

**Daniel Pieniak**

**Jarosław Zubrzycki**

**Łukasz Wojciechowski**

Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych

Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36

daniel.pieniak@gmail.com

j.zubrzycki@pollub.pl

l.wojciechowski@pollub.pl

## **Zastosowanie technologii rapid prototyping do projektowania elementów maszyn**

### **Cel pracy**

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie oraz omówienie zastosowania technologii Rapid Prototyping do projektowania części maszyn i mechanizmów. W artykule przedstawiono autorski proces Szybkiego Prototypowania końcówek chwytanych do chwytaka pneumatycznego KGG 60-40 dedykowanego dla robota przemysłowego. Zakres pracy obejmuje przedstawienie idei Rapid Prototyping, omówienie technik RP oraz szczegółowe zaprezentowanie procesu tworzenia elementów chwytanych – począwszy od zaprojektowania części, badań wytrzymałościowych, kończąc na stworzeniu fizycznej części chwytnej za pomocą druku 3D.

### **Wstęp**

**Rapid Prototyping** jest zbiorem metod szybkiego wytwarzania modeli fizycznych, części lub prototypów maszyn z pominięciem tradycyjnych technologii mechanicznych, takich jak: odlewanie, obróbka ubytkowa, czy elektroerozyjna. Podstawą wszystkich metod Szybkiego Prototypowania jest model 3D danego elementu. Po odpowiednim przetworzeniu i dostosowaniu do produkcji można wytworzyć go np. za pomocą jednej z technik SP. Główną zaletą RP jest to, że pozwala na stworzenie fizycznego modelu nadającego się do zademonstrowania potencjalnym inwestorom, którzy nie muszą mieć odpowiedniej wiedzy lub doświadczenia, potrzebnego do analizy modeli wirtualnych. Można przeprowadzić wstępne badania, a także zweryfikować to, czy rozwiązania, które wstępnie zastosowano, zadziałają w rzeczywistości. Charakterystyczne jest to, że w sposób

szybki i korzystny ze względu na koszty, można wytworzyć rzeczywisty przedmiot bezpośrednio w oparciu o dane z programów do Komputerowego Wspomagania Projektowania, bez zastosowania form czy narzędzi [1, 4, 5].

Metody Szybkiego Prototypowania to przede wszystkim metody generacyjne - addytywne, budujące dany element za pomocą warstw materiału układanych jedna na drugą. Modele przestrzenne stworzone w systemach CAD są podzielone za pomocą poziomych płaszczyzn na warstwy, z których następnie generuje się łatwiejsze do przetworzenia modele dwuwymiarowe. Większość metod RP bazuje na punktowym utwardzaniu materiału np. za pomocą lasera. Powtórzenie tego procesu dla wszystkich warstw pozwala na stworzenie fizycznego obiektu [6].

Metody Rapid Prototyping pozwalają obecnie na obróbkę szerokiej gamy materiałów takich jak: tworzywa sztuczne, foto-polimery, wosk, nylon, materiały drewnopodobne, materiały ceramiczne, proszki metaliczne. Wspólną cechą wszystkich metod Rapid Prototyping jest to, że tworzenie danego przedmiotu odbywa się nie poprzez usuwanie warstw, lecz przez dodawanie kolejnych warstw materiału. Umożliwia to wytworzenie w relatywnie krótkim czasie modeli o złożonych kształtach, bez zastosowania skomplikowanych narzędzi.

