąże się z pewnymi ograniczeniami, które winno się uwzględnić w procesie projektowania części. Kubatura komory roboczej stosowanej aparatury przetwórczej ograniczona jest zwykle do kilkuset milimetrów w poszczególnych osiach, co uniemożliwia wytwarzanie szeregu elementów użytkowych, w tym części maszyn. W publikacji przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie połączeń klejowych. Próbki do badań wykonano na drukarce 3D Prusa i3 MK3, metodą ekstruzji warstwowej z kopolimeru ABS oraz polilaktydu. Do wykonania połączeń użyto kleju cyjanoakrylowego i metakrylowego. Przewidziane do realizacji badania umożliwią wytwarzanie poszczególnych części w elementach składowych łączonych później wg opracowanej metodyki oraz z wykorzystaniem dobranych klejów. Niezwykle istotnym może być również potwierdzenie w procesie przewidzianych do realizacji badań tezy, iż stosując odpowiedni sposób łączenia i rodzaj spoiny można uzyskać lepsze właściwości wytrzymałościowe w stosunku do materiału bazowego przetwarzanego przyrostowo. Możliwym będzie wówczas poszerzenie obszaru aplikacji poszczególnych elementów wytwarzanych przyrostowo i później klejonych.

Słowa kluczowe: technologie przyrostowe, klejenie, adhezja, właściwości wytrzymałościowe.

Keywords: additive technologies, adhesive bonding, adhesion, strength properties.

	Dr hab. inż. Bogdan Kozik pracuje w Katedrze Konstrukcji Maszyn Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza na stanowisku profesora uczelni w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych. Jego działalność naukowa obejmuje zagadnienia z zakresu komputerowego wspomagania projektowania (CAD) i wytwarzania (CAM/RP), głównie części układów napędowych maszyn.
	Mgr inż. Mariusz Dębski pracuje w Katedrze Konstrukcji Maszyn Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza na stanowisku asystenta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych. Dorobek naukowy dotyczy ogólnie zagadnień związanych z inżynierią mechaniczną ze szczególnym uwzględnieniem podstaw konstrukcji maszyn, badań materiałowych, analizy systemów komputerowego wspomagania projektowania oraz systemów przyrostowego wytwarzania technikami druku 3D. Obejmuje również obszar technologii maszyn, materiałów polimerowych stosowanych na elementy maszyn i inżynierii odwrotnej.
	Dr inż. Jadwiga Pisula - adiunkt w Katedrze Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych. Zainteresowania naukowe obejmują: przekładnie zębate (głównie walcowe, stożkowe o kołowej linii zęba i hipoidalne) w zakresie konstrukcji, badań wytrzymałościowych i pomiaru dokładności ich wykonania na współrzędnościowych maszynach pomiarowych, modelowanie matematyczne procesu odwzorowania geometrii narzędzia w procesie obróbki kół zębatych walcowych i stożkowych o kołowej linii zęba oraz modelowanie matematyczne współpracy kół w przekładni konstrukcyjnej. Autor i współautor kilkudziesięciu publikacji z zakresu zainteresowań naukowych oraz CAD i RP.

Kompozyty polilaktydowo-hydroksyapatytowe o potencjalnym zastosowaniu w medycynie

Polylactide-hydroxyapatite composites with potential application in medicine

Mariusz Oleksy[1], Kacper Kroczek[2], Katarzyna Bulanda[1], Rafał Oliwa[1]

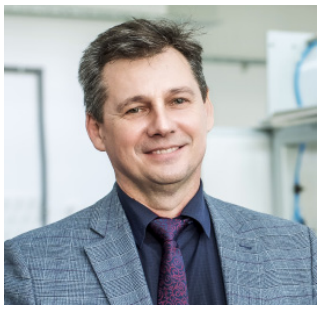
[1] Katedra Kompozytów Polimerowych, Wydział Chemiczny, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; molek@prz.edu.pl; k.bulanda@prz.edu.pl; oliwa@prz.edu.pl

[2] Szkoła Doktorska Nauk Inżynieryjno-Technicznych, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; kroczek.k@gmail.com

Ubytki kostne najczęściej powstają w wyniku urazów i infekcji. Obecność takich defektów powoduje wiele problemów funkcjonalnych. Zaprojektowane oraz wykonane w technologiach wytwarzania addytywnego trójwymiarowe rusztowania mogą być wykorzystane do wspomagania wzrostu kości, które nie tylko mogą przyspieszyć proces augmentacji kości, ale także ograniczyć przerost tkanek miękkich. Rusztowania definiowane są jako trójwymiarowe struktury o odpowiedniej porowatości, które znajdują zastosowanie w sterowanej regeneracji kości - stymulują proces osteokondukcyjny, a także umożliwiają osteointegrację, ograniczając jednocześnie wzrost szybko rosnącej tkanki miękkiej. Takie urządzenia biomedyczne muszą spełniać szereg warunków – biokompatybilność, bioaktywność, bioresorbowalność i biodegradowalność, a także brak toksycznego działania zarówno całego rusztowania, jak i jego składników oraz produktów ich degradacji zachodzących w wyniku reakcji metabolicznych. Połączenie polilaktydu z hydroksyapatytem pozwala otrzymać kompozyt, który zapewnia szereg pozytywnych właściwości: wspomaga wzrost kości, uzupełnia nowo powstałą kość poprzez resorpcję, po odpowiednim czasie ulega całkowitej biodegradacji – nie jest wymagane usuwanie inwazyjne, a przede wszystkim urządzenia wykonane z tego materiału wykonane za pomocą druku 3D. Badając wykonane za pomocą wytwarzania addytywnego kształtki otrzymano satysfakcjonujące wyniki badań właściwości mechanicznych, reologicznych i biologicznych kompozytów polilaktydowo-hydroksyapatytowych o różnej zawartości składników. Prezentowane najnowocześniejsze podejście wiąże się z ciągłymi wyzwaniami, ale jednocześnie toruje drogę do nowego poziomu medycyny spersonalizowanej.

Słowa kluczowe: druk 3D, kompozyty polimerowe, polilaktyd, hydroksyapatyt, medycyna

Keywords: 3D printing, polymer composites, polylactide, hydroxyapatite, medicine

	**Prof. dr hab. inż. Mariusz Oleksy** jest absolwentem Politechniki Śląskiej w Gliwicach, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera w zakresie przetwórstwa tworzyw polimerowych. Od 1993 r. pracuje na Politechnice Rzeszowskiej, początkowo jako asystent w Zakładzie Technologii Tworzyw Sztucznych, a po obronie rozprawy doktorskiej na Politechnice Śląskiej na stanowisku adiunkta. W 2015 r. uzyskał stopień naukowy doktora habilitowanego w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. W latach 2016-2020 pełnił funkcję prorektora ds. rozwoju i kontaktów z gospodarką. Od 2017 r. pełni funkcję kierownika Katedry Kompozytów Polimerowych na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej. W 2020 r. uzyskał stopień naukowy profesora nauk inżynieryjno-technicznych.
	Mgr inż. Kacper Kroczek jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, gdzie w 2021 r. uzyskał tytuł magistra inżyniera na kierunku biotechnologia. Obecnie jest doktorantem w Szkole Doktorskiej Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej.
	Dr inż. Katarzyna Bulanda jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, gdzie uzyskała tytuł magistra inżyniera na kierunku technologia chemiczna. Od 2020 r. pracuje na Politechnice Rzeszowskiej, początkowo jako asystent w Katedrze Kompozytów Polimerowych, a po obronie rozprawy doktorskiej na stanowisku adiunkta.
	Dr inż. Rafał Oliwa jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera na kierunku technologia chemiczna. Po obronie rozprawy doktorskiej w 2015 r. rozpoczął pracę na Politechnice Rzeszowskiej na stanowisku adiunkta w Zakładzie Technologii Tworzyw Sztucznych, natomiast od 2017 r. w Katedrze Kompozytów Polimerowych.

Możliwości zastosowania druku 3D w inżynierii medycznej

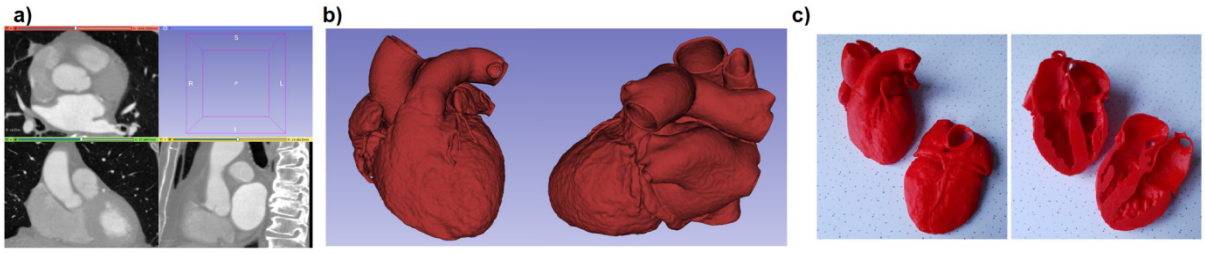
Possibilities of using 3D printing in medical engineering

Małgorzata Zaborniak[1], Grzegorz Budzik[1], Jakub Supel[2], Izabela Winnicka[2],

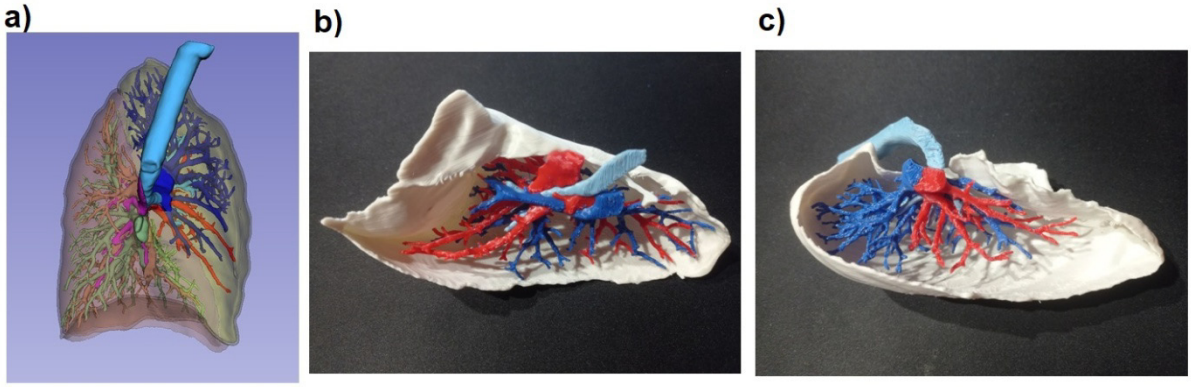
[1] Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn; mzab@prz.edu.pl; gbudzik@prz.edu.pl

[2] Politechnika Rzeszowska; 152220@stud.prz.edu.pl, 160531@stud.prz.edu.pl

Tworzenie anatomicznych modeli medycznych przy użyciu technik szybkiego prototypowania (ang. Rapid Prototyping, RP) jest odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie wykorzystania wiedzy i umiejętności inżynieryjnych w zastosowaniach medycznych. Przez modele medyczne rozumie się modele fizyczne odzwierciedlające wyglądem (kształtem, strukturą itp.) rzeczywiste struktury anatomiczne w ciele człowieka. Tego typu modele odgrywają istotną rolę w dziedzinie medycyny. Są używane do rozwiązywania problemów w medycynie oraz opiece zdrowotnej. Są one również głównym komponentem symulatorów, używanych do celów edukacyjnych oraz naukowych. Mogą służyć jako pomoc dla chirurgów w trakcie przygotowań do operacji. Modelowanie 3D obiektów medycznych odbywa się na podstawie segmentacji danych otrzymanych z badań za pomocą m.in. tomografii komputerowej (ang. Computed Tomography, CT) czy rezonansu magnetycznego (ang. Magnetic Resonance Imaging, MRI). W ramach przeprowadzonych badań na podstawie danych tomograficznych możliwie było wytworzenie rzeczywistego modelu serce człowieka (rys.1) i lewego płuca wraz z naczyniami płucnymi (rys.2).



Rysunek 1. a) segmentacja 3D danych CT b) opracowany model 3D-CAD serca przy użyciu oprogramowania 3D Slicer c) górna i dolna część modelu serca (model FDM)



Rysunek 2. a) opracowany model lewego płuca w programie 3D Slicer, b) dolny płat lewego płuca c) górny płat lewego płuca (technologia FDM)

Słowa kluczowe: biomodel, modelowanie 3D-CAD, model serca, płuco, tomografia.

Keywords: biomodel, 3D-CAD modeling, heart model, lung, Computed Tomography.

	Dr inż. Małgorzata Zaborniak, adiunkt w Katedrze Konstrukcji Maszyn. Działalność badawcza koncentruje się głównie na zagadnieniach współrzędnościowych technik pomiarowych, inżynierii odwrotnej (RE) w procesie projektowania i wytwarzania części maszyn. Ponadto aplikacji technologii RP w inżynierii medycznej.
	Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia z zakresu przyrostowych technik wytwarzania, inżynierii odwrotnej, projektowania CAD oraz współrzędnościowych technik pomiarowych.
	Inż. Jakub Supel jest absolwentem Inżynierii Medycznej, obecnie studentem Wydziału Mechaniki i Budowy Maszyn na Politechnice Rzeszowskiej. Interesuje się głównie modelowaniem 3D-CAD oraz obrazowaniem medycznym 3D.
	Inż. Izabela Winnicka to absolwentka studiów na kierunku Inżynieria medyczna, na Wydziale Matematyki i Fizyki Stosowanej, na Politechnice Rzeszowskiej. Jej zainteresowania dotyczą metod szybkiego prototypowania w dziedzinie medycyny.

Analiza wybranych właściwości wytrzymałościowych materiału PMMA

Analysis of selected strength properties of PMMA material

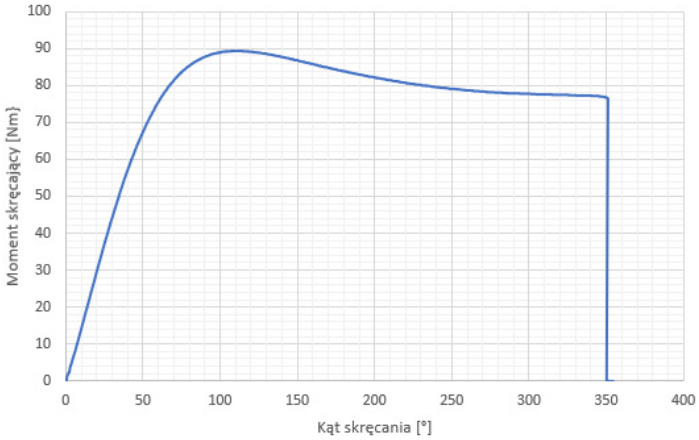
Jacek Bernaczek[1]

[1]Afiliacja; jacek.bernaczek@prz.edu.pl

Publikacja obejmuje badanie wytrzymałości na rozciąganie, zginanie i skręcanie standardowych próbek z materiału PMMA – polimetakrylanu metylu. Modele testowe wytworzono techniką polimeryzacji żywicy światłoutwardzalnej RGD810 kształtowanej przyrostowo w procesie PolyJet oraz hybrydową techniką odlewania próżniowego w formach silikonowych poliuretanowej żywicy PRC1819. Przedmiotowe parametry wytrzymałościowe wyznaczono w statycznej próbie rozciągania, trzypunktowego zginania oraz skręcania. Badania zrealizowano z wykorzystaniem aparatury Instron 3367 – wytrzymałościowe próby na rozciąganie i zginanie oraz stanowiska do statycznej próby skręcania opracowanego w Katedrze Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej. Przykładowe wyniki wyznaczone w procesie badawczym przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 1.

Tabela 1. Wytrzymałość na rozciąganie próbek RGD810

Nr próbki	Maksymalne obciążenie	Naprężenie rozciągające przy maks. obciążeniu	Odkształcenie przy maks. obciążeniu	Przemieszczenie przy maks. obciążeniu	Moduł Young'a	Obciążenie przy zerwaniu	Naprężenie rozciągające przy zerwaniu	Odkształcenie przy zerwaniu
	[N]	[MPa]	[%]	[mm]	[MPa]	[N]	[MPa]	[%]
1	2422,19	60,55	5,96	4,77	1730,09	1548,65	38,72	12,50
2	2296,52	57,41	5,92	4,74	1654,16	1539,58	38,49	11,58
3	2352,02	58,80	6,00	4,81	1656,21	1081,89	27,05	9,87
średnia	2356,91	58,92	5,96	4,77	1680,15	1390,04	34,75	11,32



Rysunek 1. Zależność momentu skręcającego od kąta skręcania próbki PRC1819

Podsumowaniem publikacji jest opracowanie i analiza porównawcza wyznaczonych w procesie badawczym parametrów wytrzymałościowych żywic imitujących właściwościami tworzywo PMMA, kształtowanych w procesach przyrostowym i odlewania próżniowego.

Słowa kluczowe: wytwarzanie przyrostowe, odlewanie próżniowe, parametry wytrzymałościowe, rozciąganie, zginanie, skręcanie, polimetakrylan metylu PMMA.

Keywords: additive manufacturing, vacuum casting, strength parameters, stretching, bending, torsion, polymethyl methacrylate PMMA.

Doktor nauk technicznych zatrudniony na stanowisku adiunkta w grupie pracowników badawczo – dydaktycznych Politechniki Rzeszowskiej. Absolwent studiów wyższych PRz oraz studiów podyplomowych w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie i w Wyższej Szkole Bankowej w Poznaniu. Kierownik studiów podyplomowych pn. „Druk 3D w przemyśle i edukacji". Autor i współautor szeregu publikacji i referatów konferencyjnych. Kierownik i wykonawca prac badawczych w projektach realizowanych m.in. przez NCBR, PARP oraz przedsiębiorstwa przemysłowe. Prowadzi badania naukowe oraz zajęcia dydaktyczne i szkolenia z zakresu technik wytwarzania przyrostowego. Sprawuje opiekę promotorską w procesie realizacji prac dyplomowych I-go i II-go stopnia przez studentów Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa PRz. Pełnił funkcję promotora pomocniczego w procesie realizacji pracy doktorskiej pt. „Analiza wytrzymałości na skręcanie elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo z materiałów polimerowych". Wykładowca w ramach programu Erasmus+ w technicznych uczelniach partnerskich. Wiceprzewodniczący Rady Programowej Inkubatora Technologicznego i Preinkubatora Akademickiego PPNT AEROPOLIS. Współpracuje z innymi uczelniami, instytutami badawczymi oraz podmiotami gospodarczymi w zakresie nowoczesnych technologii stosowanych w przemyśle.

