

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Badania właściwości mechanicznych materiałów wytworzonych technikami przyrostowymi do zastosowań medycznych

Marcin Sarzyński¹, Paweł Płatek¹, Kamil Cieplak¹, Michał Grązka¹, Krzysztof Grzelak² Janusz Kluczyński²

¹Wydział Mechatroniki Uzbrojenia i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna

²Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna

email: marcin.sarzyński@wat.edu.pl, paweł.płatek@wat.edu.pl, kamil.cieplak@wat.edu.pl, krzysztof.grzelak@wat.edu.pl
janusz.kluczyński@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych materiałów wykorzystanych do wytworzenia elementów armatury hełmów wspomagających leczenie ostrej niewydolności oddechowej będącej następstwem choroby Covid-19. Do wytworzenia próbek materiałowych wykorzystano dwie powszechnie stosowane techniki wytwarzania przyrostowego: FFF (Fused Filament Fabrication) oraz SLS (Selective Laser Sintering). Badania właściwości mechanicznych przeprowadzono dla materiałów polimerowych PET-G, ABS Medical na próbkach materiałowych wytworzonych za pomocą techniki FFF oraz PA 2200 i Igrur I3PL wytworzonych za pomocą techniki SLS. Zakres badań obejmował określenie właściwości mechanicznych w warunkach statycznej próby rozciągania oraz testu uderzenia. Ponadto, część z wytworzonych próbek poddano procesowi sterylizacji z uwzględnieniem różnych metod stosowanych w służbie zdrowia. Na podstawie uzyskanych wyników testów wskazano możliwy zakres zastosowania poszczególnych materiałów w procesie wytwarzania elementów armatury hełmów.

SŁOWA KLUCZOWE: additive manufacturing, fused filament fabrication, selective laser sintering, Covid-19, SARS-CoV-2

1. Wprowadzenie

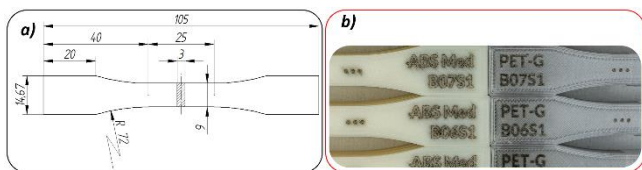
Dostępne techniki wytwarzania przyrostowego znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, nauce, medycynie, a nawet wzniołym użytkowym, sztuce oraz w budownictwie [1]. Bogata oferta dostępnych technik wytwarzania przyrostowego tzw. druku 3D oraz szerokie spektrum wykorzystywanych materiałów w procesie produkcyjnym skutkuje dynamicznym wzrostem ich zastosowania w praktyce inżynierskiej. Jeden z interesujących obszarów wykorzystania techniki wytwarzania przyrostowego stanowi bioinżynieria oraz medycyna. W zależności od zastosowanej techniki druku 3D oraz wykorzystanego materiału w procesie produkcyjnym, wytwarzane są elementy konstrukcyjne aparatury medycznej, szablony chirurgiczne, protezy, a nawet implanty charakteryzujące się skomplikowanym kształtem geometrycznym [2]. Techniki wytwarzania przyrostowego stały się efektywnym narzędziem coraz częściej wspomagającym działanie służby zdrowia. Jednym z wielu przykładów ilustrujących wykorzystanie techniki druku 3D w służbie zdrowia stanowi próba wsparcia działań służby zdrowia w walce ze skutkami pandemii wywołanej wirusem SARS-CoV-2 w marcu 2020. Globalny kryzys w służbie zdrowia spowodowany bardzo szybkim rozprzestrzenieniem się wirusa, ograniczony dostęp do środków ochrony osobistej oraz problemy w dostawach sprzętu medycznego spowodowały, że w bardzo krótkim czasie pojawiło się wiele inicjatyw polegających na wykorzystaniu techniki druku 3D Fused Filament Fabrication w procesie wytwarzania niezbędnych środków ochrony osobistej. W bardzo krótkim

