

## **Analiza własności materiałów przeznaczonych do druku przestrzennego (obróbka przyrostowa) części maszyn i urządzeń okrętowych**

Druk 3D staje się nieodłączną częścią rozwoju technologii na świecie. Coraz większa popularność technologii addytywnych wpływa na przeznaczanie większej ilości nakładów pieniężnych i obejmuje coraz większe dziedziny życia. Wytwarzanie przyrostowe umożliwia wydrukowanie zarówno prototypów, jak i gotowych części zamiennych, które posiadają właściwości takie same lub zbliżone do części obecnie eksploatowanych. Druk 3D pozwala na wyprodukowanie elementów o skomplikowanej geometrii bez potrzeby inwestowania w zaawansowaną produkcję seryjną.

Technologie druku 3D, umożliwiają tworzenie trójwymiarowych obiektów poprzez stopniowe nanoszenie warstw materiału. Istnieje kilka różnych metod druku 3D, w tym między innymi Fused Deposition Modeling (FDM), DIRECT Ink Writing (DIW), Stereolithography (SLA), Electron Beam Melting (EBM), Selective Laser Melting (SLM), Direct Metal Laser Sintering (DMLS) i Inkjet 3D Printing. Obiekty są tworzone na podstawie cyfrowego modelu 3D zaprojektowanego w programach CAD (computer aided design), który potem jest podzielony na warstwy. Następnie drukarka addytywna aplikuje materiał warstwa po warstwie, tworząc ostateczny trójwymiarowy produkt.

**Celem pracy inżynierskiej jest przeanalizowanie własności materiałów przeznaczonych do druku przestrzennego części maszyn i urządzeń okrętowych.**

Pod analizę wzięto pięć różnych materiałów takich jak: ASA (ang. Acrylonitrile Styrene Acrylate), PET-G (ang. Polyethylene terephthalate glycol), PCT-G (ang. Polycyclohexylene dimethylene terephthalate), CALIBRAM PC (ang. Polycarbonate) oraz PCABS EH (ang. Polycarbonate Acrylonitrile Butadiene Styrene). Każdy materiał przeanalizowano na pięć różnych rodzajów gęstości wypełnienia (20%, 40%, 60%, 80%, 100%), a każde wypełnienie wydrukowano w pięciu próbkach. Taką analizę sporządzono dla statycznej próby rozciągania oraz statycznej próby ściskania. Na jeden materiał przypada 25 próbek (po 5 próbek na każdy procent wypełnienia), co daje 125 próbek wydrukowanych do statycznej próby rozciągania. Tyle samo próbek przygotowano do statycznej próby ściskania, co daje łącznie 250 próbek wykorzystanych w pracy inżynierskiej.

Próbki do badań wydrukowane zostały na drukarce uczelnianej Original Prusa i3 MK3S+. Norma, której użyto do przygotowania próbek na ściskanie tworzyw sztucznych to PN-EN ISO 604, a na rozciąganie tworzyw sztucznych PN-EN ISO 527-1. Statyczne próby

wytrzymałościowe przeprowadzono na uczelnianej maszynie firmy Zwick Roell mieszczącej się w laboratorium wytrzymałości materiałów w Uniwersytecie Morskim w Gdyni.

W trakcie badań zaobserwowano, że każdy z analizowanych materiałów posiada swoje unikalne zalety oraz ograniczenia. Na przykład, polimery mogą oferować niską masę i dobrą odporność chemiczną, ale mogą być mniej wytrzymałe mechanicznie w porównaniu z metalami. Z kolei metale charakteryzują się wysoką wytrzymałością, ale mogą być podatne na korozję w warunkach morskich. Kompozyty natomiast mogą łączyć cechy obu tych grup materiałów, jednak ich produkcja i przetwarzanie mogą być bardziej skomplikowane.

Do celów pracy zaprojektowano i wydrukowano elementy takie jak: spryskiwacz i korek od wirówki oraz wirnik i koło zębate.