Analiza wytrzymałości na skręcanie wybranych żywic chemoutwardzalnych wytwarzanych metodą odlewania pod obniżonym ciśnieniem

Torsional strength analysis of selected chemically hardening resins produced by casting under reduced pressure

Mariusz Dębski[1], Bogdan Kozik[1], Jadwiga Pisula[1],

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

Odlewanie pod obniżonym ciśnieniem (Vacuum Casting) ze względu na niskie koszty wytwórcze (tańsze materiały i narzędzia) jest szeroko stosowaną metodą wytwarzania oprzyrządowania, prototypowych części maszyn, a także gotowych, w pełni funkcjonalnych wyrobów możliwych do zastosowania jako elementy nośne czy konstrukcyjne maszyn i urządzeń. Metoda ta znajduje zastosowanie szczególnie w produkcji krótkoseryjnej oraz jednostkowej i pozwala na skrócenie czasu wprowadzania na rynek nowych produktów. W publikacji przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych (w postaci statycznej próby skręcania na stanowisku badawczym) walcowych próbek z wielowypustem, wytworzonych metodą odlewania pod obniżonym ciśnieniem z żywic chemoutwardzalnych PR2000, PR700 oraz PR1819. Do wykonania modelu wzorcowego zastosowano technologię PolyJet. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że wszystkie trzy żywice posiadają cechy ciał sprężysto-plastycznych. Wysoki sumaryczny kąt skręcenia potwierdza deklarowane przez producenta właściwości wytrzymałościowe żywic zbliżone do kopolimeru ABS oraz polimetakrylanu metylu. Znacznie poszerzony w stosunku do standardowej procedury zakres prac badawczych uzupełni dostępne dotychczas dane materiałowe o istotne parametry użytkowe ze względu na zastosowanie modeli.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na skręcanie, technologie przyrostowe, żywice chemoutwardzalne, elementy maszyn.

Keywords: torsional strength, additive technologies, chemically hardening resins, machine elements.

	Mgr inż. Mariusz Dębski pracuje w Katedrze Konstrukcji Maszyn Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza na stanowisku asystenta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych. Dorobek naukowy dotyczy ogólnie zagadnień związanych z inżynierią mechaniczną ze szczególnym uwzględnieniem podstaw konstrukcji maszyn, badań materiałowych, analizy systemów komputerowego wspomagania projektowania oraz systemów przyrostowego wytwarzania technikami druku 3D. Obejmuje również obszar technologii maszyn, materiałów polimerowych stosowanych na elementy maszyn i inżynierii odwrotnej.
	Dr hab. inż. Bogdan Kozik pracuje w Katedrze Konstrukcji Maszyn Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza na stanowisku profesora uczelni w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych. Jego działalność naukowa obejmuje zagadnienia z zakresu komputerowego wspomagania projektowania (CAD) i wytwarzania (CAM/RP), głównie części układów napędowych maszyn.
	Dr inż. Jadwiga Pisula - adiunkt w Katedrze Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych. Zainteresowania naukowe obejmują: przekładnie zębate (głównie walcowe, stożkowe o kołowej linii zęba i hipoidalne) w zakresie konstrukcji, badań wytrzymałościowych i pomiaru dokładności ich wykonania na współrzędnościowych maszynach pomiarowych, modelowanie matematyczne procesu odwzorowania geometrii narzędzia w procesie obróbki kół zębatych walcowych i stożkowych o kołowej linii zęba oraz modelowanie matematyczne współpracy kół w przekładni konstrukcyjnej. Autor i współautor kilkudziesięciu publikacji z zakresu zainteresowań naukowych oraz CAD i RP.

Analiza właściwości mechanicznych materiałów termoplastycznych do zastosowań medycznych w druku 3D/4D

Analysis of mechanical properties of thermoplastic materials for medical applications in 3D/4D printing

Paweł Szczygieł[1], Jerzy Bochnia[1], Tomasz Kozior[1], Krystyna Radoń-Kobus[2]

[1] Politechnika Świętokrzyska, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, pszczygiel@tu.kielce.pl

[2] Politechnika Świętokrzyska, Katedra Inżynierii Eksploatacji i Przemysłowych Systemów Laserowych, kradonkobus@tu.kielce.pl

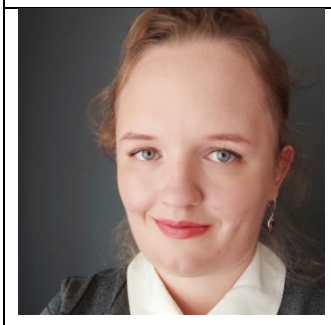
W pracy przedstawiono analizę wytrzymałości na rozciąganie, zginanie i ściskanie materiałów termoplastycznych ABS Medical (Spectrum filaments) i PLActive (Copper3D) stosowanych w technologii Fused Deposition Modelling (FDM) do zastosowań medycznych. Filamenty te spełniają wymagania określone przez ISO 10993, a tym samym są bezpieczne w kontakcie ze skórą. Badania zostały przeprowadzone zgodnie z standardami międzynarodowymi dotyczącymi właściwości mechanicznych oraz na podstawie przeglądu literatury.

Producenci z branży druku 3D opracowują nowe materiały, a ich szeroka dostępność sprawia, że coraz trudniej jest wybrać odpowiedni rodzaj materiału do wydrukowania danego obiektu bez wystarczającej wiedzy na temat ich właściwości. Termoplastyczne filamenty coraz częściej są wzbogacane o modyfikatory np. w postaci nanocząstek miedzi bądź srebra, które gwarantują ich sterylność i bezpieczne stosowanie. Ze względu na addytywny charakter wytwarzania, części z tworzyw sztucznych drukowane 3D/4D mają anizotropowe właściwości mechaniczne, co oznacza, że wykazują różne właściwości mechaniczne dla różnych kierunków.

Przeprowadzone badania wskazują na anizotropię wybranych właściwości mechanicznych próbek wykonanych z materiałów termoplastycznych. Analiza przyczyni się do rozwoju wiedzy w dziedzinie inżynierii biomedycznej, a także ułatwi pracę zespołów medycznych przy projektowaniu elementów wytwarzanych metodami druku 3D.

Słowa kluczowe: druk 3D, materiały termoplastyczne, zastosowania medyczne, właściwości mechaniczne

Keywords: 3D printing, thermoplastic materials, medical applications, mechanical properties

	mgr inż. Paweł Szczygieł jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na ww. uczelni. Zajmuje się badaniami dotyczącymi zastosowania druku 3D w medycynie.
	dr hab. inż. Jerzy Bochnia prof. PŚk jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zatrudnionym w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.
	dr inż. Tomasz Kozior jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, zatrudnionym w Katedrze Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania. W pracy naukowej zajmuje się badaniami własności mechanicznych, metrologicznych i tribologicznych materiałów stosowanych w druku 3D/4D.
	mgr inż. Krystyna Radoń-Kobus jest doktorantką Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskała w 2017 roku na ww. Uczelni. Zajmuje się badaniami dotyczącymi właściwości tribologicznych i mechanicznych.

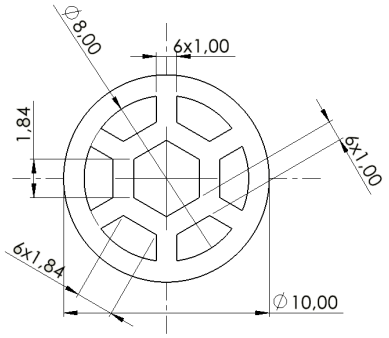
Wybrane właściwości mechaniczne heksagonalnych struktur komórkowych wytwarzanych drukiem 3D.

Selected mechanical properties of hexagonal cell structures manufactured by 3D printing.

Mateusz Rudnik[1], Jerzy Bochnia[1], Tomasz Kozior[1]

[1] Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii; mrudnik@tu.kielce.pl; jbochnia@tu.kielce.pl; tkozior@tu.kielce.pl;

Technologie przyrostowe umożliwiają wykonywanie modeli o skomplikowanych geometriach takich jak struktury komórkowe, dlatego tematyka dotycząca projektowania struktur komórkowych w znormalizowanych próbkach staje się jedną z koncepcji aktualnie prowadzonych badań. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące próby ściskania i rozciągania modeli znormalizowanych z zawartą strukturą komórkową - heksagonalną, które wykonano w technologii foto-utwardzania ciekłych żywic polimerowych – PolyJet Matrix (PJM). Zaprojektowane próbki do próby ściskania wykorzystują jedną strukturę komórkową heksagonalną o założonych wymiarach (Rysunek 1). W przypadku próbek przeznaczonych do testów rozciągania wykorzystano n-liczbę komórek heksagonalnych, które połączone tworzą model próbki. Wyniki badań testów rozciągania i ściskania próbek z zawartymi strukturami komórkowymi zestawione zostały z próbkami znormalizowanymi.



Rysunek 1. Próbka ze strukturą komórkową do testów ściskania

Słowa kluczowe: Struktury komórkowe, Druk 3D, Ściskanie, Rozciąganie, PJM.

Keywords: Cell Structures, 3D Printing, Compression, Stretch, PJM.

	mgr inż. Mateusz Rudnik jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na ww uczelni. Zajmuje się badaniami struktur komórkowych wykonywanych w druku 3D.
	dr hab. inż. Jerzy Bochnia prof. PŚk jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zatrudnionym w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.
	dr inż. Tomasz Kozior jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, zatrudnionym w Katedrze Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania. W pracy naukowej zajmuje się badaniami własności mechanicznych, metrologicznych i tribologicznych materiałów stosowanych w druku 3D/4D.

Ocena walcowości modeli odlewniczych wykonanych wybranymi technologiami przyrostowymi

Assessment of cylindricity of casting patterns made with selected additive technologies

Paweł Zmarzły

[1] Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn;
pzmarzly@tu.kielce.pl

Tradycyjnie modele odlewnicze wykonywane są z drewna lub stopów metali za pośrednictwem metod obróbki skrawaniem. Modele też mogą być wykonywane z tworzyw sztucznych. Niedogodnością wytwarzania modeli odlewniczych powyżej wymienionymi metodami jest czasochłonność oraz koszt narzędzi i obrabiarek. Ponadto wykształcenie wysoko wykwalikowanych modelarzy jest również utrudnione. Obecnie dąży się do szukania rozwiązań pozwalających na natychmiastowe wytworzenie próbnych modeli odlewniczych i ewentualną szybką korekcje ich geometrii. Ma to szczególnie duże znaczenie w przypadku tworzenia próbnych odlewów oraz prototypów. Do takich rozwiązań możemy zastosować technologie przyrostowe zwane również drukiem 3D.

W artykule zamieszczono wyniki przedstawiające wpływ kierunku wydruku w technologiach Fused Deposition Modeling, Selective Laser Sintering oraz PolyJet Matrix na formowanie się odchyłki walcowości cylindrycznych elementów modeli odlewniczych. Badania wykazały, że kierunek wydruku w analizowanych technologiach wpływa na charakter powstającej odchyłki walcowości.

Przedstawione wyniki badań stanowią efekty projekty badawczego Lider XI pt. „Ocena przydatności przyrostowych technologii wytwarzania do szybkiej budowy modeli odlewniczych" o numerze 0146/L-11/2019, który jest finansowany przez Narodowe Centrum Nauki i Rozwoju.

Słowa kluczowe: odlewnictwo, modele odlewnicze, walcowość, druk 3D

Keywords: foundry, casting patterns, cylindricity, 3D printing

Dr hab. inż. Paweł Zmarzły, prof. Pśk jest pracownikiem Katedry Technologii Mechanicznej i Metrologii Politechniki Świętokrzyskiej. Pełni funkcje prodziekana ds. studenckich i dydaktyki Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn. Kierownik Laboratorium Metrologii. Autor oraz współautor 65 publikacji naukowych, 9 patentów oraz 4 wzorów użytkowych. Jego zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia związane z metrologią wielkości geometrycznych.

Wieloskalowa ocena powierzchni funkcjonalnych wytwarzanych przyrostowo w zastosowaniach medycznych

Multiscale analysis of additively manufactured functional surfaces in medical applications

Damian Gogolewski

Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Politechnika Świętokrzyska, 25-314 Kielce
dgogolewski@tu.kielce.pl

Dynamiczny rozwój technik przyrostowych determinuje możliwość wykorzystania ich w coraz szerszym spektrum zastosowań. Możliwość szybkiego oraz precyzyjnego wytworzenia spersonalizowanych elementów, o określonych właściwościach czy wymiarach, które są dedykowane dla konkretnego użytkownika skutkuje symbiozą nowoczesnych technik wytwarzania oraz przemysłu medycznego. Rozwój technik przyrostowych opartych na proszkach metali, w szczególności tytanu, idealnie wpisuje się w te realia. W pracy przedstawiono analizę możliwości stosowania technologii przyrostowej SLM do budowy funkcjonalnych elementów implantu stawu biodrowego. Przeprowadzono wieloskalową analizę topografii powierzani głowy endoprotezy oraz panewki przy uwzględnieniu parametrów technologicznych procesu wytwarzania. Badania przeprowadzone z wykorzystaniem transformacji falkowej pozwalają na kompleksową ocenę cech morfologicznych oraz opracowanie wytycznych celem kontroli procesu oraz powierzchni.

Rysunek 1. Wybrane próbki badawcze

Słowa kluczowe: transformacja falkowa, struktura geometryczna powierzchni, medycyna, implant, technologie przyrostowe, SLM.

Keywords: wavelet transformation, surface texture, medicine, implant, additive technologies, SLM.

dr inż. Damian Gogolewski jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, zatrudnionym w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.

W pracy naukowej zajmuje się metrologią powierzchni, analizą wieloskalową, transformacją falkową oraz pomiarami wielkości geometrycznych

Druk 3D/4D - postęp i przyszłość technologii oraz materiałów

3D/4D printing - progress and future of technologies and materials

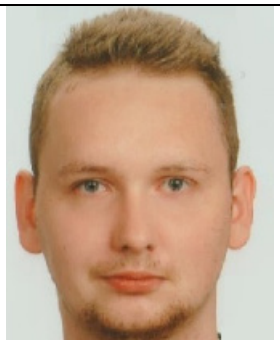
Tomasz Kozior[1], Mateusz Rudnik[1], Paweł Szczygieł[1], Jerzy Bochnia[1]

[1] Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii; tkozior@tu.kielce.pl; mrudnik@tu.kielce.pl; pszczygiel@tu.kielce.pl; jbochnia@tu.kielce.pl

Technologie druku 3D znane są od lat 80tych XX wieku, jednak dopiero obecnie za sprawą trwającej rewolucji przemysłowej 4.0 ich rozwój jest naprawdę dynamiczny. Wraz ze wzrostem precyzji maszyn realizujących warstwowa budowę modeli technologie druku 3D pozwalają na produkcję modeli o wysokiej dokładności wymiarowo-kształtowej oraz coraz lepszej jakość technologicznej warstwy wierzchniej. Druk 3D dzięki rozwojowi chemii materiałów wykorzystuje do budowy fizycznych modeli ogromne spektrum materiałów bardzo często wzbogacanych dodatkami podprawiającymi zarówno właściwości mechaniczne jak i tribologiczne oraz użytkowe, gdzie coraz częściej stosuje się materiały kompozytowe oraz zmniejszające palność.

XXI wiek w dziedzinie druku 3D przyniósł bardzo wiele nowych rozwiązań zarówno technologicznych jak i użytkowych co pozwoliło na wprowadzenie do powszechnego użytku pojęcia druk 4D. To właśnie wykorzystanie wszystkich zdobyczy druku 3D oraz inteligentnych rozwiązań, które są domeną trwającej rewolucji przemysłowej 4.0 pozwalają na tworzenie inteligentnych konstrukcji, które w funkcji czasu, pod wpływem odpowiedniego bodźca umożliwiają zmianę kształtu i charakteru pracy wytwarzanych modeli. Takie właściwości sprawiają, że zastosowanie druku 3D/4D rośnie nie tylko w przypadku nowych branż przemysłu, ale i zwiększa się jego wykorzystanie w już powszechnie znanych z zastosowania druku 3D.

Przyszłość druku 3D/4D wygląda zatem bardzo optymistycznie i prognozuje się bardzo duży rozwój tych metod z uwzględnieniem wieloosiowego wytwarzania w kierunku druku 5D.

	dr inż. Tomasz Kozior jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, zatrudnionym w Katedrze Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania. Od 2012 roku zajmuje się badaniami własności mechanicznych, metrologicznych i tribologicznych materiałów stosowanych w druku 3D/4D.
	mgr inż. Mateusz Rudnik jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na ww. uczelni. Zajmuje się badaniami struktur komórkowych wykonywanych w druku 3D.
	mgr inż. Paweł Szczygieł jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na ww. uczelni. Zajmuje się badaniami dotyczącymi zastosowania druku 3D/4D w medycynie.
	dr hab. inż. Jerzy Bochnia prof. PŚk jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zatrudnionym w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.

Wybrane zagadnienia analizy cech geometrycznych powierzchni części wytwarzanych w technologii przyrostowej SLM

Selected problems of the analysis of geometrical surface features of parts manufactured in SLM additive technology

Jerzy Józwik[1], Grzegorz Budzik[2], Mateusz Przytuła[3], Andrzej Paszkiewicz[4]

[1] Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny; j.jozwik@pollub.pl
[2] Politechnika Rzeszowska; Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa; gbudzik@prz.edu.pl
[3] Politechnika Rzeszowska, Szkoła Doktorska Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej; m.przytula@prz.edu.pl
[4] Politechnika Rzeszowska; Wydział Elektrotechniki i Informatyki; andrzejp@prz.edu.pl

Postęp technologiczny, który dotyczy głównie nowoczesnych maszyn i urządzeń oraz innowacyjnych technologii i technik produkcji może być wykorzystywany na coraz szerszą skalę również w medycynie. Szczególne znaczenie odgrywają tutaj techniki przyrostowe i inżynieria odwrotna. Badania symulacyjne i biomechaniczne, określające relacje między wytworzonym implantem a wydrukowanym w technologii 3D Printing modelem pozwalają na weryfikację biofunkcjonalności implantów w zależności od ich geometrii i sposobu zamocowania. Implanty czy protezy wytworzone metodami przyrostowymi z proszków metali charakteryzujące się często skomplikowaną geometrią i wysokimi wymaganiami geometryczno-wymiarowymi. W przypadku implantów przeznaczonych do osteointegracji oprócz wymienionego indywidualnego dopasowania należy zadbać o odpowiednie rozwinięcie powierzchni, w taki sposób aby stanowiła ona swoisty szkielet dla osadzania się tkanek. Po wytworzeniu implantu metodami przyrostowymi lub ubytkowymi wymagana jest stosowna obróbka jego powierzchni oraz weryfikacja wymiarowo-gładkościowa powstałego elementu. Złożoność geometrii implantów, endoprotez i protez często jest niemożliwa do precyzyjnego zmierzenia i oceny z wykorzystaniem wyłącznie metod stykowych. Optyczna technika pomiarowa wykorzystana w pracy łączy zalety mikroskopu CNC i maszyny pomiarowej dzięki czemu umożliwia przeprowadzenie odpowiednich pomiarów makrogeometrii a jednocześnie mikrogeometrii, w celu zapewnienia odpowiedniej jakości geometryczno-wymiarowej i strukturalnej powierzchni wytworzonych rozwiązań medycznych.