czasie rozpoczęto na masową skalę produkcję różnego rodzaju przyłbic ochronnych, masek twarzowych mających na celu zminimalizowanie dalszej transmisji wirusa SARS-CoV-2 [3, 4-5]. Produkowane środki ochrony osobistej nie posiadały żadnej certyfikacji produktów medycznych, jednakże w okresie pandemii wszystkie dostępne rozwiązania mogące zniwelować tempo rozprzestrzeniania się wirusa były cenne. Jednym z wielu przykładów wykorzystania techniki druku 3D na rzecz walki z wirusem SARS-CoV-2 stanowi inicjatywa podjęta przez zespół naukowy z Centralnego Szpitala Klinicznego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego (CSK WUM), który we współpracy z Wojskową Akademią Techniczną oraz Politechniką Warszawską podjął się pierwszej w Polsce próby opracowania specjalnego hełmu do wentylacji nieinwazyjnej wspomagającej leczenie pacjentów z niewydolnością oddechową towarzyszącą chorobie Covid-19. W celu zredukowania czasu wymaganego do wytworzenia elementów armatury łączącej hełm z aparaturą medyczną stosowaną w tlenoterapii (respiratory, urządzenia CPAP – *Continuous Positive Airway Pressure*) zdecydowano się na zastosowanie dostępnych w WAT technik druku 3D do realizacji tego zadania. Uwzględniając specyfikę zastosowania elementów armatury wybrano techniki FFF i SLS oraz materiałów w formie filamentów PET-G i ABS Medical oraz proszków poliamidowych PA 2200 i Igrur I3PL w procesie wytwarzania elementów armatury. Wytypowane materiały są wskazywane przez producentów jako biodegradowalne i są łatwo dostępne. Produkcję elementów armatury przeprowadzono testami technologicznymi oraz badaniami właściwości mechanicznych

zapropnowanych materiałów. Zasadniczym celem prowadzonych testów było w pierwszej kolejności określenie optymalnych parametrów procesu druku 3D gwarantujących wysoką wytrzymałość mechaniczną wytworzonych elementów oraz uzyskanie wymaganej jakości powierzchni charakteryzującej się minimalną chropowatością. Ponadto w ramach prowadzonych testów zweryfikowano wpływ standardowych metod sterylizacji stosowanych w służbie zdrowia na wytrzymałość wytypowanych materiałów.

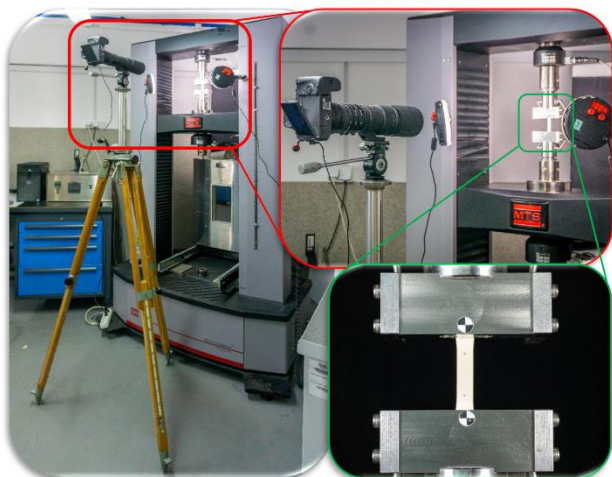
2. Badania właściwości mechanicznych wytypowanych materiałów do zastosowań medycznych

Na rysunku 1 przedstawiono geometrię próbki zgodnej z normą ASTM E466:96 zastosowanej do realizacji testów rozciągania w warunkach obciążenia quasi-statycznego. Badania zrealizowano z użyciem maszyny wytrzymałościowej MTS Criterion C45.105 (rys. 2).