Pierwszym z omawianych elementów jest końcówka od spryskiwacza zamontowana na przedniej szybie MS Horyzont II. Została wydrukowana na uczelnianej drukarce 3D, Original Prusa i3 MK3S+ z materiału PCABS z wypełnieniem 100% podczas druku. PCABS łączy w sobie cechy dwóch popularnych tworzyw sztucznych: polikarbonatu (PC) i akrylonitrylu-butadienu-styrenu (ABS). To połączenie sprawia, że PCABS posiada zestaw właściwości, które są pożądane w wielu zastosowaniach, zarówno prototypowych, jak i funkcjonalnych. Końcówka do spryskiwacza służy do rozpylania płynu na szybie i w konsekwencji utrzymanie widoczności poprzez czyszczenie szyby z zabrudzeń takich jak kurz, błoto, owady czy śnieg. Spryskiwacz jest często połączony z systemem wycieraczek, które usuwają rozpylony płyn wraz z zabrudzeniami. Dzięki temu, załoga statku może bezpiecznie nawigować nawet w trudnych warunkach pogodowych.

Korek od wirówki paliwowej jest następnym wydrukowanym elementem z materiału Calibram PC, przy wypełnieniu 100%, wydrukowany metodą FDM. Calibram PC charakteryzuje się wysoką jakością, precyzją oraz wytrzymałością, co sprawia, że jest odpowiedni do różnorodnych zastosowań, zarówno w prototypowaniu, jak i produkcji części funkcjonalnych.

Korek od wirówki paliwowej w siłowni okrętowej jest szczególnie ważny ze względu na specyfikę pracy statku. Wirówka paliwowa jest kluczowym elementem systemu oczyszczania paliwa na statku. Działa na zasadzie odśrodkowej separacji cząstek, gdzie cięższe zanieczyszczenia, takie jak metalowe opiłki, opadają na dno wirówki. Korek od wirówki paliwowej umożliwia dostęp do tych zanieczyszczeń, aby można je było usunąć i utrzymać efektywność wirówki. Ponadto, izoluje on paliwo od negatywnego wpływu środowiska zewnętrznego. Brak korka prowadzi do zanieczyszczenia paliwa, co z kolei może prowadzić do uszkodzenia silnika.

Wydrukowany korek od wirówki paliwowej został zaprojektowany w programie Autodesk Inventor oraz umieszczony w wirówce znajdującej się w budynku H na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Ważne są takie parametry jak średnica i rodzaj gwintu, dlatego został on zwymiarowany, aby pasował pod konkretny rodzaj wirówki. Czerwoną strzałką zaznaczono umiejscowienie korka w wirówce.

Następnym elementem maszyn i urządzeń okrętowych przeznaczonych do wykonania metodą przyrostową jest wirnik (rotor). Na drukarce 3D, Original Prusa i3 MK3S+, wydrukowano za pomocą technologii FDM prototyp wirnika o odpowiednich parametrach. Wirnik to taki komponent danego mechanizmu, który wykonuje ruch obrotowy względem obudowy. Wiruje wokół stałej osi gdy jest w pracy. Wirnik to element, który wyposaża najczęściej pompy, silniki, sprężarki, turbiny i prądnice. Składa się z wału oraz z części służącej do odbycia pracy lub zmiany postaci energii. Wirnik w siłowni okrętowej pełni zasadniczą rolę w generowaniu siły napędowej, która umożliwia poruszanie się okrętu przez wodę. Wybór konkretnego rodzaju wirnika zależy od wielu czynników, takich jak rodzaj okrętu, jego przeznaczenie i wymagania dotyczące manewrowości. Koła zębate służą do przekazywania momentu obrotowego z jednego wału napędowego na drugi w celu uruchomienia różnych mechanizmów i urządzeń pokładowych, takich jak generatory, pompy, kompresory, wentylatory, układy kierowania. Koła zębate mogą być również stosowane w przekładniach redukcyjnych, które zmieniają prędkość obrotową wału napędowego, jednocześnie zwiększając moment obrotowy. Dzięki zębatym profilom na powierzchniach koła zębatego, przekładnia zębata zapewnia precyzyjne i stabilne przekazywanie ruchu, co jest istotne dla bezpiecznej i skutecznej pracy różnych systemów na pokładzie okrętu.