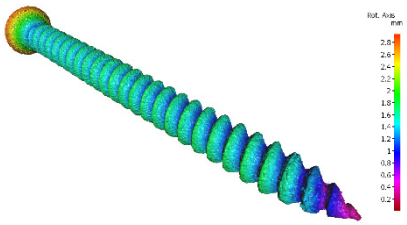
a)

b)

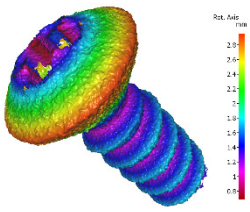
c)

Rys. 2. Wydruk stopu tytanu: a) wkrętów ortopedycznych, b) płytek blokowanych stopy, c) płytek blokowanych piszczelowych

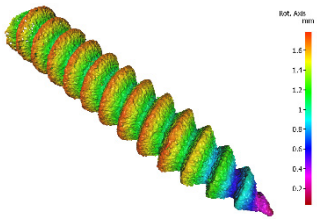
a)



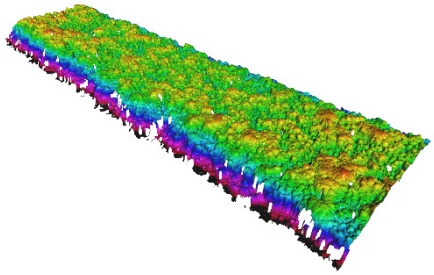
b)



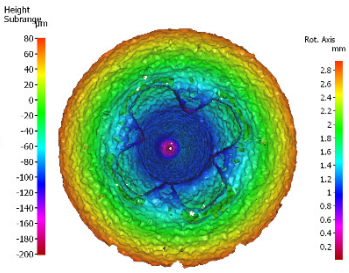
c)



d)



e)

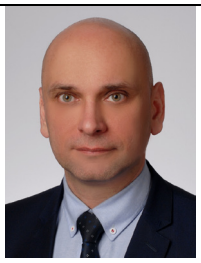


Rys. 2. Przykładowa analiza metrologiczna a) – c) wkrętu ortopedycznego, d) – e) płytki blokowanej

W pracy wykorzystano metody optyczne do oceny morfologii powierzchni elementów ortopedycznych wykonanych z stopu tytanu Ti6Al4V w technologii SLM, (płytek blokowanych i wkrętów ortopedycznych). Przedstawiono i omówiono fazy wytwarzania i analizy cech geometrycznych powierzchni części drukowanych w zdefiniowanych warunkach technologicznych (skośność, kurtoza, chropowatość).

Słowa kluczowe: druk 3D, morfologia powierzchni, optyczne metody pomiarowe

Keywords: 3D printing, surface morphology, optical measurement methods

	Dr hab. inż. Jerzy Józwik, prof. uczelni – Kierownik Katedry Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej a jednocześnie Dyrektor Biura Polskiej Unii Metrologicznej i Zastępca Dyrektora Instytutu Nauk Technicznych i Lotnictwa Państwowej Akademii Nauk Stosowanych w Chełmie. Organizator wielu konferencji i sympozjów naukowych a także inicjator seminarium Synergia Nauki i Przemysłu. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia monitorowania i nadzorowania procesów wytwarzania, zagadnień eksploatacji maszyn, tribologii i zużycia a także technik wytwarzania inkrementalnego.
	Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik – Kierownik Katedry Konstrukcji Maszyn na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia z zakresu przyrostowych technik wytwarzania, inżynierii odwrotnej, inżynierii materiałowej, systemów CAD, wzornictwa przemysłowego oraz Przemysłu 4.0.
	Doktorant w Szkole Doktorskiej Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej. Pasjonat świata robotyki i automatyki przemysłowej. Obecnie prowadzi badania nad automatyzacją procesu wytwarzania przyrostowego oraz zagadnieniami związanymi z sieciowością i integracją maszyn do druku 3d.
	Dr inż. Andrzej Paszkiewicz jest adiunktem w Zakładzie Systemów Złożonych Politechniki Rzeszowskiej. Jest współorganizatorem szeregu warsztatów i konferencji z zakresu sieci komputerowych, inżynierii oprogramowania oraz Przemysłu 4.0. Jego obecne zainteresowania badawcze skupiają się na szeroko rozumianych procesach zachodzących w strukturach sieciowych, a także na rozwoju technologii do zastosowań przemysłowych m.in. dla druku 3D.

Hybrydowe kompozyty polimerowe stosowane w technologii szybkiego prototypowania

Hybrid polymer composites used in rapid prototyping technology

Katarzyna Bulanda[1], Mariusz Oleksy[1], Rafał Oliwa[1]

[1] Katedra Kompozytów Polimerowych, Wydział Chemiczny, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; k.bulanda@prz.edu.pl; molek@prz.edu.pl; oliwa@prz.edu.pl

Rozwój techniki determinuje tworzenie nowych konstrukcji, opracowanie nowych zaawansowanych technologii, jak również wprowadzenie nowych materiałów polimerowych spełniających kryteria ekonomiczne i ekologiczne. W ostatnich latach obserwujemy dynamiczny rozwój zastosowania materiałów polimerowych w technologiach szybkiego prototypowania, a w szczególności w metodzie wytłaczania materiału, gdzie w formie filamentu wprowadzane są do drukarek 3D. Detale wykonane z podstawowych, niemodyfikowanych materiałów najczęściej stosowane są jako prototypy koncepcyjne, ponieważ tworzywa nie zapewniają odpowiedniej funkcjonalności, niezbędnej wytrzymałości mechanicznej oraz użytkowej detali. Z tego powodu, konieczna jest intensyfikacja badań nad modyfikacją stosowanych dotychczas materiałów polimerowych. W szczególności obserwujemy duży postęp w opracowaniu hybrydowych kompozytów polimerowych, które dzięki poprawionym właściwościom użytkowym mogą być z sukcesem wykorzystane do otrzymywania modeli funkcjonalnych za pomocą technik wytwarzania przyrostowego.

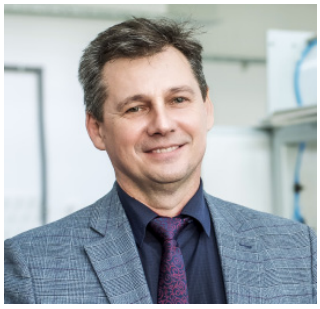
W związku z powyższym zaprojektowano oraz opracowano autorską linię technologiczną do otrzymywania kompozytów na osnowie materiałów polimerowych, która umożliwiła otrzymywanie filamentu stosowanego w druku 3D. Dla zwiększenia asortymentu kompozytów stosowanych w technologii szybkiego prototypowania opracowano materiały polimerowe z dodatkiem wytypowanych modyfikowanych napełniaczy, które zdyspergowano w matrycach polimerowych standardowych tworzyw konstrukcyjnych, między innymi w poliwęglanie. W kolejnej części zbadano wpływ zawartości oraz rodzaju stosowanych napełniaczy na szereg właściwości użytkowych otrzymanych kompozytów polimerowych. Pierwszy etap dotyczył badań właściwości reologicznych materiałów. Kolejno zbadano właściwości mechaniczne wytworzonych kompozytów. W następnym etapie obserwowano mikrostrukturę otrzymanych materiałów, wykonano oznaczenia SEM. Dobrą dyspersję dodatków potwierdzono na podstawie rezultatów badań WAXS. Kolejno przeprowadzono analizę rozkładu termicznego i przemian

fazowych wytworzonych materiałów polimerowych. W związku z dużym zainteresowaniem właściwościami elektrycznymi nowoczesnych materiałów polimerowych zbadano także wpływ użytych napełniaczy na przewodnictwo elektryczne otrzymanych kompozytów.

Wykorzystanie hybrydowych materiałów polimerowych może uwolnić efektywność wytwarzania przyrostowego oraz może korzystnie wpłynąć na podstawowe problemy wynikające z charakterystyki procesu, jak np. drukowalność (płynność oraz lepkość) materiału.

Słowa kluczowe: wytwarzanie addytywne, druk 3D, hybrydowe kompozyty polimerowe, poliwęglan, napełniacze

Keywords: additive manufacturing, 3D printing, hybrid polymer composites, polycarbonate, fillers

	Dr inż. Katarzyna Bulanda jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, gdzie uzyskała tytuł magistra inżyniera na kierunku technologia chemiczna. Od 2020 r. pracuje na Politechnice Rzeszowskiej, początkowo jako asystent w Katedrze Kompozytów Polimerowych, a po obronie rozprawy doktorskiej na stanowisku adiunkta.
	**Prof. dr hab. inż. Mariusz Oleksy** jest absolwentem Politechniki Śląskiej w Gliwicach, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera w zakresie przetwórstwa tworzyw polimerowych. Od 1993 r. pracuje na Politechnice Rzeszowskiej, początkowo jako asystent w Zakładzie Technologii Tworzyw Sztucznych, a po obronie rozprawy doktorskiej na Politechnice Śląskiej na stanowisku adiunkta. W 2015 r. uzyskał stopień naukowy doktora habilitowanego w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. W latach 2016-2020 pełnił funkcję prorektora ds. rozwoju i kontaktów z gospodarką. Od 2017 r. pełni funkcję kierownika Katedry Kompozytów Polimerowych na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej. W 2020 r. uzyskał stopień naukowy profesora nauk inżynieryjno-technicznych.
	Dr inż. Rafał Oliwa jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera na kierunku technologia chemiczna. Po obronie rozprawy doktorskiej w 2015 r. rozpoczął pracę na Politechnice Rzeszowskiej na stanowisku adiunkta w Zakładzie Technologii Tworzyw Sztucznych, natomiast od 2017 r. w Katedrze Kompozytów Polimerowych.

Kompozyty polimerowe stosowane w technologii druku 3D

Polymer composites used in 3D printing technology

Rafał Oliwa[1], Mariusz Oleksy[1], Katarzyna Bulanda[1]

[1] Katedra Kompozytów Polimerowych, Wydział Chemiczny, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; oliwa@prz.edu.pl; molek@prz.edu.pl; k.bulanda@prz.edu.pl;

Metody wytwarzania addytywnego mieszczące się w ramach definicji druku 3D stanowią pole zarówno ogromnych możliwości, jak i wyzwań związanych z ciągle rosnącymi oczekiwaniami rynku w różnych dziedzinach przemysłu. Do tej pory opracowano wiele technik szybkiego prototypowania, pozwalających między innymi na obróbkę materiałów polimerowych, kompozytów oraz materiałów specjalnych.

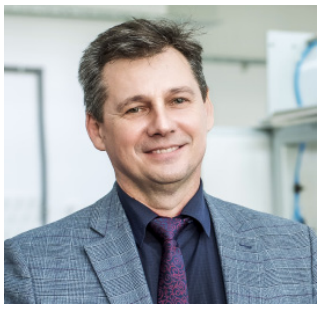
Materiały kompozytowe wytworzone z udziałem polimerów należących do klasy termoplastów stały się w ostatnim czasie ważną grupą dla zróżnicowanej gamy zastosowań inżynieryjnych. W wyniku tego przeprowadzono badania nad otrzymaniem innowacyjnych kompozytów na osnowie polilaktydu (PLA) z dodatkiem niemodyfikowanego i modyfikowanego powierzchniowo hydroksyapatytu przeznaczonych do wytwarzania filamentów do druku 3D. W tym celu:

- otrzymano mieszanki PLA z dodatkiem 1-3% mas. napełniacza,
- wytworzono filamenty na bazie opracowanych mieszanek,
- wytworzono metodą druku 3D próbki do badań w postaci mini wiosełek.

Zbadano wpływ wprowadzonej modyfikacji oraz zawartości napełniaczy na właściwości użytkowe wytworzonych kompozytów. Przeprowadzono następujące badania: masowy wskaźnik szybkości płynięcia, twardość metodą Rockwella, udarność z karbem według Charpy'ego oraz wytrzymałość na rozciąganie. Przeprowadzono również analizę termograwimetryczną i zbadano strukturę kruchych przełomów otrzymanych kształtek.

Słowa kluczowe: kompozyty polimerowe, polilaktyd, hydroksyapatyt, druk 3D

Keywords: polymer composites, polylactide, hydroxyapatite, 3D printing

	Dr inż. Rafał Oliwa jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera na kierunku technologia chemiczna. Po obronie rozprawy doktorskiej w 2015 r. rozpoczął pracę na Politechnice Rzeszowskiej na stanowisku adiunkta w Zakładzie Technologii Tworzyw Sztucznych, natomiast od 2017 r. w Katedrze Kompozytów Polimerowych.
	**Prof. dr hab. inż. Mariusz Oleksy** jest absolwentem Politechniki Śląskiej w Gliwicach, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera w zakresie przetwórstwa tworzyw polimerowych. Od 1993 r. pracuje na Politechnice Rzeszowskiej, początkowo jako asystent w Zakładzie Technologii Tworzyw Sztucznych, a po obronie rozprawy doktorskiej na Politechnice Śląskiej na stanowisku adiunkta. W 2015 r. uzyskał stopień naukowy doktora habilitowanego w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. W latach 2016-2020 pełnił funkcję prorektora ds. rozwoju i kontaktów z gospodarką. Od 2017 r. pełni funkcję kierownika Katedry Kompozytów Polimerowych na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej. W 2020 r. uzyskał stopień naukowy profesora nauk inżynieryjno-technicznych.
	Dr inż. Katarzyna Bulanda jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie, gdzie uzyskała tytuł magistra inżyniera na kierunku technologia chemiczna. Od 2020 r. pracuje na Politechnice Rzeszowskiej, początkowo jako asystent w Katedrze Kompozytów Polimerowych, a po obronie rozprawy doktorskiej na stanowisku adiunkta.

Druk 3D jako nowoczesne narzędzie pracy artysty

3D printing as an innovative tool for artists

Izabela Miechowicz [1], Jakub Trzyna [2], Wiktoria Wojnarowska[3]

[1] Studentka-Akademia Sztuk Pięknych w Gdańsku, Wydział Grafiki; izabelamiechowicz9909@gmail.com

[2] Dolnośląski Park Innowacji i Nauki S.A. ul. Eugeniusza Kwiatkowskiego 4, 52-326 Wrocław; jakub.trzyna@dpin.pl

[3] Doktorantka-Szkoła Doktorska Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej; w.wojnarowsk@prz.edu.pl

Nowoczesne techniki przyrostowych AM (ang. Additive Manufacturing), druk 3D są coraz chętniej wykorzystywane jako narzędzia pracy twórczej przez szerokie grono odbiorców: twórców i artystów. Rozwój narzędzi do modelowania 3D oraz obniżenie kosztów materiałów do druku wpłynęły na upowszechnienie druku 3D do tworzenia nowych form artystycznych. Dodatkowo, połączenie różnych technik wytwarzania daje możliwość uzyskania efektów niedostępnych przy użyciu tradycyjnych narządzi artysty. W pracy przedstawiono przykłady zastosowania wybranych technik wytwarzania, łączenia różnych metod w celu uzyskania nowych środków ekspresji artystycznej (rys. 1). Zostały również przedstawione etapy wytwarzania przykładowej pracy z wykorzystaniem nowoczesnych technik wytwarzania (rys.2).

Rysunek 1. Przykładowe modele figur postaci z gier komputerowych wykonane techniką SLS

Rysunek 2. Etapy wytwarzania form do odlewania modeli personalizowanych: 1. Modele wygenerowane w programie Blender, wykonane techniką FDM, 2. Forma silikonowa (silikon spożywczy), 3. Gotowy odlew czekoladowy

Słowa kluczowe: druk 3D, techniki przyrostowe, RP/AM, techniki wytwarzania, modelowanie 3D

	Izabela Miechowicz studiuje na wydziale grafiki Akademii Sztuk Pięknych w Gdańsku. W pracy twórczej wykorzystuje nowoczesne techniki projektowania oraz wytwarzania, szczególnie druk 3D, jako formę ekspresji artystycznej.
	Jakub Trzyna jest absolwentem Uniwersytetu Pedagogicznego we Wrocławiu, kierunek: Edukacja techniczno informatyczna. Obecnie studiuje MBA in Community Management na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie. Od 2011 roku powiązany zawodowo ze środowiskiem technologii przyrostowych. Doświadczenie: przedstawiciela, prekursorów technologii, operatora maszyn, serwisanta, wdrożeniowca.
	Wiktoria Wojnarowska jest absolwentką Politechniki Rzeszowskiej. Ukończyła studia I stopnia na kierunku Inżynieria Medyczna oraz studia II stopnia na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn. Obecnie jest doktorantką w Szkole Doktorskiej Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej. Jej zainteresowania naukowe skupiają się na zastosowaniu metod projektowania, symulacji, analizy numerycznej oraz technik szybkiego prototypowania w aplikacjach medycznych oraz weterynaryjnych.

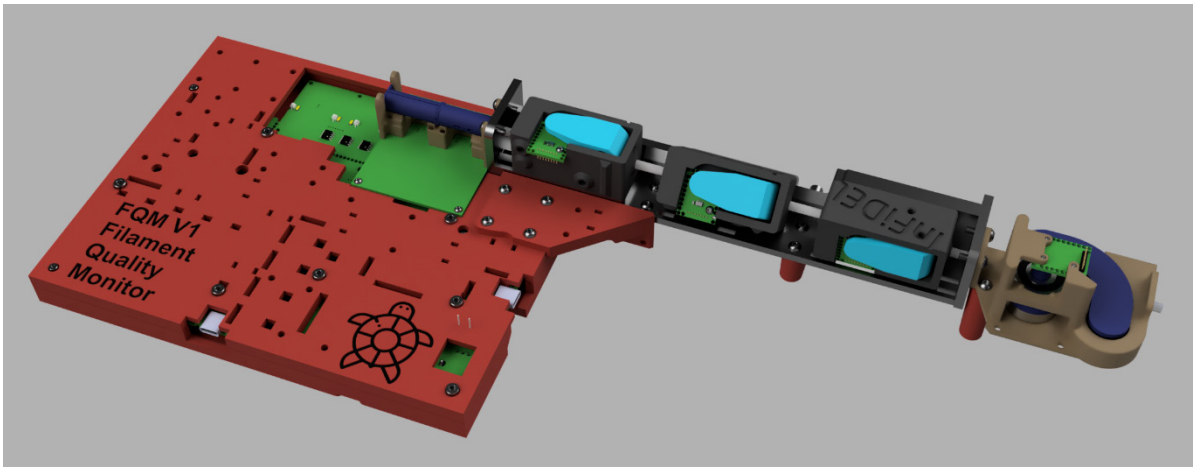
Monitor jakości filamentu dla drukowania włóknem ciągliwym

Filament quality monitor for fused filament fabrication

Jakub Aniulis[1], Grzegorz Dudzik[1], Krzysztof Abramski[1]

[1] Wrocław University of Science and Technology; jakub.aniulis@pwr.edu.pl; grzegorz.dudzik@pwr.edu.pl; krzysztof.abramski@pwr.edu.pl

Monitor jakości filamentu jest urządzeniem metrologicznym czasu rzeczywistego bazującym na przepustowym pomiarze względnej przenikalności elektrycznej, pozwalającym na określenie własności filamentu takich jak: typ materiału, zawilgocenie, wariacje średnicy i krągłości, defekty zewnętrzne oraz wewnętrzne. Pomiar przeprowadzony jest na zasadzie wprowadzenia filamentu pomiędzy okładki kondensatora i ciągłym pomiarze jego pojemności, przekładającej się na względną przenikalność elektryczną. W celu przypisania zmierzonej wartości do konkretnego fragmentu filamentu urządzenie monitoruje ruch wzdłużny materiału za pomocą enkodera magnetycznego. Dodatkowo przy pomocy czujników Halla mierzona jest średnica filamentu w 3 niezależnych osiach, a na podstawie uzyskanych wyników możliwe jest wprowadzenie poprawek do pomiaru pojemnościowego uwzględniających zmiany geometrii filamentu.