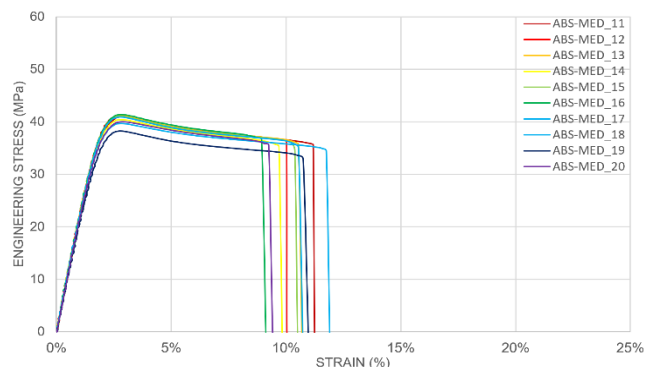
Rys. 1. Widok próbki materiałowej wykorzystanej do realizacji statycznej próby rozciągania a) – wymiary i kształt próbki, b) – wytworzone próbki wraz ze znacznikami bazy pomiarowej

Do rejestracji przebiegu próby wykorzystano pełnoklatkowy, bezlusterkowy aparat cyfrowy. Dzięki zarejestrowanym filmom o dużej rozdzielczości obrazu możliwa była dokładna analiza zmiany położenia znaczników niezbędnego do określenia odkształcenia badanych próbek materiałowych.

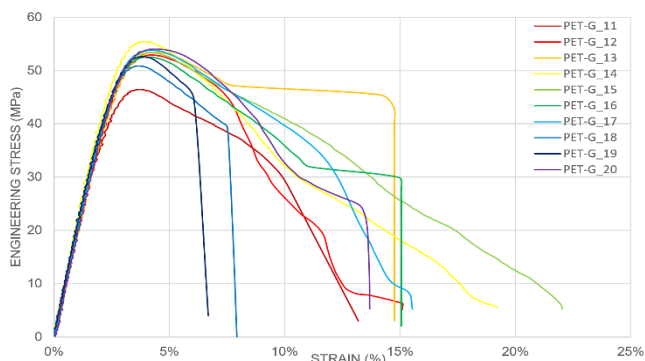


Rys. 2. Widok ogólny stanowiska do statycznej próby rozciągania

Testy rozciągania przeprowadzono po 10 próbek dla z każdego z wybranych materiałów, prędkość trawersy podczas rozciągania wyniosła 50 mm/min. Na wykresach przedstawiono przykładowe krzywe uzyskane dla materiału ABS-Medical (rys. 3) oraz PET-G (rys. 4).



Rys. 3. Przebieg krzywych rozciągania dla materiału ABS Medical



Rys. 4. Przebieg krzywych rozciągania dla materiału PET-G

Analizując przebieg uzyskanych krzywych oraz wartości przedstawione w tabeli (tab. 1) można stwierdzić, że próbki wykonane za pomocą techniki FFF z materiału ABS-MED cechują się lepszą powtarzalnością niż te wykonane z PET-G. Niniejszy materiał został wybrany do wytworzenia elementów armatury hełmów za pomocą techniki FFF.

Tabela 1 Przykładowe wyniki badań wytrzymałościowych uzyskane dla materiałów wytworzonych za pomocą techniki FFF

	ABS Medical		PET-G	
	Średnia	odch. std. średniej	Średnia	odch. std. średniej
E [MPa]	2113	45,7	1986	66,7
$R_{0,2}$ [MPa]	37,1	1,1	43,0	2,1
R_m [MPa]	40,5	1,0	52,5	2,4
R_u [MPa]	35,2	1,0	39,0	5,2
A_p [%]	10,3	0,9	9,4	3,8

Literatura

- [1] Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B*, 143 172-196.
- [2] Salmi, M. (2021). Additive manufacturing processes in medical applications. *Materials*, 14(1), 1-16.
- [3] Tareq, M. S., Rahman, T., Hossain, M., & Dorrington, P. (2021). Additive manufacturing and the COVID-19 challenges: An in-depth study. *Journal of Manufacturing Systems*.
- [4] Oladapo, B. I., Ismail, S. O., Afolalu, T. D., Olawade, D. B., & Zahedi, M. (2021). Review on 3D printing: Fight against COVID-19. *Materials Chemistry and Physics*, 258 (August 2020).
- [5] Salmi, M., Akmal, J. S., Pei, E., Wolff, J., Jaribon, A., & Khajavi, S. H. (2020). 3D printing in COVID-19: Productivity estimation of the most promising open source solutions in emergency situations. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(11), 1-15.