W przemyśle morskim, jednym z najczęściej ulegającym zniszczeniu elementem jest koło zębate, a konkretnie zęby koła zębatego. Jako przykład, zaprezentowana została ślimacznica z przekładni ślimakowej używana podczas pracy wirówki, która znajduje się w siłowni okrętowej. Przekładnia ślimakowa ma za zadanie przenieść napęd znajdujący się w silniku elektrycznym na wał, który służy do napędzania miski. Przez ślimak przenoszona jest siła obrotowa, która wytworzona została przez silnik elektryczny. Ślimak, obracając się, powoduje przesunięcie ślimacznicy, co skutkuje zmianą kierunku i prędkości obrotowej. W przekładniach ślimakowych osie obrotu są zazwyczaj ustawione pod kątem. Dzięki temu, ślimak kręci się w stosunku do koła, a na zęby koła naciska przednia część śruby. Mechanizmy te składają się ze stalowego ślimaka, oraz koła zębatego wykonanego z mosiądzu o nazwie ślimacznica. Miejsce stosowania przekładni ślimakowej jest szerokie, ponieważ służy do przenoszenia dużych

momentów obrotowych przy niewielkich gabarytach. Aby zadbać o żywotność, wydajność i niezawodność przekładni ślimakowej, należy pamiętać o regularnej konserwacji i smarowaniu.

### **Podsumowanie**

Przy zastosowaniu technologii drukowania przestrzennego, możliwe jest wykonywanie elementów o złożonej geometrii, a jednocześnie znacznie zmniejsza się straty materiałowe w porównaniu do tradycyjnych metod produkcji. W drukowaniu przyrostowym gotowe elementy uzyskuje się bardzo szybko, między innymi w zależności od wielkości otrzymanego materiału, gęstości wypełnienia czy prędkości druku drukarki, a to wszystko bez konieczności korzystania z zaawansowanego technologicznie wyposażenia.

Najlepsze własności wytrzymałościowe uzyskał materiał PET-G stopniu wypełnienia 100%. Jego wytrzymałość na rozciąganie wynosi 51,09 MPa. Wytrzymałość na rozciąganie wzrastała wraz ze zwiększaniem się stopnia wypełnienia. Największe wartości modułu Younga uzyskał materiał HMF PCABS EH dla maksymalnego wypełnienia (100%) i wynosi on 2649 MPa. Z kolei najmniejsze wartości wykazał materiał PCT-G z wynikiem 1336 MPa dla wypełnienia 100% i 659 MPa dla wypełnienia 20%. Wszystkie przebadane materiały cechują się niewielkim odkształceniem, a coraz większy stopień wypełnienia próbek nie ma wpływu na ten parametr. Największe odkształcenia zachodzą w materiale PCT-G i oscylują między 4,79 – 4,82%, natomiast najmniejsze dla materiału HMF PCABS EH i wynoszą między 1,72 – 1,82 %. Największą wytrzymałość na ściskanie uzyskuje materiał PET-G, którego wartość wynosi 22,81 MPa przy wypełnieniu 100%. Dla porównania, wartość materiału PCT-G w tym samym stopniu wypełnienia wynosi 15,08 MPa. Świadczy to o tym, że materiał PET-G nadaje się do wyprodukowania części, które są podatne na ściskanie. Zdecydowanie największą wartość posiada materiał PET-G uzyskując 2097 MPa dla wypełnienia 100%.

Dla porównania, drugą największą wartość osiągnął materiał Calibram PC z wartością 1380 MPa przy tym samym wypełnieniu. Najmniejszą wartość (894 MPa) uzyskał materiał PCABS przy wypełnieniu 100%, natomiast wśród wypełnienia 20%, najmniejszą osiągnął ASA, która wynosi 143 MPa.

Analiza przeprowadzona w ramach pracy inżynierskiej pozwoliła na lepsze zrozumienie właściwości różnych materiałów stosowanych w druku przestrzennym, co może być kluczowe dla projektantów i inżynierów zajmujących się produkcją części maszyn i urządzeń okrętowych. Wybór odpowiedniego materiału powinien być dokładnie przemyślany, uwzględniając wymagania dotyczące wytrzymałości, trwałości oraz odporności na środowisko morskie.