Historia Rapid Prototyping sięga początków lat 80. XX wieku. W 1984 roku Charles Hull, założyciel firmy *3D SYSTEMS* wynalazł stereolitografię, która jest jedną z częściej stosowanych addytywnych metod produkcji elementów. W 1988 roku firma *3D SYSTEMS* stworzyła maszynę stereolitograficzną o nazwie SLA-250, która została później uznana za pierwszą drukarkę 3D w historii. W 1994 roku dr James Brecht i Tim Anderson wykupili od MIT patent dotyczący techniki drukowania trójwymiarowego i założyli firmę *Z-Corporation*. W tym samym czasie firma Hulla stworzyła nową technologię Szybkiego Prototypowania, którą była SLS - modelowanie przy użyciu lasera o wysokiej mocy. W 1989 roku kolejna z firm *Stratasys* wynalazła inną metodę, jaką była FDM - modelowanie ciekłym tworzywem sztucznym. Należy dodać, iż w latach 80. XX wieku nikt nie używał terminu druk 3D. Użyto go po raz pierwszy w 1996 roku, podczas prezentacji pierwszych szeroko dostępnych modeli maszyn Szybkiego Prototypowania, których rozwiązania techniczne i technologiczne stały się wzorcem dla późniejszych produktów. W 2005 roku *Z-Corporation* stworzyło pierwszą na świecie kolorową drukarkę 3D do druku w wysokiej rozdzielczości 600x540 dpi. Wszystkie te firmy do dzisiaj pracują nad udoskonalaniem technologii druku przestrzennego. Jednym z przykładów jest RepRap, czyli idea samoreplikującej się drukarki. Za jej pomocą można wyprodukować praktycznie każdy element, w cenie przystępnej dla przeciętnego człowieka [8].

Szybkie Prototypowanie znajduje szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu i życia codziennego. W przemyśle wykorzystywane jest głównie do budowy prototypów maszyn dla celów weryfikacyjnych i badawczych, oraz budowy fizycznych modeli w celach projektowych lub prezentacyjnych [2, 3]. Wraz

z rozwojem technologii RP zaczęto stosować je również do wytwarzania części i wyrobów jednostkowych i małoseryjnych. Rapid Prototyping wykorzystuje się także w medycynie np. przy tworzeniu protez, jak również w architekturze do stworzenia makiet budynków [5, 7]. Metody RP pozwalają na relatywnie tanią i szybką produkcję spersonalizowanych przedmiotów np. części maszyn, lub elementów protez. Dzięki edycji trójwymiarowego modelu każdy element można dostosować do indywidualnych potrzeb, a sama produkcja nowej części nie wymaga zmian form i narzędzi produkcyjnych [8].