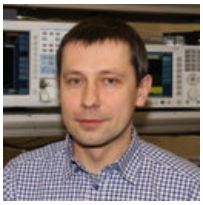


Rysunek 1. Monitor jakości filamentu

Słowa kluczowe: monitorowanie filamentu, druk 3D, drukarka 3D, FDM, FFF, technologie addytywne, pomiary polimerów, materiały termoplastyczne, względna przenikalność

elektryczna filamentu, zawilgocenie filamentu, średnica i krągłość filamentu, defekty filamentru, pomiar filamentu w czasie rzeczywistym .

Keywords: filament monitor, 3D printing, 3D printer, FDM, FFF, additive manufacturing, quality, polymers measurements, thermoplastic materials, relative dielectric permeability, filament moisture, filament diameter and roundness, filament defects, filament real time measurement.

	Polski inżynier magister elektroniki, uczestnik programu 'Doktorat Wdrożeniowy' Szkoły Doktorskiej Politechniki Wrocławskiej, specjalizujący się w inżynierii elektronicznej, programowaniu w językach niskiego i wysokiego poziomu, technologiach addytywnych, oprogramowaniu CAD i urządzeniach związanych z medycyną diagnostyczną.
	Polski inżynier elektroniki, doktor nauk technicznych, specjalizujący się w spektroskopii laserowej, stabilizacji laserów, zaawansowanej elektronice, laserach na ciele stałym, wibrometrii laserowej oraz metodach przetwarzania i detekcji. Nauczyciel akademicki w Katedrze Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki na Wydziale Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej.
	Polski inżynier elektroniki, profesor nauk technicznych, specjalizujący się w elektronice kwantowej, optoelektronice, optokomunikacji oraz technice laserowej. Nauczyciel akademicki w Katedrze Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki na Wydziale Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej.

Analiza wytrzymałości wspornika wykonanego w technologii przyrostowej FFF z optymalizacją topologii

Strength analysis of a bracket made in the FFF incremental technology with topology optimization

Łukasz Przeszłowski[1], Grzegorz Budzik[1], Łukasz Kochmański[1], Ireneusz Chrzan[1],

[1]Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska im. Ignecego Łukasiewicza; lprzeszl@prz.edu.pl, gbudzik@prz.edu.pl, l.kochmanski@prz.edu.pl, irek.chr@gmail.com

Optymalizacja topologii to metoda numeryczna pozwalająca projektować części, których struktura rozmieszczana jest w najkorzystniejszej możliwej konfiguracji. Pozwala to inżynierom konstruować elementy o lepszych parametrach użytkowych. Jednak generowane w jej procesie geometrie są najczęściej niemożliwe do otrzymania w wyniku konwencjonalnych metod wytwarzania. Wytwarzanie przyrostowe umożliwia otrzymywanie części o dowolnej geometrii co pozwala na pełne wykorzystanie zalet optymalizacji topologii. W niniejszej pracy zaprojektowano wspornik ścienny, który następnie poddano optymalizacji topologii. Otrzymane geometrie następnie wydrukowano w technologii FFF i zbadano ich właściwości mechaniczne w celu określenia możliwych korzyści wynikających z zastosowania optymalizacji topologii.

Rysunek 1. Przykład jednego z zestawów badawczych wspornika ściennego

Słowa kluczowe: druk 3D, optymalizacja topologii, technologia przyrostowa FFF, analiza wytrzymałości

Keywords: 3D printing, topology optimization, FFF additive technology, strength analysis

	dr inż. Łukasz Przeszłowski jest adiunktem na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza. W 2016 roku uzyskał stopień doktora w dyscyplinie inżynieria produkcji. Jego obszar badawczy to wytwarzanie addytywne, druk 3D, inżynieria odwrotna i systemy CAD. Jest autorem i współautorem kilkudziesięciu artykułów naukowych oraz 4 rozdziałów w książkach. Jest również współtwórcą 2 patentów.
	prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik – Kierownik Katedry Konstrukcji Maszyn na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia z zakresu przyrostowych technik wytwarzania, inżynierii odwrotnej, inżynierii materiałowej, systemów CAD, wzornictwa przemysłowego oraz INDURSTY 4.0.
	mgr. inż. Łukasz Kochmański, doktorant 2-roku Szkoły Doktorskiej Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej dyscyplina naukowa inżynieria materiałowa. Pracownik Katedry Konstrukcji Maszyn wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa. Na co dzień zajmuje się przyrostowymi metodami wytwarzania (druk 3D), zarówno od strony naukowej jak i technicznej.
	mgr inż. Ireneusz Chrzan ukończył studia I-go i II-go stopnia na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn. Zakres prac badawczych podczas pisania pracy magisterskiej obejmował zagadnienia związane z wytwarzaniem przyrostowym jak również wytrzymałością otrzymanych modeli.

Recycling materiału podporowego, jako odpadu w procesie druku 3d

Recycling of 3D printing support material

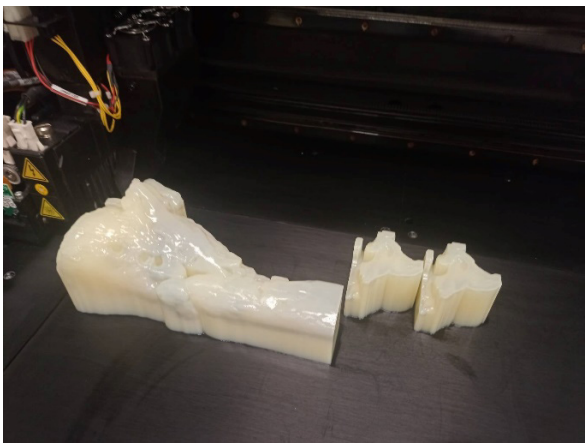
Jakub Trzyna [1], Izabela Miechowicz [2], Wiktoria Wojnarowska[3]

[1] Dolnośląski Park Innowacji i Nauki S.A. ul. Eugeniusza Kwiatkowskiego 4, 52-326 Wrocław; jakub.trzyna@dpin.pl

[2] Studentka-Akademia Sztuk Pięknych w Gdańsku, Wydział Grafiki; izabelamiechowicz9909@gmail.com

[3] Doktorantka-Szkoła Doktorska Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej; w.wojnarowsk@prz.edu.pl

Procesy wytwarzania w technologiach przyrostowych AM (ang. Additive Manufacturing), są nierozerwalnie związane z generowaniem znacznych ilości materiałów odpadowych. W zależności od wybranej techniki mogą to być materiały podporowe (rys.1), w postaci proszku, filamentu, płynnej i utwardzonej żywicy, materiały przeterminowane, odpady z czyszczenia maszyny (rys. 2), itp. Ponowne wykorzystanie nawet części tych materiałów może znacząco wpłynąć na obniżenie kosztów wytwarzania oraz redukcję ilości powstałych odpadów. Ma to większe znaczenie w firmach o dużym parku maszyn, n.p. farmach drukarek 3D. Zarządzanie odpadami generuje koszty, wymaga dodatkowych przestrzeni magazynowych oraz przestrzegania odpowiednich przepisów, procedur recyclingu odpowiednich dla danej technologii przyjętych w firmie. W pracy przedstawiono własne doświadczenia oraz przykłady zarządzania odpadami w firmie DPiN oraz koncepcje możliwości zmniejszenia ilości odpadów poprzez ich ponowne wykorzystanie w innych technikach wytwarzania, łączenia różnych metod w celu uzyskania nowych efektów (postprocessing).



Rysunek 1. Przykładowe modele z podporami (technika PolyJet)

Rysunek 2. Postprocessing i recycling w procesie druku 3D (PolyJet): 1. Usuwanie materiału podporowego, 2. Zbiornik z materiałem odpadowym

Słowa kluczowe: druk 3D, techniki przyrostowe, RP/AM, techniki wytwarzania, recycling

	Jakub Trzyna jest absolwentem Uniwersytetu Pedagogicznego we Wrocławiu, kierunek: Edukacja techniczno informatyczna. Obecnie studiuje MBA in Community Management na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie. Od 2011 roku powiązany zawodowo ze środowiskiem technologii przyrostowych. Doświadczenie: przedstawiciela, prekursorów technologii, operatora maszyn, serwisanta, wdrożeniowca.
	Izabela Miechowicz studiuje na wydziale grafiki Akademii Sztuk Pięknych w Gdańsku. W pracy twórczej wykorzystuje nowoczesne techniki projektowania oraz wytwarzania, szczególnie druk 3D, jako formę ekspresji artystycznej.
	Wiktoria Wojnarowska jest absolwentką Politechniki Rzeszowskiej. Ukończyła studia I stopnia na kierunku Inżynieria Medyczna oraz studia II stopnia na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn. Obecnie jest doktorantką w Szkole Doktorskiej Nauk Inżynieryjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej. Jej zainteresowania naukowe skupiają się na zastosowaniu metod projektowania, symulacji, analizy numerycznej oraz technik szybkiego prototypowania w aplikacjach medycznych oraz weterynaryjnych.

Ocena właściwości materiałów wykonanych w technologii druku 3D/4D do zastosowań medycznych

Krystyna Radoń-Kobus[1], Monika Madej[1], Paweł Szczygieł[2], Katarzyna Piotrowska[1]

[1] Politechnika Świętokrzyska, Katedra Inżynierii Eksploatacji i Przemysłowych Systemów Laserowych, kradonkobus@tu.kielce.pl

[2] Politechnika Świętokrzyska, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii

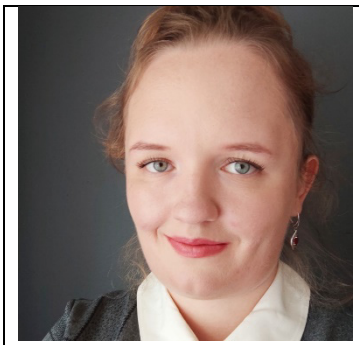
Prężnie rozwijające się technologie przyrostowe obejmują coraz więcej gałęzi przemysłu i nauki. Jedną z dziedzin, która coraz częściej korzysta z technologii druku 3D jest inżynieria biomedyczna. Modele wytwarzane metodami druku 3D umożliwiają chirurgom wizualizację, ćwiczenie, a następnie wykonywanie operacji rekonstrukcyjnych przy jednoczesnej oszczędności czasu i zwiększeniu precyzji. Druk 3D oferuje również ekonomiczne rozwiązanie do produkcji dostosowanych do pacjenta implantów, protez i narzędzi chirurgicznych.

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości tribologicznych termoplastycznych PLA i PLActive (Copper3D) stosowanych w technologii Fused Deposition Modelling (FDM) do zastosowań medycznych.

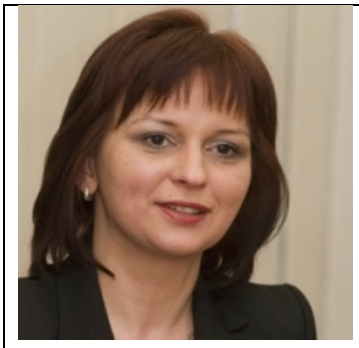
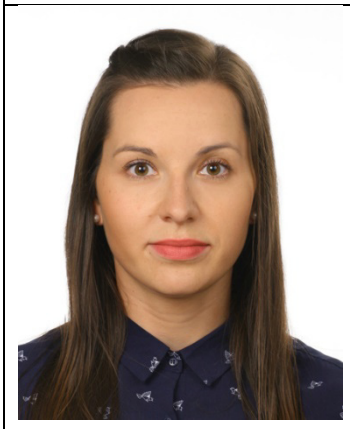
Przeprowadzone badania wykazały, iż kąt wydruku ma bezpośredni wpływ na zużycie tribologicznych badanych powierzchni. Analiza przyczyni się do rozwoju wiedzy w dziedzinie inżynierii biomedycznej, a także ułatwi pracę zespołów medycznych przy projektowaniu elementów wytwarzanych metodami druku 3D.

Słowa kluczowe: druk 3D, materiały termoplastyczne, zastosowania medyczne, właściwości tribologiczne

Keywords: 3D printing, thermoplastic materials, medical applications, tribological properties



mgr inż. Krystyna Radoń-Kobus jest doktorantka Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskała w 2017 roku na ww uczelni. Zajmuje się badaniami dotyczącymi właściwości tribologicznych i mechanicznych.

	dr hab. inż. Madej Monika, prof. PŚk jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zatrudnioną w Katedrze Inżynierii Eksploatacji i Przemysłowych Systemów Laserowych.
	mgr inż. Paweł Szczygieł jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na ww uczelni. Zajmuje się badaniami dotyczącymi zastosowania druku 3D w medycynie.
	mgr inż. Katarzyna Piotrowska jest asystentką na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn, tytuł magistra inżyniera uzyskała w 2016 roku na ww. Uczelni. Zawodowo zajmuje się formowaniem biozgodnych warstw powierzchniowych z wykorzystaniem procesów chemicznego i fizycznego osadzania w fazy gazowej, oceną właściwości warstw wierzchnich i powłok uzyskanych za pomocą ww. technik oraz określeniem interakcji pomiędzy warstwami powierzchniowymi a płynami ustrojowymi.

Systemy wytwarzania przyrostowego w Instytucie Robotów i Konstrukcji Maszyn WIM WAT – rozwiązania technologiczne dla Sił Zbrojnych RP oraz przemysłu cywilnego

Additive manufacturing technologies at the IRiKM WIM WAT - technological solutions for the Armed Forces of the Republic of Poland and the civil industry

Janusz Kluczyński[1], Lucjan Śnieżek[2], Krzysztof Grzelak[3], Jakub Łuszczek[4]

[1-4] Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

e-mail: [1]janusz.kluczynski@wat.edu.pl, [2]lucjan.sniezek@wat.edu.pl, krzysztof.grzelak@wat.edu.pl, [4] jakub.luszczek@wat.edu.pl,

Z uwagi na bardzo dużą popularność zarówno w przestrzeni naukowej jak i przemysłowej, wytwarzanie przyrostowe staje się jedną z głównych technologii produkcji będąc uzupełnieniem lub substytutem konwencjonalnych technik wytwarzania. Ostatnie 20 lat to czas znaczącego rozwoju zarówno urządzeń jak i materiałów stosowanych w wytwarzaniu przyrostowym. Aspekt ten bardzo pozytywnie wpływa na rozwój rynku związanego z tą relatywnie nową technologią produkcji, dzięki czemu jego wartość wzrośnie z 5,8 mld USD w 2016 r. do 55,8 mld USD w 2027 r. wg raportu Smithers. W związku z tym niektóre z zaawansowanych technik wytwarzania przyrostowego stają się gotowe do certyfikacji i bezpośredniego wdrożenia zarówno w przemyśle cywilnym jak i wojskowym. Działania te umożliwią przyspieszenie procesów produkcji - zwłaszcza nisko seryjnej, a w przypadku zastosowań w siłach zbrojnych – zwiększą interoperacyjność poszczególnych jednostek wojskowych. W niniejszej pracy przedstawiono rozwój technik wytwarzania przyrostowego w Instytucie Robotów i Konstrukcji Maszyn WIM WAT, a także przegląd najważniejszych badań naukowych, które umożliwiły zespołowi IRiKM WIM WAT udział w wielu projektach badawczo – rozwojowych krajowych i zagranicznych.

Słowa kluczowe: wytwarzanie przyrostowe, selektywne stapianie laserowe, przyrostowe inżynieria mechaniczna, badania właściwości użytkowych

Keywords: additive manufacturing, selective laser melting, mechanical engineering, performance properties

Wpływ nanocząstek miedzi na właściwości poliaktydu PLA do zastosowań w systemach biotribologicznych

Katarzyna Piotrowska[1], Monika Madej[1], Krystyna Radoń-Kobus[1] Paweł Szczygieł[2]

[1] Politechnika Świętokrzyska, Katedra Inżynierii Eksploatacji i Przemysłowych Systemów Laserowych, kpiotrowskapsk@gmail.com

[2] Politechnika Świętokrzyska, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii

W ostatnim czasie zaobserwowano zwiększone zapotrzebowanie na różnego rodzaju implanty i wyroby medyczne. U osób starszych wynika to ze wzrostu poziomu życia oraz wydłużającego się czasu życia. Z kolei różnego rodzaju kontuzje i wypadki powodują konieczność stosowania implantów u osób w młodym wieku. Wpłynęło to na zintensyfikowanie prac nad nowymi, złożonymi i wielofunkcyjnymi biomateriałami - metodami ich wytwarzania, modyfikacji oraz oceny ich właściwości. Do takich nowatorskich podejść zaliczyć można coraz mocniej rozwijające się metody drukowania 3D.

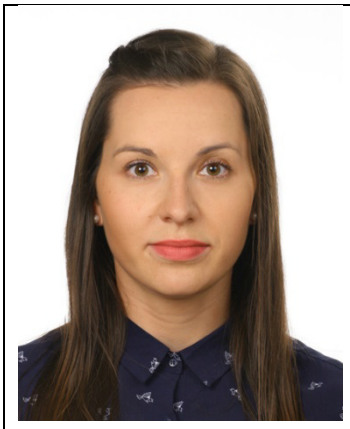
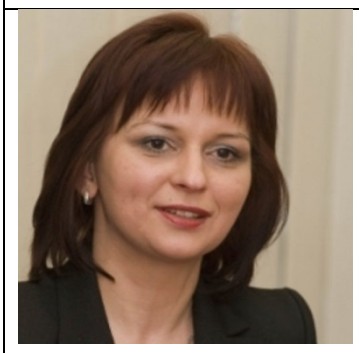
W pracy posłużono się technologią druku 3D Fused Deposition Modeling (FDM). Zaletą tej metody jest drukowanie przestrzennych struktur relatywnie niewielkim kosztem w miejscach gdzie produkcja seryjna bywa problematyczna lub po prostu nieopłacalna. Metoda ta pozwala na zastosowanie szerokiej gamy tworzyw termoplastycznych. Jednym z najczęściej stosowanych materiałów do druku 3D jest polikatyd (PLA), będący jednocześnie tworzywem najbardziej uniwersalnym i najłatwiejszym w drukowaniu. Dodatkowo wzbogacenie filamentów PLA czynnikami antybakteryjnymi np. nanomiedzią, nanosrebrem pozwala na uzyskanie właściwości biobójczych.

Wyniki badań mechanicznych wskazały, że kąt wydruku oraz dodatek nanomiedzi do PLA ma bezpośredni wpływ na twardość. Największą twardością charakteryzowały się próbki z PLActive wydrukowane pod kątem 0° i 90°. Uzyskane wartości były odpowiednio o 10 i 22% większe w porównaniu z czystym PLA. Wszystkie badanie powierzchnie charakteryzowały się hydrofilowością, o czym świadczą wyniki badań zwilżalności wodą demineralizowaną. Parametr ten jest niezwykle istotny pod kątem adhezji komórek do powierzchni implantu oraz ewentualnego rozwoju biofilmu na powierzchni.

Uzyskane wyniki badań stanowią cenne źródło informacji na temat tworzyw termoplastycznych oraz możliwości ich potencjalnego zastosowania w medycynie.

Słowa kluczowe: druk 3D, materiały termoplastyczne, biomateriały, twardość, zwilżalność

Keywords: 3D printing, thermoplastic materials, biomaterials, hardness, wettability

	mgr inż. Katarzyna Piotrowska jest asystentką na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn, tytuł magistra inżyniera uzyskała w 2016 roku na ww. Uczelni. Zawodowo zajmuje się formowaniem biozgodnych warstw powierzchniowych z wykorzystaniem procesów chemicznego i fizycznego osadzania w fazy gazowej, oceną właściwości warstw wierzchnich i powłok uzyskanych za pomocą ww. technik oraz określeniem interakcji pomiędzy warstwami powierzchniowymi a płynami ustrojowymi.
	mgr inż. Krystyna Radoń-Kobus jest doktorantką Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskała w 2017 roku na ww. Uczelni. Zajmuje się badaniami dotyczącymi właściwości tribologicznych i mechanicznych.
	dr hab. inż. Madej Monika, prof. PŚk jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zatrudnioną w Katedrze Inżynierii Eksploatacji i Przemysłowych Systemów Laserowych.
	mgr inż. Paweł Szczygieł jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na ww. uczelni. Zajmuje się badaniami dotyczącymi zastosowania druku 3D w medycynie.

Smart textiles from 3D printed shape memory polymers – a review

Andrea Ehrmann, Guido Ehrmann, Tomasz Blachowicz

Shape memory polymers can change their shape as a reaction to external stimuli, typically heat. Poly(lactic acid) (PLA), one of the most often used polymers for 3D printing by fused deposition modeling (FDM), shows this shape memory effect and is thus highly suitable for applications in 4D printing, i.e. 3D printed objects which can change their geometry with time.

This presentation gives an overview of shape memory materials and their working principles, especially those suitable for FDM and other 3D printing techniques. We discuss the latest advances in 4D printing based smart textiles, containing either purely 3D printed textile structures or 3D printing on textile fabrics, the potential applications as well as remaining challenges in this emerging research area.

Możliwości wykorzystania druku 3D do produkcji komponentów i części stosowanych w wojsku

Possibilities of using 3D printing for the production of components and parts used in the Army

Zdenek Joska[1], Jakub Horníček[1], Tomáš Dražan[1], Adam Švásta[2], Zdenek Pokorný[1] and David Dobrocký [1],

[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Military Technology, University of Defence, 66210 Brno, Czech Republic; zdenek.joska@unob.cz; jakub.hornicek@unob.cz; tomas.drazan@unob.cz;zdenek.pokorny@unob.cz; david.dobrocky@unob.cz

[2] Department of Combat and Special Vehicles, Faculty of Military Technology, University of Defence, 66210 Brno, Czech Republic; Affiliation; adam.svasta@unob.cz

Selecting an appropriate replacement component manufacturing process provides significant cost savings over original components that can be manufactured by an alternative method provided the required geometric, mechanical, and functional properties are maintained. The components produced in this way achieve the same or better parameters as the original components. The advantage of components produced in this way are in some cases better properties, simplification of the production process, acceleration of production time and reduction of costs.

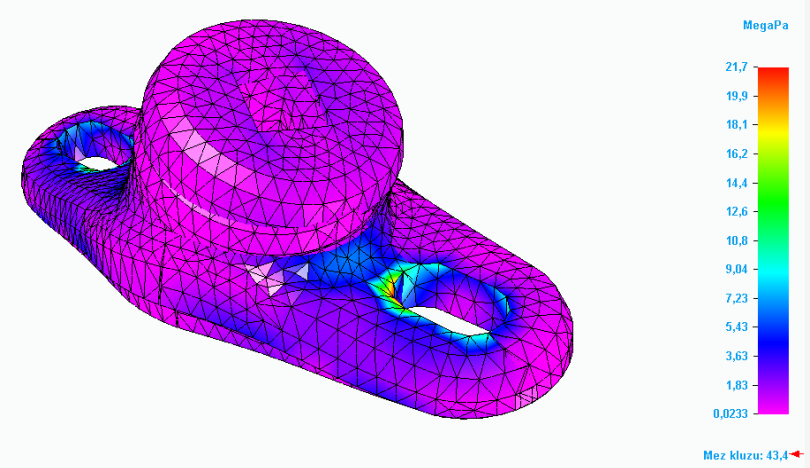


Figure 1. Stress simulation of a component

The 3D printing method of production simplifies logistical security and allows production to be transferred to places where the classic process would not be possible.

The work deals with an example study of the use of 3D printing of spare parts for ground military equipment, from the selection of suitable components for additive manufacturing, the possibility of their conversion into a 3D model, or their direct modeling, the design of the necessary post-processing and their testing in real operating conditions.

The mechanical properties of the produced components were evaluated. Durability tests of manufactured components were carried out during 9 months of real operation. After a predetermined period, the appropriateness of using additive manufacturing, time and financial analysis was evaluated.

The results showed that the production of components with additive technology can in some cases greatly simplify the acquisition process and enable production in places that would otherwise not be possible due to the character of the location.

Keywords: 3D print, spare parts, reverse engineering, mechanical properties.

Wytwarzanie addytywne struktur hybrydowych

Additive Manufacturing of hybrid structures

Maximilian Kroll[1]

[1] Fraunhofer IWU

Maximilian.Kroll@iwu.fraunhofer.de

The paper to be presented gives an overview of the activities at Fraunhofer IWU Center for Plastics Technologies Oberlausitz in the field of additive manufacturing of hybrid structures. The focus is on the synthesis of fiber-plastic composites with components manufactured by means of metal-based additive manufacturing. Within this abstract the principle is exemplified by a currently investigated turbine blade.

The potential of metal 3D printing in combination with the use of fiber-reinforced plastic composites (especially CFRP) to achieve maximum lightweight design can be seen by means of a hybrid FRP/metal turbine blade for use in industrial steam turbines. The mass reduction of runner and guide vanes leads to a significant increase in the power classes of steam turbines and has numerous advantages: higher power density, longer lifetime and simpler assembly processes. However, especially the high and complex thermo-mechanical loads in the blade root as well as the high tribological load due to droplet erosion at the leading edge of the turbine blade require metallic components in these critical areas. The desired maximum lightweight construction potential can be achieved by an intelligent mixed construction method of additively manufactured metal and load-path-compatible fiber composite structure. To implement this objective currently novel concepts are being developed for a hybrid design that is suitable for the load path, a fiber-composite-compatible connecting zone between metal and FRP, and a suitable tooling concept for shaping - also additively manufactured using SLM - the hybrid rotor blade.

Reducing the rotating masses of a steam turbine has a decisive influence on increasing the efficiency for energy generation and thus on resource efficiency. To achieve the desired maximum lightweight design, the turbine blade is made of high-strength carbon fiberreinforced plastics (CFRP). Unidirectional (UD) fabrics are arranged in layers in accordance with the load path and the mechanical (tension/compression, torsion), thermal and hygroscopic (absorption of moisture) loads that occur. The highest mechanical loads occur at the blade root, which introduces the forces into the turbine rotor. The blade root, which is designed to be lightweight, is therefore manufactured using SLM. In addition to the thermomechanical and hygroscopic stress on the turbine blade, the surface is subject to high abrasive stress due to droplet erosion. An innovative solution to this problem is a metallic blade leading edge for permanent protection of the FRP structure. The blade profile is produced in the same additive manufacturing step as the blade root and is fully bonded to the load-bearing FRP structure (see Fig. 1).

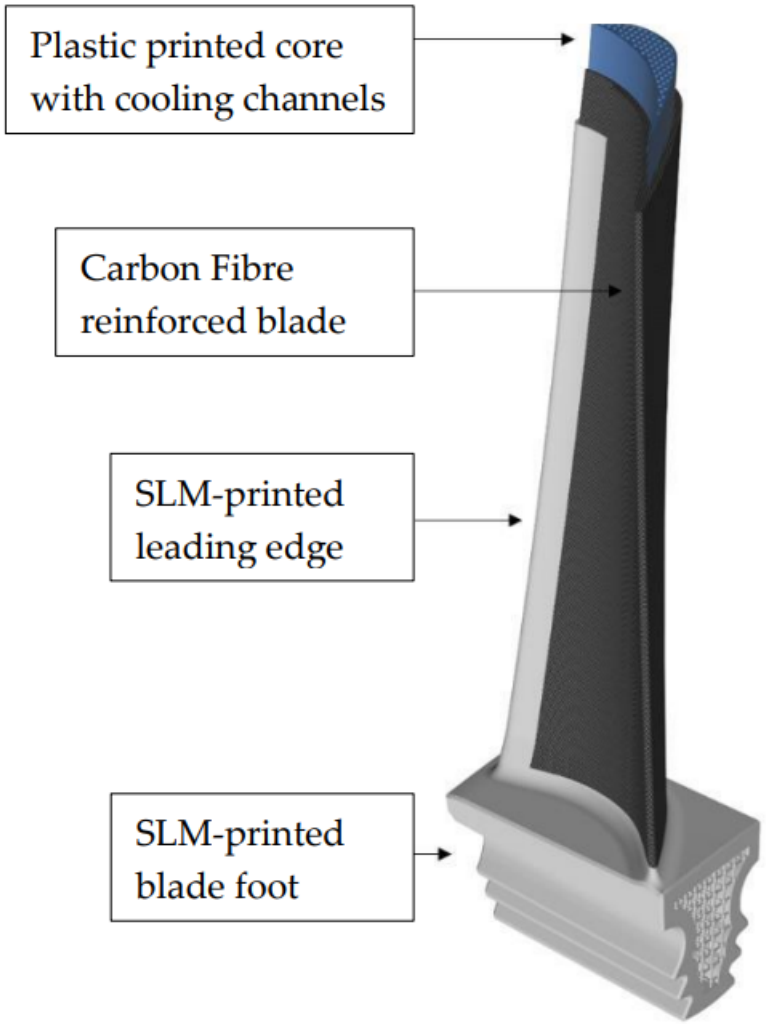


Figure 1. Representation of the hybrid lightweight turbine blade

The scientific and technical challenge is both the preparation of the metal surface of the blade leading edge as required for high composite strength and the design of the laminate structure of the CFRP structure in line with the load in order to avoid critical interlaminar stresses between the components, in particular due to thermal expansion and mechanical deformation of the hybrid turbine blade. Current attempts are aimed at preparing the surfaces accordingly within the manufacturing processes and achieving reproducible roughness values Ra < 5 to reduce the post processing of the additively manufactured leading edge.

Keywords: Hybrid structures, Selective Laser Melting, fibre reinforced plastics, turbine blade

Maximilian Kroll is research associate at the Fraunhofer IWU Center for Plastics Technologies Oberlausitz, where he manages and supports projects in the areas of: Fiber-plastic composites and plastic- as well as metal-based additive manufacturing.

Preliminary sewing studies and determination of the optimal needle size for 3D printing/textile composites prepared using FFF printing technology

Menuja Suriyathasan[1], Hannah Brodermanns[1], Marc Neumann[1], Lilia Sabantina[1,2]

[1] Niederrhein University of Applied Sciences, Department of Textile and Clothing Management, 41065, Moenchengladbach, Germany

[2] Junior Research Group "Nanomaterials", Bielefeld University of Applied Sciences, Faculty of Engineering and Mathematics, 33619 Bielefeld, Germany

3D printing offers many possibilities for the production of products on demand up to functional prototypes and finds applications in the fields of aerospace, construction, automotive, medicine but also in the field of innovative textiles, smart textiles and apparel, etc. 3D printing on textiles using Fused Filament Fabrication (FFF) technology opens new possibilities and combines flexibility of textiles with relatively rigid plastic filaments, which can be interesting for new applications such as motorcycle protective clothing, where textiles can be reinforced with plastics. Usually leather material is used for motorcycle clothing because of its robustness, but in summer months motorcycle clothing made of textiles is often worn, which can increase the risk of injury. Textile reinforcement using 3D printing can reinforce defined areas while maintaining flexibility and comfort. As this is a new field, there are no papers to the best of our knowledge and belief that deal with the processing of 3D printing/textile composites using a sewing machine. This study represents the first attempt to sew 3D printed/textile composites and determine optimal needle size for two different 3D printed/textile composites made of PLA and PLA soft.

Keywords: 3D printing, textile, motocycle protective clothing, FFF, PLA

Menuja Suriyathasan is a bachelor student studying Textile and Clothing Management at Niederrhein University, Department of Textile and Clothing Technology, Mönchengladbach, Germany.

	Hannah Brodermanns is a bachelor student studying Textile and Clothing Management at Niederrhein University, Department of Textile and Clothing Technology, Mönchengladbach, Germany.
	Dipl.-Ing. Marc Neumann works as a scientific assistant at the Niederrhein University of Applied Science, Mönchengladbach, Germany. He started his carreer in textiles with an education in dyeing and finishing at AKZO NOBEL Faser AG, Wuppertal, Germany, added a study of Textile Technology at the Niederrhein University of Applied Science in Mönchengladbach and has worked in the quality management area for more than 20 years in fields of automotive and home textiles. He now works at the Department of Textile and Clothing Technology giving practical trainings and support to the students.
	Dr. Lilia Sabantina is the head of the Junior Research Group "Nanomaterials" at the Bielefeld University of Applied Sciences, Department of Engineering and Mathematics (IuM), Germany, and is also a lecturer at the Niederrein University of Applied Sciences, Mönchengladbach, Germany. As project leader in the start-up project "tredico "she and her team developed biobased composites from fungal mycelium using a multifunctional 3D printer at FH Bielefeld. Dr. Lilia Sabantina received her PhD from the Faculty of Chemical Engineering at the University of Malaga, Spain, and conducts research in electrospinning, nanotechnologies, additive manufacturing, composites and innovative textiles. She works as a reviewer for international journals and has numerous publications in international journals.

Analysis of the orientation of nanofibers fabricated with needle-free and needle-based electrospinning technologies and coated onto 3D-printed free-form composites manufactured with FFF, PJM, and SLM technologies

Tomasz Kozior [1,*], Al Mamun [2], Jiri Hajnys [3], Michaela Klöcker [4], Lilia Sabantina [2,*]

[1] Kielce University of Technology, Faculty of Mechatronics and Mechanical Engineering, tkozior@tu.kielce.pl

[2] Junior Research Group "Nanomaterials", Faculty of Engineering and Mathematics, Bielefeld University of Applied Sciences, 33619 Bielefeld, Germany; al.mamun1@fh-bielefeld.de; lilia.sabantina@fh-bielefeld.de;

[3] Center of 3D Printing Protolab, Department of Machining, Assembly and Engineering Technology, Faculty of Mechanical Engineering, VSB - Technical University of Ostrava, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Czech Republic, jiri.hajnys@vsb.cz

[4] Faculty of Engineering and Mathematics, Bielefeld University of Applied Sciences, 33619 Bielefeld, Germany; michaela.kloecker@fh-bielefeld.de

Electrospun nanofibers exhibit unique properties and have potential to be used in biomedical, energy storage and filtration applications. The orientation of nanofibers has an impact on the final material properties and is therefore of greater interest in both academic and industrial research. On the other hand, three-dimensional printing technologies are mainly used to fabricate elements with complex shapes and geometries. The combination of these two unconventional technologies such as 3D printing and electrospinning to produce new composite materials is a new invention in this research. In this study, 3D printing technologies - fused filament fabrication (FFF), photo-curing liquid polymer resins (PJM), and selective laser melting (SLM) - are used to fabricate composite samples, and both types of electrospinning - needle-free and needle-based - are used to fabricate nanofiber composites from polyacrylonitrile (PAN), gelatin, and dimethyl sulfoxide (DMSO). The combination of these technologies opens up new possibilities for the fabrication of complex-shaped composites and aligned electrospun nanofibers, which have not yet been extensively tested. The alignment of the electrospun nanofiber composites is confirmed by confocal laser scanning microscopy (CLSM) and scanning electron microscopy (SEM) results. This research article could be a small contribution to the fabrication of composite materials for the development of filtering devices and for medical applications in the future.

Keywords: Electrospining, oriented nanofibers, Fused Filament Fabrication (FFF), Polyjet-Modeling (PJM), Selective Laser Melting (SLM).

	dr inż. Tomasz Kozior jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, zatrudnionym w Katedrze Metrologii i Niekonwencjonalnych Metod Wytwarzania. Od 2012 roku zajmuje się badaniami własności mechanicznych, metrologicznych i tribologicznych materiałów stosowanych w druku 3D/4D.
	Mr. Al Mamun has completed his Master Management of Textile Trade and Technologies at Niederrhein, Mönchengladbach, Germany and is working at FH Bielefeld since 2019 and is a member of the junior research group "Nanomaterials". He is doing his PhD in the field of magnetic nanofiber mats at Bielefeld University of Applied Sciences, Germany and Silesian University of Technology, Institute of Physics, Poland.
	Dr. Jiri Hajnys is the head of the Protolab 3D Printing Center at VSB - Technical University of Ostrava, Czech Republic. He deals with additive technologies focusing on the process of 3D metal printing using the SLM method and its subsequent post-processing. He is also a successful project leader of some projects aimed on additive manufacturing.
	Ms. Michael Klöcker is a graduate engineer and works at the Bielefeld University of Applied Sciences in the field of materials research and supports students in material testing methods and conducting investigations on metals and surfaces.
	Dr. Lilia Sabantina is the head of the Junior Research Group "Nanomaterials" at the Bielefeld University of Applied Sciences, Department of Engineering and Mathematics (IuM), Germany, and is also a lecturer at the Niederrein University of Applied Sciences, Mönchengladbach, Germany. As project leader in the start-up project "tredico "she and her team developed biobased composites from fungal mycelium using a multifunctional 3D printer at FH Bielefeld. Dr. Lilia Sabantina received her PhD from the Faculty of Chemical Engineering at the University of Malaga, Spain, and conducts research in electrospinning, nanotechnologies, additive manufacturing, composites and innovative textiles. She works as a reviewer for international journals and has numerous publications in international journals.

The tribological characteristics of 3D printed polymers and polymer composites

Muammel M. Hanon[1,2], László Zsidai[1]

[1] Mechanical Engineering Doctoral School, Szent István Campus, MATE University, 2100 Gödöllő, Hungary; sharba.muammel.m.hanon@phd.uni-mate.hu; zsidai.laszlo@uni-mate.hu

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

Industry, academic institutions and research groups, as well as amateurs, have all shown an interest in additive manufacturing, also referred to as 3D printing. In recent years, there has been a sharp increase in the use of additive manufacturing technology across a number of industries. The study of surfaces in contact and motion, as well as associated support operations targeted at reducing friction and wear-related costs, is known as tribology. Due to its advantageous characteristics, such as their capacity for vibration dampening, self-lubrication, and corrosion resistance, polymer components have long been a favorite in tribological applications. When creating component structures for 3D printing, several process variables may be regulated. For a variety of manufacturing circumstances, the impact of process parameter sets on mechanical characteristics has been thoroughly explored.

The tribological and mechanical characteristics of 3D-printed polymers and polymer composites will be assessed in this work. This study will improve the control and optimization of the polymer 3D printing settings and give a better grasp of the tribological characteristics of the polymeric components. These discoveries will be beneficial to the industry, which has just begun to adopt modern additive manufacturing techniques for all sliding element goods in addition to quick prototyping.

Keywords: Additive manufacturing, friction, wear, 3D printing parameters, polymers.

	Muammel obtained a PhD degree in Mechanical Engineering from the Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Hungary, in 2022. He works as a lecturer since 2011 at the Middle Technical University, Iraq. Muammel has more than 30 publications in reputed international journals. He has an author H-index of 11 according to Scopus, ResearchGate and Google Scholar. He is a member of; Polymer Processing Society, Montreal, Canada, since 2021, Federation of Arab Engineers, Cairo, Egypt, since 2010, and Iraqi Engineers Union, Baghdad, Iraq, since 2007. In 2017, he was awarded the Stipendium Hungaricum scholarship for studying the PhD in Hungary at MATE (Szent István University formerly). His research project aimed at investigating the tribological characteristics of 3D-printed polymers.
	Dr. László Zsidai works as an associate professor at the Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Hungary. He has tens of publications in reputed international journals and his author H-index is 13. His area of expertise includes tribology, polymers, and 3D printing.

Analiza wpływu właściwości wytrzymałościowych malezyjskiej skóry owczej typu nappa na projektowanie szycia odzieży

Inspecting the effect of tensile properties on Malaysia sheepskin nappa leather on garment sewability design

Murni Balqis Hashim[1], Pawel Szczygiel[2], Tomasz Kozior[2],
Nik Farid Nik Ismail[1], Azman Senin[1],

[1] University of Kuala Lumpur (Malaysia Italy Design Institute), 119, Jalan 7/91, Taman Shamelin Perkasa, 56100 Kuala Lumpur, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur, Malaysia, Email: **murni.hashim@s.unikl.edu.my**, nikfarid@unikl.edu.my, azmans@unikl.edu.my

[2] Kielce University of Technology, aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce. Poland, Email: pszczygiel@tu.kielce.pl, tkozior@tu.kielce.pl

The paper is intended to study Malaysia sheepskin leather tensile properties in garment industry which the first experiment done for local made leather from local breed. This research will also lead to the next step of research that is leather sewability tensile stress that is important in increasing the strength of the sewed leather. Common practice of garment manufacturer is to cut the garment pattern parallel to the backbone of the leather in order to get the smooth and perfect texture and cost saving as much as possible. For this aim, surface area of one piece of Malaysia nappa sheepskin leather has been cut in parallel with die cut mould into 100 samples. Thickness, tensile strength, displacement at break values has been recorded. The presented research is an introduction to the construction of composite models with the combination of 3D printing.

For this experiment, leather is cut using die cut mold and the preparation is following ISO 2895 and ISO 3376 [1].

Keywords: *tannery, leather, sustainability, sheepskin, sewability, tensile, 3D printing*

	Murni Balqis binti Hashim currently a PhD student in Universiti Kuala Lumpur majoring in leather technical research and has more than 7 years in international leather crafting. Attached with local leather tannery, Murni expand the leather research in Malaysia and could be the first technical leather research being done at this moment.
	Paweł Szczygieł, MSc, is a PhD student at the Doctoral School of Kielce University of Technology, he obtained his Master of Engineering degree in 2020 at the mentioned university. He is involved in research on the application of 3D printing in medicine.
	Tomasz Kozior, PhD, is a research and didactic employee of the Faculty of Mechatronics and Mechanical Engineering at the Kielce University of Technology, employed in the Department of Mechanical Technology and Metrology. In his scientific work, he studies mechanical, metrological and tribological properties of materials used in 3D/4D printing.
	Dr Nik Mohammad Farid Nik Ismail, is the deputy dean for Universiti Kuala Lumpur, Malaysia Italy Design Institute and currently the head of International, Industrial, Institutional Partnership division in UniKL MIDI. His expertise is in Design Technology of Product Manufacturing.
	Ir. Dr. Azman Senin is the head of Universiti Kuala Lumpur, Malaysia Italy Design Institute campus and active in SME partnership focusing on railing technology.

Kompozyty na bazie MXene do zastosowań w druku 3D

MXene-based composites for 3D Printing Applications

Mohd Shahneel Saharudin[1], Ahmad Ilyas Rushdan[2], Islam Shyha[3], Fawad Inam[4],

[1] Robert Gordon University, School of Engineering, Garthdee Road, AB 10 7QB Aberdeen, UK; s.saharudin@rgu.ac.uk

[2] School of Chemical and Energy Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Malaysia; ahmadilyas@utm.my

[3] School of Engineering, Edinburgh Napier University, Edinburgh, EH10 5DT; i.shyha@napier.ac.uk

[4] University of East London, Department of Engineering and Construction, E16 2RD, London UK; f.inam@uel.ac.uk

In recent years, the introduction of polymer inks and filaments has led to rapid development in additive manufacturing. Printing in three dimensions (3D) with MXenes is a new paradigm for manufacturing EMI shielding structures, frequently requiring sophisticated and unique 3D architecture. Because of its hydrophilic surface, two-dimensional shape, and outstanding characteristics, MXene is an excellent candidate to be used as a nanofiller in the next generation of nanocomposite materials. Even so, MXene has other hurdles, including its thermal stability during 3D printing, a process rarely discussed because of its non-equilibrium and ultra-high-temperature nature. In addition, the incompatibility of polymer inks and filaments is still a significant issue to be overcome. Because of the high percentage of thermoplastic material in 3D-printed electrodes, the capacitive performance of these electrodes is minimal. This is because the spectrum of carbon-additive filaments that are currently available commercially is somewhat limited. This review paves the door for the 3D printing of conductive polymers and nanomaterials, particularly for applications like stretchable electronics, biomedical devices, and sensors. We emphasise the flexibility and efficacy of printed components that are enhanced by the use of MXenes during the printing process.

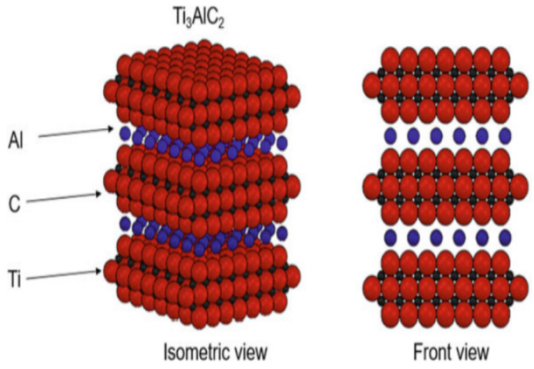


Figure 1. 3D model of MXene crystal structure

Keywords: MXenes, 2D Material, Mechanical Properties, 3D Printing conductive polymer, Additive Manufacturing.

Author's photo 1	Dr. Mohd Shahneel Saharudin is a lecturer at the School of Engineering, Robert Gordon University, UK. Dr Mohd is a Chartered Engineer (IMechE), European Engineer (EUR ING FEANI), and Certified Solidworks Professional (CSWP) in Mechanical Design. His research focuses mainly on nanocomposites, additive manufacturing and product design.
Author's photo 2	Dr. Ahmad Ilyas Rushdan is a senior lecturer at Universiti Teknologi Malaysia. His research interests include polymer engineering, material engineering, natural fibres, biocomposites and nanocomposites. He was the recipient of MVP Doctor of Philosophy Gold Medal Award UPM 2019 for Best PhD Thesis and Top Student Award, INTROP, UPM. In 2018, he was awarded with Outstanding Reviewer by Carbohydrate Polymers, Elsevier United Kingdom, and Malaysia National Book Award 2018.
Author's photo 3	Prof. Islam Shyha is Head of Mechanical Engineering and Design at Edinburgh Napier University's School of Engineering and the Built Environment. He is a Professor of Manufacturing Engineering. Prof. Shyha has worked in higher education for over 20 years. He received his Postgraduate Certificate in Higher Education Practice from Northumbria University, PhD from The University of Birmingham, MSc, and BSc from Alexandria University.
Author's photo 4	Prof. Inam is the head of the department (engineering and computing) and a professor of mechanical engineering at the University of East London. He is a Principal Fellow of the Higher Education Academy (HEA) and a Fellow of the Institute of Mechanical Engineers (FIMechE). With over 150 research (h-index of 31), he has presented several keynote speeches at various leading international conferences. He is a regular peer reviewer for over a dozen research journals and examined over 35 PhD theses in the UK and overseas.

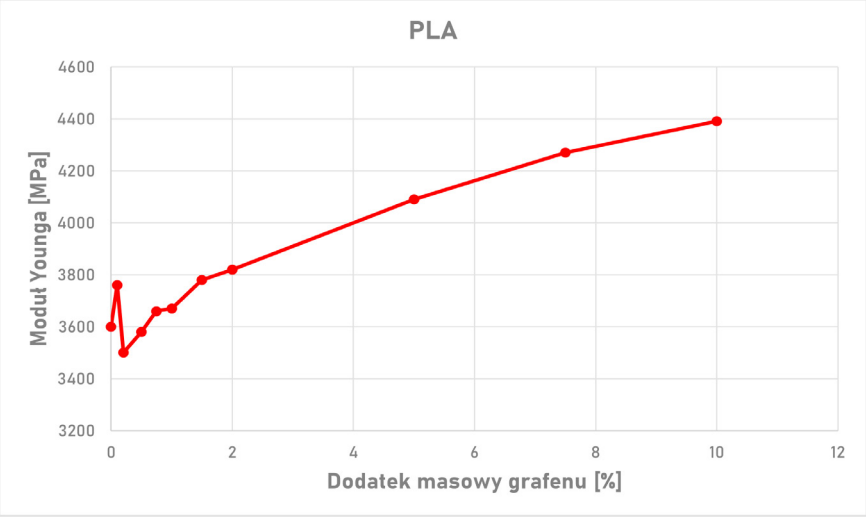
Zwiększenie wytrzymałości filamentów do druku 3D przez domieszkowanie grafenem

Improving the durability of 3D printing filaments by addition of graphene

Wiktor Zawrocki, Maciej Jędraszak[1]

[1] Advanced Graphene Products; orders@prografen.com , m.jedraszak@agp-corp.com;

Prezentacja ma na celu przedstawienie efektów, jakie można osiągnąć domieszkując filamenty do druku 3D za pomocą grafenu płatkowego. Rozpocznie się od pobieżnego omówienia właściwości grafenu i jego odmian, a także metod syntezy. Następnie będzie miało miejsce omówienie ogólnych parametrów filamentów, z wyszczególnionymi parametrami, które polepszane są przez dodatek grafenu. Później nastąpi prezentacja wyników badań określających poprawę parametrów wytrzymałościowych materiałów, oraz wydrukowanych z nich elementów. Porównane zostaną również parametry filamentów z grafenem z parametrami innych, dostępnych na rynku filamentów do zastosowań inżynierskich.



Rysunek 1. Wpływ dodatku grafenu na Moduł Younga

Zostanie wspomniana również możliwość uzyskania przewodnictwa elektrycznego w filamentach przez domieszkowanie zredukowanym Tlenkiem Grafenu. Prezentację zakończy podsumowanie i informacja o innych materiałach grafenowych mogących znaleźć zastosowanie w szybkim prototypowaniu i/lub przemyśle.

Tabela 1. Badanie właściwości detali wydrukowanych z poszczególnych materiałów, infill: 95%, grubość warstwy 0,2 mm

Próbka	Zawartość	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Wydłużenie sprężyste[%]	Naprężenie zrywające [MPa]	Wydłużenie zrywające[%]
1	PETG 58304	24.9	2.45	24.7	2.68
2	PETG Graphene 58304	27.8	2.62	27.7	2.77
3	PLA 58304	33.0	2.06	32.1	2.58
4	ABS 58304	20.0	3.90	19.7	5.62
5	PLA Graphene 58304	39.3	2.50	39.3	2.50

Słowa kluczowe: grafen, druk 3D, filament, PLA, PET-G, polimery,

Keywords: graphene, 3D printing, filament, PLA, PET-G, polimers,

Wiktor Zawrocki – mgr. Inż. Fizyki Technicznej i Technologii Chemicznej z specjalizacją Kompozyty i Nanomateriały, obecnie pełni rolę specjalisty ds. sprzedaży w Advanced Graphene Products

Maciej Jędraszak – mgr. Chemii Sądowej. Obecnie pełni rolę Specjalisty do Spraw Chemii w Advanced Graphene Products.

BioCloner – pierwsza polska biodrukarka 3D dedykowana do implantów wchłanialnych

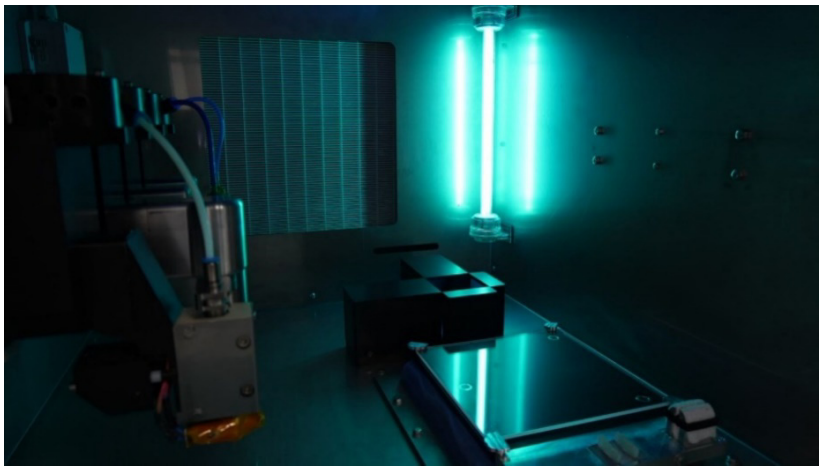
BioCloner – first Polish 3D bioprinter dedicated to bioresorbable implants

Maciej Gołaszewski[1], Maciej Tabiszewski[1], Roman Grygoruk[1,2]

[1]45stages sp. z o.o.; m.golaszewski@45stages.com; m.tabiszewski@45stages.com

[2]Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny i Technologiczny, Instytut Mechaniki i Poligrafii; roman.grygoruk@pw.edu.pl

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie efektów projektu wdrożeniowego pierwszej polskiej biodrukarki 3D dedykowanej do implantów wchłanianych. Prowadzone od 2016 roku prace rozwojowe oraz przemysłowe zaowocowały opracowaniem czterech autorskich prototypów maszyn. W ramach prowadzonych prac wykonano niezliczoną liczbę testów nakierowanych na przemysłowe zastosowanie biodrukowania 3D. Opracowane zostały autorskie rozwiązania hardwarowe jak np. głowice drukujące czy komora o podwyższonym stopniu czystości (widok przestrzeni roboczej rys. 1.) oraz dedykowany software, który umożliwia zarówno przygotowanie protokołu danego procesu, jak również obsługę maszyny podczas pracy.



Rysunek 2. Widok przestrzeni roboczej biodrukarki BioCloner

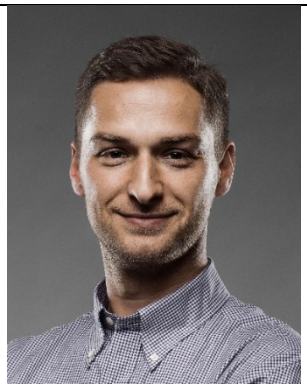
Cechą charakterystyczną wyróżniającą BioCloner jest zintegrowany system wymiany głowic roboczych, wspomagany przez ławę kalibracyjną, która podnosi dokładność pozycjonowania dyszy drukującej. To właśnie dzięki temu systemowi możliwe jest prowadzenie prac z wykorzystaniem wielu materiałów w ramach jednego procesu. Autorskie rozwiązania głowic roboczych dedykowane są do pracy z materiałami

w wsadowej postaci żelu, filamentu, proszku, granulatu, itp.

Podziękowania: opisywane prace były finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, numer projektu POIR.01.01.01-00-0044/16-00 w ramach Programu Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020, współfinansowane z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Słowa kluczowe: biodrukowanie 3D, BioCloner, implanty, przemysł.

Keywords: 3D bioprinting, BioCloner, implants, industry.

	Maciej Gołaszewski – członek zarządu oraz dyrektor ds. technologii w 45stages sp. z o.o. Absolwent Politechniki Warszawskiej na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, indywidualny tok edukacji nakierowany na biomechanikę i inżynierię biomedyczną. Od 2013 roku działalność zawodowa oraz naukowa związana głównie z tematyką drukowania 3D w szczególności w zakresie poprawy jakości życia i zdrowia ludzi oraz zwierząt. Dodatkowo naukowo związany z International Research Center for Mathematics & Mechanics of Complex Systems (Università Dell'Aquila, Italy) prowadzącym prace badawcze z zakresu metamateriałów.
	Maciej Tabiszewski - prezes zarządu oraz główny konsultant medyczny w 45stages. Lekarz medycyny, specjalista ortopeda. Absolwent Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu. Zainteresowany wykorzystaniem drukowania 3D w medycynie w szczególności biodrukowaniem 3D implantów kosciozastepczych.
	Roman Grygoruk - Absolwent politechniki Białostockiej w specjalności Inżynieria ortopedyczna i protetyczna, od 2012 roku doktor nauk technicznych w specjalności biomechanika. Pracuje jako adiunkt na Wydziale Mechanicznym Technologicznym w Zakładzie Konstrukcji Maszyn i Inżynierii Biomedycznej. W pracy realizuje badania związane z wykorzystaniem druku 3d i skanowania 3d w szeroko rozumianej inżynierii mechanicznej i inżynierii biomedycznej. Prowadzi między innymi zajęcia z zakresu projektowania w inżynierii biomedycznej, zaopatrzenia ortopedycznego, problemów inżynierskich w medycynie.

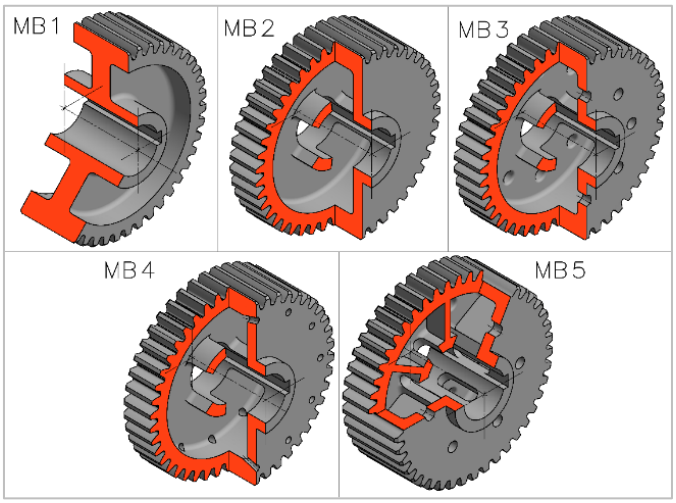
Analiza zużycia materiału w procesie wytwarzania kół skorupowych metodami MEX

Analysis of material consumption in the manufacturing process of shell gears with the use of MEX methods

Grzegorz Budzik[1], Tomasz Dziubek[1], Bartłomiej Sobolewski[1], Małgorzata Gontarz[1]

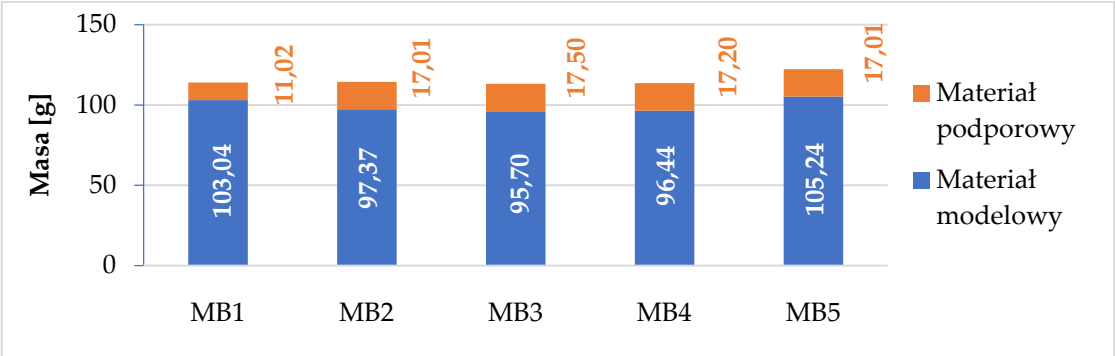
[1]Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn; gbudzik@prz.edu.pl; tdziubek@prz.edu.pl; b_sobolewski@prz.edu.pl; m.gontarz@prz.edu.pl

Redukcja masy stanowi ważny aspekt, w szczególności w przemyśle motoryzacyjnym, i w urządzeniach gospodarstwa domowego, m.in. ze względu na redukcję negatywnego wpływu zjawisk dynamicznych pojawiających się podczas pracy przekładni zębatych. Polimerowe koła zębate są coraz częściej wytwarzane i stosowane w AGD z uwagi na m.in. możliwość pracy bez konieczności stosowania smarów, redukcję masy całego układu, poprawę właściwości trybologicznych. Biorąc pod uwagę technologie AM umożliwiające tworzenie nietypowych konstrukcji elementów, istotny aspekt redukcji masy przekładni zębatych oraz wzrost zastosowania polimerowych kół zębatych, w pracy podjęto się analizy zużycia materiału kół zębatych skorupowych o zredukowanej masie z zastosowaniem wybranej z technologii MEX- technologii FFF- z wykorzystaniem oprogramowania PrusaSlicer. Dodatkowo pod uwagę wzięto objętość rozważanych rozwiązań oraz moment główny bezwładności względem osi obrotu, które to dane pozyskano z programu Autodesk Inventor Professional 2021.



Rysunek 1. Wybrane rozwiązania kół zębatych o zredukowanej masie

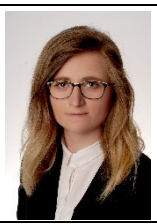
Podczas analizy wybranych rozwiązań konstrukcyjnych w zastosowanych programach jako materiał przyjęto ABS. Pod uwagę wzięto m.in. objętość, moment bezwładności główny względem osi obrotu, użyty filament oraz szacowany czas wydruku. Na podstawie zebranych danych opracowano wykresy porównujące wartości uzyskanych parametrów ze względu na konstrukcje koła zębatego, którego przykładowy wykres jest przedstawiony na rysunku 2, co umożliwiło analizę podjętych zagadnień.



Rysunek 2. Wykres przedstawiający zużycie materiału w procesie wytwarzania przyrostowego analizowanych kół zębatych w zależności od wybranych funkcji

Słowa kluczowe: redukcja masy, koła zębate skorupowe, metody MEX, metoda FFF, drukowanie 3D, zużycie materiału.

Keywords: weight reduction, shell gears, MEX methods, FFF method, 3D printing, material consumption.

	Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia z zakresu przyrostowych technik wytwarzania, inżynierii odwrotnej, projektowania CAD oraz współrzędnościowych technik pomiarowych.
	Dr hab. inż. Tomasz Dziubek, prof. PRz jest absolwentem Politechniki Rzeszowskiej, WBMiL. Po ukończeniu studiów w 2004 r. rozpoczął pracę w Katedrze Konstrukcji Maszyn. W 2020 roku uzyskał tytuł doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na zagadnieniach z zakresu konstrukcji maszyn, inżynierii odwrotnej oraz systemów CAD/CMM/RP.
	Dr inż. Bartłomiej Sobolewski jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Od 2007 roku jest pracownikiem Katedry Konstrukcji Maszyn. W 2015 roku uzyskał tytuł doktora nauk technicznych. Zajmuje się zagadnieniami z zakresu konstrukcji maszyn, w szczególności przekładni zębatych, technik RP, inżynierii odwrotnej oraz systemów CAD.
	Mgr inż. Małgorzata Gontarz, jest absolwentem Politechniki Rzeszowskiej kierunku Zarządzanie i inżynieria produkcji. Od roku 2018 jest studentką studiów doktoranckich na Politechnice Rzeszowskiej na kierunku Budowa i eksploatacja maszyn oraz pracuje jako asystent w grupie pracowników naukowo-dydaktycznych. Zajmuje się zagadnieniami dotyczącymi m.in. grafiki inżynierskiej, technik RP i systemów CAD.

Metodyka implementacji innowacyjnych materiałów w zakresie techniki selektywnego stapiania laserowego

Methodology of implementation of innovative materials in the field of selective laser melting technology

Jakub Łuszczek[1], Lucjan Śnieżek[2], Krzysztof Grzelak[3], Janusz Kluczyński[4], Harsh Mehta[5], Maximillian Kroll[6]

[1-4] Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

[5-6]Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU Theodor-Körner-Allee 6, 02-763 Zittau

e-mail: [1]jakub.luszczek@wat.edu.pl, [2]lucjan.sniezek@wat.edu.pl, [3]krzysztof.grzelak@wat.edu.pl, [4]janusz.kluczynski@wat.edu.pl, [5]Harsh.Mehta@iwu.fraunhofer.de, [6]Maximilian.Kroll@iwu.fraunhofer.de

Prognozy związane z ciągłym wzrostem sprzedaży materiałów i maszyn, a także wartości produkcji z wykorzystaniem metody selektywnego stapiania laserowego (ang. Selective Laser Melting), prowadzi do konieczności opracowywania nowych lub implementacji już istniejących materiałów w obszar wytwarzania przyrostowego (ang. Additive Manufacturing – AM). Jest to uwarunkowane potrzebą pokrycia przyszłego zapotrzebowanie dotyczącego wykorzystania techniki SLM w różnych gałęziach przemysłu. Problematyka związana ze sposobem wdrażania materiałów w obszar SLM polega na braku jednolitego podejścia badawczego w tym zakresie. W pracy przedstawiono szczegółową metodykę implementacji innowacyjnych materiałów w obszar techniki SLM w oparciu o dostępne prace naukowe, dokumenty normatywne, a także własne doświadczenie. Wyszczególniono grupy parametrów (wraz z wybranymi wartościami granicznymi) związanych z materiałem wsadowym oraz procesem wytwarzania, które są konieczne do zdefiniowania, aby móc określić możliwość wykorzystania danego proszku metalicznego do wytwarzania elementów techniką SLM. W pracy uwzględniono wytyczne w zakresie materiałów wsadowych określane przez normę PN-EN ISO/ASTM 52907:2020-05. Ponadto praca zawiera klasyfikację najczęściej występujących defektów w strukturze materiału (porowatość oraz pęknięcia) wytwarzanego z wykorzystaniem SLM, a także wskazówki pozwalające na minimalizację ich obecności.

Słowa kluczowe: wytwarzanie przyrostowe, selektywne stapianie laserowe, nowe materiały, metodyka,
Keywords: additive manufacturing, selective laser melting, new materials, methodology

Analiza wpływu parametrów technologicznych na wybrane właściwości mechaniczne elementów cienkościennych wytwarzanych technologią przyrostową FDM

Analysis of the influence of technological parameters on selected mechanical properties of thin-walled elements produced with the FDM additive technology.

Mateusz Musiałek[1], Jerzy Bochnia[1], Damian Gogolewski[1]

[1] Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii; mmusialek@tu.kielce.pl; jbochnia@tu.kielce.pl; dgogolewski@tu.kielce.pl;

W pracy przeanalizowano wpływ najważniejszych parametrów technologicznych druku 3D na wytrzymałość na rozciągania i zginanie tworzyw polimerowych PLA i ABS. Przedstawiono wyniki badań próbek wykonanych przy pomocy technologii FDM o niestandardowych grubościach nominalnych uwzględniając próbkę o grubości znormalizowanej. W opisie uwzględniono wpływ grubości nakładanej warstwy na wytrzymałość na rozciąganie i zginanie. Elementy cienkościenne ze względu na grubość, wagę i odpowiednie właściwości mechaniczne są uniwersalne i wykorzystywane w każdej branży. ABS jest materiałem konstrukcyjnym, popularnie stosowanym w elementach konstrukcyjnych. Technologie przyrostowe umożliwiają w szybki i dynamiczny sposób wytwarzanie modeli o skomplikowanych kształtach również z zachowaniem geometrii elementów cienkościennych. Analiza i wyniki badań przyczynią się do rozwoju wiedzy w zakresie inżynierii mechanicznej elementów cienkościennych, które są coraz częściej stosowane w tej dziedzinie.

Słowa kluczowe: Elementy cienkościenne, Druk 3D, FDM, ABS.

Keywords: Thin-walled elements, 3D printing, Metrology, FDM, ABS.

	mgr inż. Mateusz Musiałek jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na Uniwersytecie Technologiczno-Humanistycznym im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu. Zajmuje się badaniami elementów cienkościennych wytwarzanych w technologii druku 3D.
	dr hab. inż. Jerzy Bochnia prof. PŚk jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zatrudnionym w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.
	dr inż. Damian Gogolewski jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, zatrudnionym w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii. W pracy naukowej zajmuje się metrologią powierzchni, analizą wieloskalową, transformacją falkową oraz pomiarami wielkości geometrycznych.

Ocena relaksacji naprężeń modeli wykonanych technologią przyrostową FDM z materiału elastycznego

Stress relaxation of models made by additive FDM technology from flexible material

Wiktor Szot[1], Jerzy Bochnia[1], Paweł Zmarzły[1],

[1]Faculty of Mechatronics and Mechanical Engineering, Kielce University of Technology, 25-314 Kielce, Poland, wszot@tu.kielce.pl

Prezentowane badania dotyczą oceny relaksacji naprężeń modeli wytworzonych z materiału elastycznego w technologii przyrostowej FDM (ang. Fused Deposition Modeling) Próbki do badań opracowano na podstawie normy ISO 3384 i wytworzono za pomocą drukarki MakerBot Replicator 5th Gen z materiału FiberFlex 40D. Analizowane parametry technologiczne: wysokość warstwy 0,1 mm i orientacja wydruku ($0^{\circ}, 45^{0}, 90^{\circ}$). Łączna liczba próbek to: 30.

Wytworzone próbki poddano badaniom relaksacji naprężeń poprzez wywołanie naprężeń ściskających z zastosowaniem maszyny wytrzymałościowej InpektMini. Dla wszystkich próbek zastosowano te same wartości: prędkości, stałe zadane odkształcenie i czas trwania próby. Do opisu matematycznego krzywych reologicznych zastosowano wieloparametrowy model Maxwella. Niepewność aproksymacji wyznaczono metodą typu A.

Przeprowadzone badania pokazały wpływ orientacji wydruku na właściwości reologiczne. Stwierdzono również, że pięcioparametrowy model Maxwella-Wiecherta bardzo dobrze opisuje dopasowane krzywe relaksacji naprężeń. Wyniki mogą zostać wykorzystane przez konstruktorów do projektowanie elementów użytkowych

Słowa kluczowe: Druk 3D, materiał FiberFlex 40D, relaksacja naprężeń, model Maxwella-Wiecherta

Keywords: 3D printing, FiberFlex 40D material, stress relaxation, Maxwell-Wiechert model

	mgr inż. Wiktor Szot jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2020 roku na ww. uczelni. Zajmuje się badaniami nad właściwościami reologicznymi modeli wytwarzanymi przyrostowo.
	dr hab. inż. Jerzy Bochnia prof. PŚk jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zatrudnionym w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.
	Dr hab. inż. Paweł Zmarzły, prof. Pśk jest pracownikiem Katedry Technologii Mechanicznej i Metrologii Politechniki Świętokrzyskiej. Pełni funkcje prodziekana ds. studenckich i dydaktyki Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn. Kierownik Laboratorium Metrologii. Autor oraz współautor 65 publikacji naukowych, 9 patentów oraz 4 wzorów uzyskowych. Jego zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia związane z metrologią wielkości geometrycznych.

Wpływ obróbki wykończeniowej na wybrane wielkości geometryczne elementów z materiału PLA wytwarzanego w technologii FDM

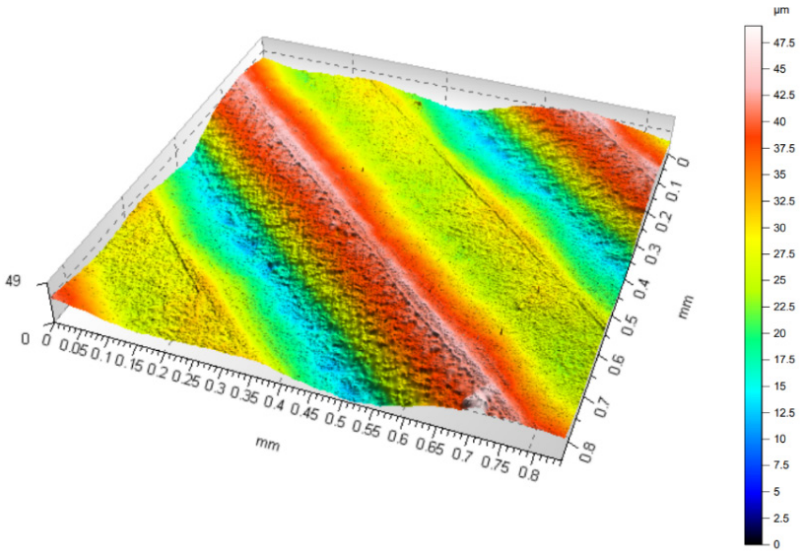
Influence of Finishing Process on Selected Geometrical Parameters of PLA Parts Produced by FDM Technology

Natalia Kowalska[1], Sławomir Błasiak[1], Michał Skrzyniarz[1], Łukasz Nowakowski[1]

[1] Politechnika Świętokrzyska, al. 1000-lecia P.P. 7, 25-314 Kielce, Polska;
nkowalska@tu.kielce.pl; sblasiak@tu.kielce.pl; skrzyniarzmichal@gmail.com;
lukasn@tu.kielce.pl

W niniejszej pracy omówiono wpływ obróbki wykończeniowej na wybrane wielkości geometryczne (chropowatość, płaskość, prostopadłość) próbek z polimeru termoplastycznego (PLA) wytworzonych metodą nakładania topionego materiału (FDM). W ramach badania zaprojektowano próbki o wymiarach 20x20x20 mm, które następnie zostały wydrukowane na drukarce Makerbot Sketch w pozycji 90°. Zastosowano dwa rodzaje wypełnienia – heksagonalny oraz linearny.

Na płaszczyźnie górnej próbki została zmierzona chropowatość oraz płaskość, z kolei na ścianach bocznych (odpowiadających osiom X oraz Y drukarki) prostopadłość. Na rysunku 1, przedstawiono powierzchnie badanej próbki z charakterystyczną okresową falistością powierzchni.



Rysunek 1. Powierzchnia próbki

Charakterystyczna powierzchnia próbki należy do zjawisk niepożądanych z punktu widzenia inżynierskiego. Inną negatywną cechą dla tej technologii jest niska powtarzalność procesu, skutkiem czego występują duże odchyłki geometryczne. Dlatego próbki poddano obróbce wykończeniowej poprzez obróbkę: skrawaniem, ścierną i chemiczną.

Rezultatem przeprowadzonych badań jest porównanie uzyskanych wyników i ocena wpływu zastosowanych metod wykończeniowych na badane charakterystyczne wielkości geometryczne.

Słowa kluczowe: obróbka wykończeniowa, PLA, technologie przyrostowe, skrawanie, obróbka chemiczna.

Keywords: finishing, PLA, additive technologies, machining, chemical treatment.

	mgr inż. Natalia Kowalska jest doktorantem Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Zajmuję się badaniem procesów skrawania oraz obróbką wykończeniową modeli wytwarzanych w technologiach druku 3D.
	dr hab. inż. Sławomir Błasiak, prof. PŚk jest pracownikiem Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Działalność naukowo-badawczą realizuje w dyscyplinie: inżynieria mechaniczna w takich obszarach jak: obróbka ubytkowa i obróbka przyrostowa, wymiany ciepła, transportu masy i energii oraz właściwości materiałów uzyskiwanych metodami addytywnymi.
	dr inż. Michał Skrzyniarz jest pracownikiem Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej. Działalność naukowo-badawczą realizuję w obszarze obróbki ubytkowej.
	dr inż. Łukasz Nowakowski jest pracownikiem Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. W pracy naukowej zajmuję się badaniami obróbki ubytkowej.

Zastosowanie technologii addytywnych w prototypowaniu chwytaków

The use of additive technologies in the prototyping of grippers

Vladyslav Andrusyshyn[1], Vitalii Ivanov[2], Sławomir Luściński[3], Ivan Pavlenko[4]

[1] Sumy State University, Ukraine, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, 0000-0001-7223-6520
[2] Sumy State University, Ukraine, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, 0000-0003-0595-2660
[3] Kielce University of Technology, Poland, Department of Production Engineering, 0000-0001-7385-6668
[4] Sumy State University, Ukraine, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, 0000-0002-6136-1040

Research background: According to IFR statistics, as of 2020, the operational stock of industrial robots worldwide is more than 3 million pieces, which continues to grow. In addition, one of the main tasks of industrial robots is handling and assembling, which requires a gripper to manipulate parts. The concept of Industry 4.0 means the introduction of cyber-physical systems into production, as well as the introduction of innovative methods to produce parts and assemblies, such as additive manufacturing. The use of additive technologies in modern productions makes it possible to reduce the time and material costs for manufacturing parts, create more complex nonseparable assemblies, and reduce the preparatory work time when introducing a new device into production. Furthermore, this technology can make it possible to obtain new grippers designs, such as soft grippers and vacuum grippers with a complex shape of the clamped part, reduce the weight of the grippers, and reduce the time of gripping device implementation.

Purpose: This article aims to indicate the features of additive manufacturing in the field of manufacturing and prototyping impact grippers using the example of manufacturing a prototype gripper.

Methodology: Analysis of filament catalogues and scientific articles on the usage of additive technologies in manufacturing. Finite element analysis will be performed to verify the printed gripper.

Findings: Recommendations are formulated for the choice of material and method of connecting parts in 3D printed gripping devices. A conceptual design for the capture was developed and verified.

Keywords: additive manufacturing, fused deposition modelling, manufacturing defects, computer modelling, Industry 4.0

Skanery 3D do szybkiego prototypowania i kontroli jakości w druku 3D

3D scanners for rapid prototyping and quality control in 3D printing.

Anna Gębarska, Anna Wilczak

[1] Afiliacja; ag@smarttech3d.com

[2] Afiliacja; aw@smarttech3d.com

Nowoczesne technologie 3D coraz śmielej wkraczają do przemysłu stając się codziennością w każdej rozwijającej się firmie. Stawiane przed nimi problemy często wymagają szybkiego czasu realizacji i wysokiej dokładności. Jednak jak w szybki sposób zweryfikować wykonany przez nas model na drukarce 3D, gwarantując tym samym najwyższa jakość wykonania? Tu z pomocą przychodzą skanery 3D światła strukturalnego, które dzięki swojej wysokiej jakości odzwierciedlenia geometrii są niezawodnym narzędziem do kontroli jakości.

Skanery 3D, poza procesem kontroli jakości, znajdują swoje zastosowanie w także szybkim prototypowaniu i inżynierii odwrotnej. Chcąc uzyskać cyfrową informację o kształcie danego obiektu wystarczy go zeskanować by uzyskać pełną geometrię w kilka minut. Następnie model można zmodyfikować i wydrukować jego prototyp na drukarce 3D lub przygotować pełną dokumentację wykonawczą.

Wyżej wymienione procesy kontroli jakości oraz szybkiego prototypowania przy użyciu skanerów 3D są obecnie doceniane przez wiele firm, w których urządzenia te stały się nieodłącznym standardem codziennej praktyki. Przykłady ich zastosowania omówione zostaną podczas referatu jako dobre praktyki.

Słowa kluczowe: skanowanie 3d, druk 3d, szybkie prototypowanie, kontrola jakości, weryfikacja druku 3d.

Keywords: 3d scanning, 3d printing, rapid prototyping, quality control, verification of 3d printing.

	mgr inż. Anna Gębarska - Współwłaściciel, Dyrektor Zarządzający firmy SMARTTECH Absolwentka Wydziału Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej, w 2000 roku razem z naukowcami z Wydziału Mechatroniki PW współzałożyła firmę SMARTTECH. Jako Dyrektor Zarządzający firmy produkującej i rozwijającej technologie bezdotykowych systemów pomiarowych od ponad 20 lat promuje innowacyjne bezinwazyjne metody pomiarowe w różnych branżach. Doświadczony menadżer o szerokiej wiedzy rynkowej dotyczącej istniejących systemów optycznych na świecie o profesjonalnym i praktycznym podejściu do skanerów 3D.
	mgr inż. Anna Wilczak – Dyrektor działu sprzedaży i rozwoju biznesu. Związana z firmą SMARTTECH od przeszło 5 lat. Zaangażowany menadżer posiadający rozległą wiedze praktyczną z zakresu skanowania 3D i wykorzystania współrzędnościowych technik pomiarowych zarówno w przemyśle, jak i zastosowaniach niekonwencjonalnych. Z powodzeniem od 5 lat doradza oraz wprowadza technologie 3D w wielu firmach na terenie całej Polski, wprowadzając je w Przemysł 4.0.

BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI NA ROZCIĄGANIE PRÓBEK WYDRUKOWANYCH W TECHNOLOGII DMLS Z MATERIAŁU ALSI10MG

TESTS OF TENSILE STRENGTH OF SAMPLES PRINTED IN DMLS TECHNOLOGY FROM ALSI10MG MATERIAL

MACIEJ CADER[1],WOJCIECH KIŃSKI[2], PIOTR FALKOWSKI[3], GRZEGORZ FIUK[4]

[1] Maciej Cader (maciej.cader@piap.lukasiewicz.gov.pl)-Sieć badawcza Łukasiewicz-Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP
[2] Wojciech Kiński (wojciech.kinski@piap.lukasiewicz.gov.pl)-Sieć badawcza Łukasiewicz-Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP
[3] Piotr Falkowski (Piotr.falkowski@piap.lukasiewicz.gov.pl)-Sieć badawcza Łukasiewicz-Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP
[4] Grzegorz Fiuk (g.fiuk@doktorant.po.edu.pl)- Politechnika Opolska

W artykule szczegółowo przedstawiono zasadę działania technologii DMLS. Zostały przeprowadzone badania wytrzymałościowe na przemysłowej drukarce 3D EOS M400. Wydruki próbek wytrzymałościowych zostały wykonane w różnej orientacji w komorze roboczej urządzenia.

Słowa kluczowe: szybkie prototypowanie, technologia DMLS, wytrzymałość na rozciąganie, szybkie prototypowanie.

Keywords: rapid prototyping, DMLS technology, tensile strength, rapid prototyping.

PROSOLUTIONS

stratasys

XACT METAL™

profesjonalny

DRUK 3D

FDM
POLYJET
PBF

Od ponad 17 lat zajmujemy się implementacją i popularyzacją technologii druku 3D w Polsce. Nasza oferta obejmuje profesjonalne urządzenia wiodących producentów drukarek 3D: Stratasys oraz Xact Metal. Systemy oraz usługi dostępne w naszej ofercie to gwarancja najwyższej jakości. Szeroki zakres dostępnych systemów oraz materiałów pozwala odpowiedzieć na zapotrzebowanie w przekroju całego procesu produkcyjnego. Drukarki 3D Stratasys umożliwiają nie tylko usprawnić proces projektowania we wstępnej fazie cyklu produkcyjnego ale również wspierać procesy produkcyjne przez wytwarzanie w pełni funkcjonalnych narzędzi czy też produktów końcowych w przypadku niskiej serii produkcyjnej. Wspieranie procesów produkcyjnych z wykorzystaniem drukarek 3D od Stratasys i Xact Metal pozwala zapobiegać w przerwanych łańcuchach dostaw, skracać czas wdrożenia produktów oraz znacząco redukować koszty produkcyjne. Z nami dowiesz się w jaki sposób zwiększyć efektywność działań produkcyjnych i obniżyć koszty wytwarzania oraz dlaczego najbardziej rozwinięte przedsiębiorstwa na świecie opierają swoje procesy o sprawdzone rozwiązania w druku 3D.

e-Manufacturing Solutions

DMLS/SLM - nie ma rzeczy niemożliwych

EOS - Twoje rozwiązanie problemów technologicznych!

BIBUS MENOS®

BIBUS MENOS Sp. z o.o.
ul. Spadochroniarzy 18
80-298 Gdańsk
www.bibusmenos.pl

Michał Pęczek
tel.: +48 662 099 677
e-mail: mp@bibusmenos.pl
www.drukarki3d.pl

ZAKRES DZIAŁALNOŚCI BIBUS MENOS

PNEUMATYKA

- Siłowniki pneumatyczne
- Chwytaki
- Zawory oraz wyspy zaworowe
- Technika proporcjonalna
- Zespoły przygotowania powietrza
- Elementy pomiarowe i czujniki
- Przewody pneumatyczne
- Armatura przemysłowa
- Silniki pneumatyczne i kompresory
- Technika próżniowa
- Złącza

MECHATRONIKA

- Technika liniowa
- Technika tłumienia
- Sprężyny gazowe
- Elementy bezpieczeństwa maszyn
- Technika nawijania i przewijania
- Technika napędowa
- Technika zgrzewania
- Technika serwo

HYDRAULIKA SIŁOWA

- Hydraulika mobilna i przemysłowa
- Sterowanie elektroniczne, napędy
- Projektowanie
- Integracja systemów
- Kompletacja układów hydraulicznych
- Produkcja agregatów hydraulicznych i zespołów napędowych
- Serwis

POMPY I ZBIORNIKI

- Technologia napowietrzania ścieków
- Systemy sterowania do przydomowych oczyszczalni ścieków
- Zbiorniki hydroforowe do wody pitnej
- Naczynia wzbiorcze do c.o.
- Naczynia wzbiorcze do instalacji solarnych
- Dmuchawy bocznokanałowe do zastosowań przemysłowych

EKOMOBILNOŚĆ

- Technika szynowa: infrastruktura torowa i taborowa
- Technika szynowa: serwis hamulców
- Systemy ładowania pojazdów elektrycznych wraz z zintegrowanymi systemami zarządzania
- Systemy tankowania wodorem
- Serwis i montaż systemów ładowania i tankowania

DRUKARKI 3D

- Przemysłowe drukarki 3D
- Materiały eksploatacyjne do drukarek 3D
- Wydruki 3D w technologiach FDM/FFF, SLS, DMLS, DLP, LCM, SLA
- Oprogramowanie do druku 3D
- Urządzenia peryferyjne
- Szkolenia z druku 3D

FILTRACJA I AUTOMATYKA PRZEMYSŁOWA

- Filtracja powietrza, oleju hydraulicznego i innych mediów
- Filtry automatyczne
- Kompleksowe projekty systemów filtracji
- Automatyzacja procesów
- Modernizacje układów sterowania
- Uruchomienia i serwis

PROJEKTOWANIE

- Tworzenie maszyn i urządzeń własnych, projektowanych indywidualnie
- Wysokiej jakości produkty z zakresu filtracji firmy FILTRATION GROUP
- Systemy dozowania i odpylania
- Kompleksowa obsługa inwestycji
- Opracowanie dokumentacji projektowej
- Montaż według dokumentacji klienta
- Modernizacje linii produkcyjnych i instalacji

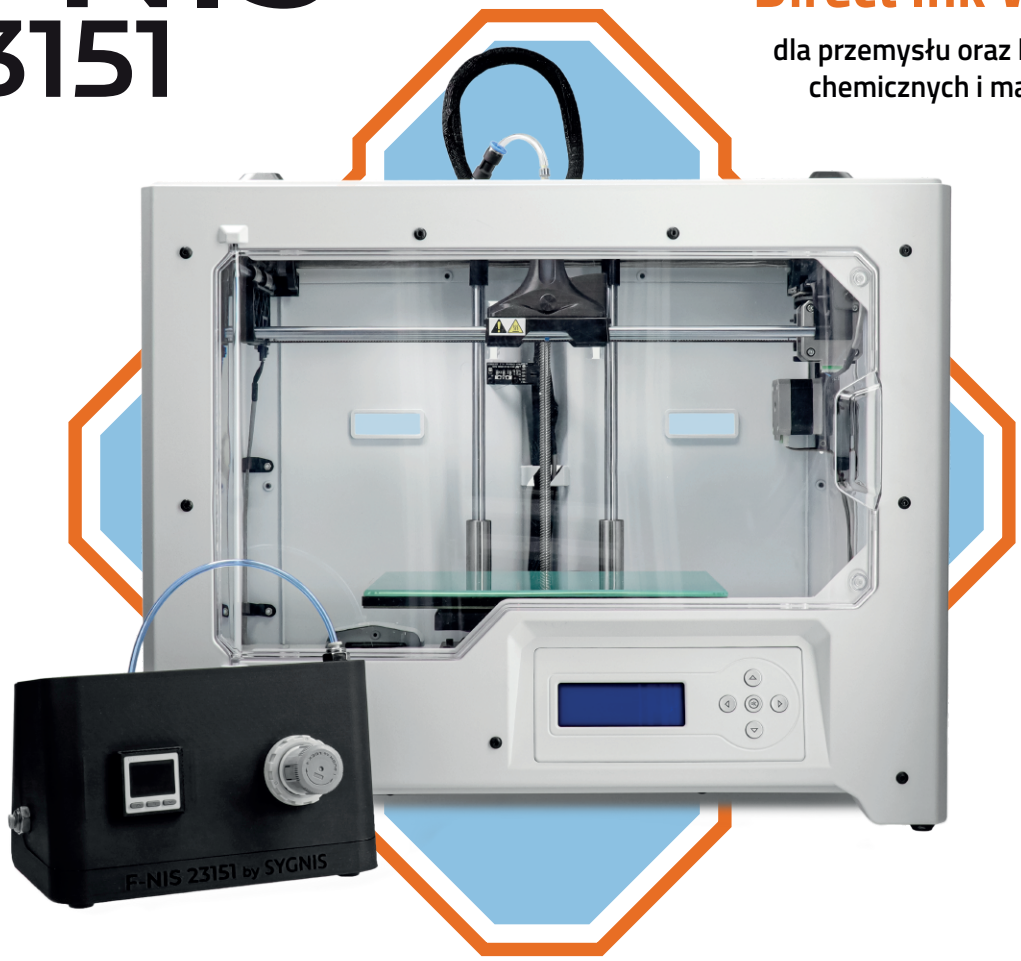
PRODUKCJA

- Siłowniki pneumatyczne, nierdzewne
- Montaż wysp zaworowych, szaf sterowniczych
- Agregaty hydrauliczne i filtracyjne
- Rozdzielacze hydrauliczne PVG
- Modyfikacje silników elektrycznych
- Składanie dźwigników śrubowych Unimec
- Napełnianie sprężyn gazowych
- Maszyny i urządzenia specjalnego przeznaczenia

F-NIS 23151

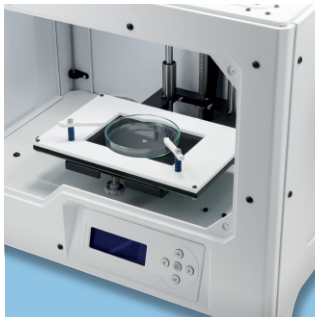
Drukarka 3D Direct Ink Writing

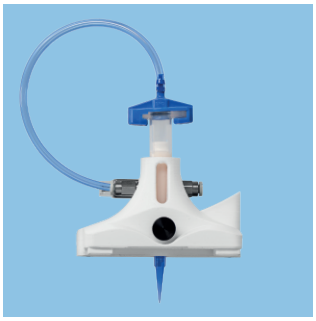
dla przemysłu oraz laboratoriów chemicznych i materiałowych

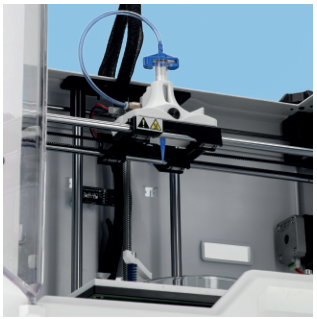


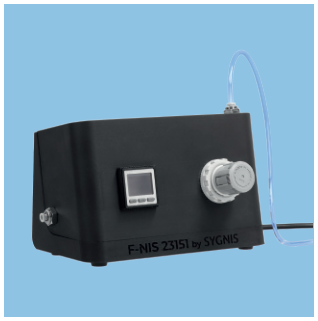
Drukarka 3D F-NIS 23151 to idealne rozwiązanie dla odbiorców interesujących się technologią DIW (Direct Ink Writing). Doskonałą konstrukcję urządzenia osiągnięto przez zbudowanie go na bazie niezawodnego modelu drukarki 3D marki FlashForge – Creator Pro.

W projekcie zaimplementowano precyzyjny system ekstruzji pneumatycznej. To połączenie zapewnia użytkownikowi proste i niezawodne narzędzie, pomocne w początkowych etapach proof–of–concept lub jako uniwersalna baza do prototypowania autorskich materiałów w druku 3D.









F-NIS 23151 znajdzie zastosowanie w przemyśle, laboratoriach chemicznych i materiałowych oraz wśród grup badawczych pracujących nad nowymi materiałami, elastyczną elektroniką, izolatorami ceramicznymi, materiałami utwardzanymi promieniami UV, silikonami oraz pastami przewodzącymi.

Dowiedz się więcej na: **www.diw3D.com**

SYGNIS
SPÓŁKA AKCYJNA

www.sygnis.pl
kontakt@sygnis.pl, +48 22 668 47 57

SYGNIS

SPÓŁKA AKCYJNA

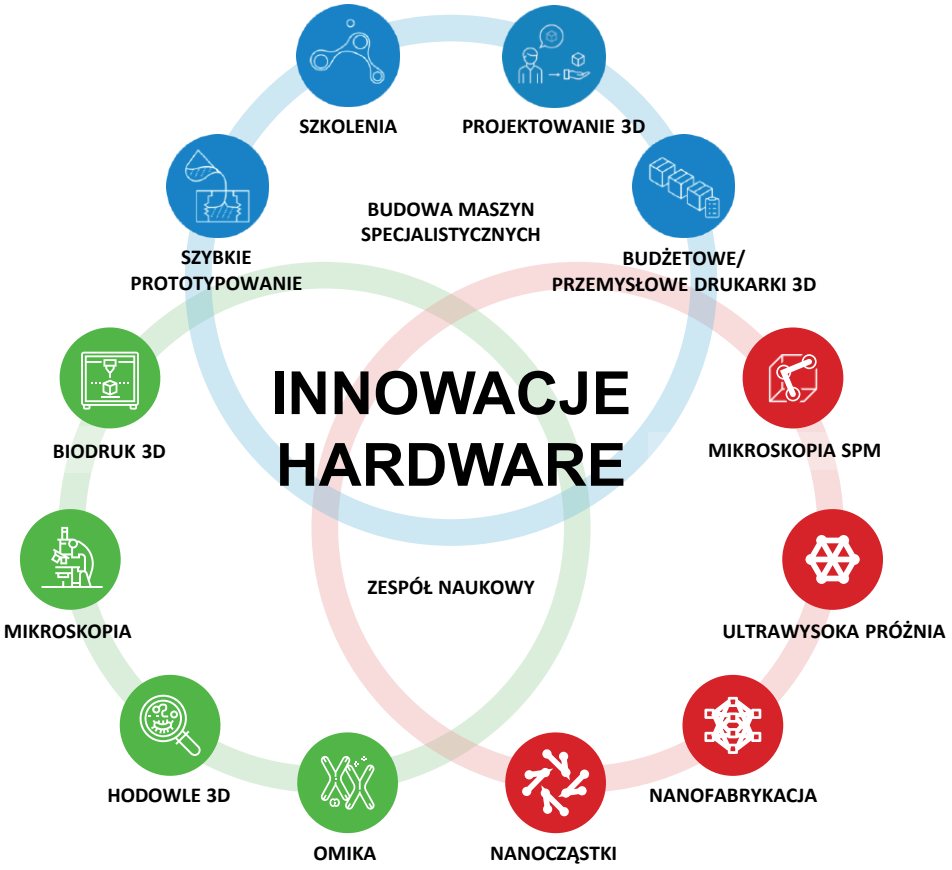
Jesteśmy firmą badawczo-rozwojową.
Chcemy naszymi wynalazkami skutecznie zmieniać świat.

Rozwiązujemy problemy i tworzymy nowe idee w obszarach nowych technologii przyrostowych, biotechnologii, energetyki i nanotechnologii. Dzięki naszym projektom powstają przełomowe rozwiązania z zakresu magazynowania energii, poszerzania dostępu do rozwiązań nanotechnicznych oraz pionierskie metody ratowania zdrowia i życia.

SYGNIS
NEW TECHNOLOGIES

SYGNIS
BIO TECHNOLOGIES

SYGNIS
NANO TECHNOLOGIES



Łączymy technologię, biznes i naukę. Ciągle się rozwijamy.
Jesteśmy naukowcami, użytkownikami, sprzedawcami i badaczami.

Poza własnymi działaniami badawczo-rozwojowymi, jesteśmy też dystrybutorami wielu pionierskich rozwiązań od naszych partnerów. Sprowadzamy je z całego świata, aby osiągać nowe poziomy wiedzy. Opracowujemy dzięki nim autorskie, jedyne w swoim rodzaju maszyny umożliwiające produkcję i badania w dotychczas nieosiągalnych obszarach

kontakt@sygnis.pl, +48 22 668 47 57