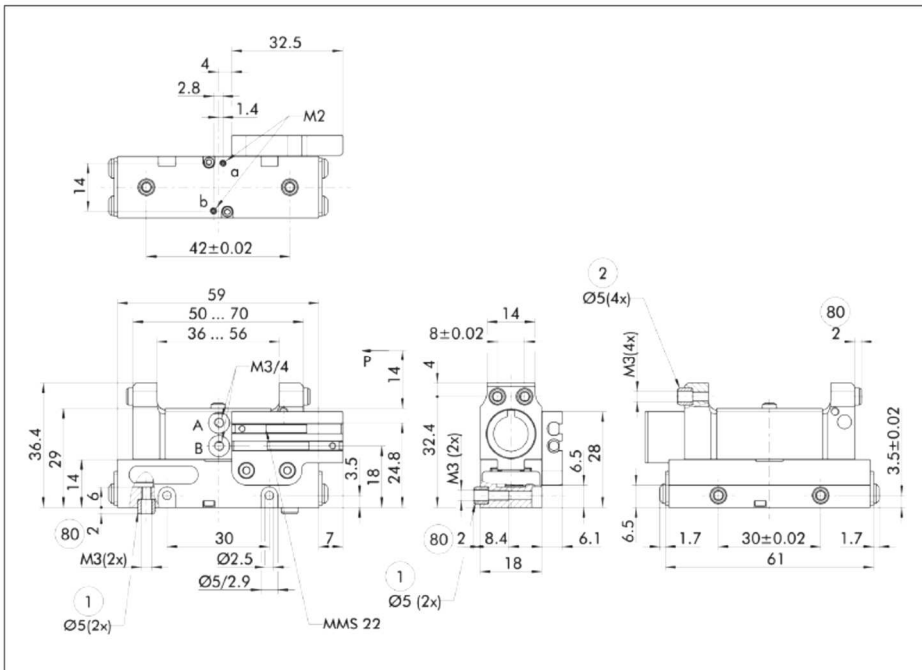
## **1. Projekt części chwytnej**

W artykule opisano przeprowadzony proces Szybkiego Prototypowania. Na przykładzie elementów chwytnych do chwytaka pneumatycznego KGG 60-40 firmy SHUNK stworzono wirtualny prototyp części. Następnie przeprowadzono analizę wytrzymałościową modelu, oraz sprawdzono dokładność teselacji jego geometrii. Kolejnym etapem było odpowiednie ułożenie modelu na płaszczyźnie pod modelowej, oraz wygenerowanie supportu. Dzięki temu otrzymano plik z G-codem, sterującym ruchami głowicy urządzenia. Ostatnim etapem było stworzenie fizycznego elementu za pomocą urządzenia opartego na technologii FDM.

### **1.1. Wstępne założenie**

Danymi wejściowymi, które posiadano, były rysunki techniczne chwytaka KGG 60-40, oraz jego specyfikacja techniczna, którą pozyskano ze strony producenta [10].

Na podstawie powyższych informacji wstępnie nakreślono ogólną koncepcję elementów chwytnych: ich kształt, zasadę działania, oraz sposób wykorzystania. Za pomocą technologii Rapid Prototyping chciano stworzyć dwa identyczne ramiona, które zamocowano by w chwytaku pneumatycznym. Następnie zamierzano przeprowadzić analizę wytrzymałościową modelu, oraz obliczenia wytrzymałościowe i symulację odkształceń Metodą Elementów Skończonych. Ostatecznie za pomocą urządzenia FDM marki uPrint założono wykonanie dwóch zaprojektowanych elementów. Celem było stworzenie w pełni funkcjonalnego chwytaka do robota Kawasaki RS03N.



### Technical data

Description	KG6 60-20	KG6 60-40
ID	0303050	0303051
Stroke per finger [mm]	10	20
Closing force [N]	45	45
Opening force [N]	53	53
Weight [kg]	0.09	0.11
Recommended workpiece weight [kg]	0.23	0.23
Air consumption per double stroke [cm <sup>3</sup> ]	3	6
Min./max. operating pressure [bar]	2/8	2/8
Nominal operating pressure [bar]	6	6
Closing/opening time [s]	0.03/0.03	0.04/0.04
Max. permitted finger length [mm]	42	42
Max. permitted weight per finger [kg]	0.04	0.04
IP class	40	40
Min./max. ambient temperature [°C]	-10/90	-10/90
Repeat accuracy [mm]	0.02	0.02

Rysunek 1.1. Dokumentacja techniczna chwytaka KGG 60-40 [10]

## 1.2. Programy komputerowe wykorzystane w procesie modelowania

Pierwszym programem, z którego skorzystano, był Solid Edge – wersja studencka firmy Siemens PLM Software (licencja w posiadaniu Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej). W tym systemie CAD-3D stworzono wirtualny model ramienia chwytanego, przeprowadzono analizę i symulację wytrzymałościową naprężeń i odkształceń MES przy zadanym obciążeniu wynikającym z warunków pracy. W późniejszym etapie stworzono złożenie z modelem

chwybaka dostępnym na stronie producenta, w celu sprawdzenia poprawności stworzonego mechanizmu. Na końcu wygenerowano plik w formacie STL, potrzebny w dalszych etapach procesu.

W procesie wzięto pod uwagę to, że przy zapisie modelu w formacie STL geometria jego powierzchni zostaje uproszczona i mogą nastąpić przerwania struktury. Drugim programem, z którego skorzystano był Netfabb – program na licencji freeware, za pomocą, którego sprawdzono dokładność wygenerowanego pliku STL. Przy Szybkim Prototypowaniu nie jest to punkt obowiązkowy, jednakże dzięki niemu najłatwiej jest wychwycić potencjalne błędy w modelu. Co więcej, program ten zawiera funkcję automatycznej naprawy w razie jakichkolwiek nieprawidłowości w bryle modelu. Etap ten można było w zasadzie pominąć, jednak przy niepoprawnych plikach mogą wystąpić puste warstwy, lub swobodne wypełnienia poza obszarem części.

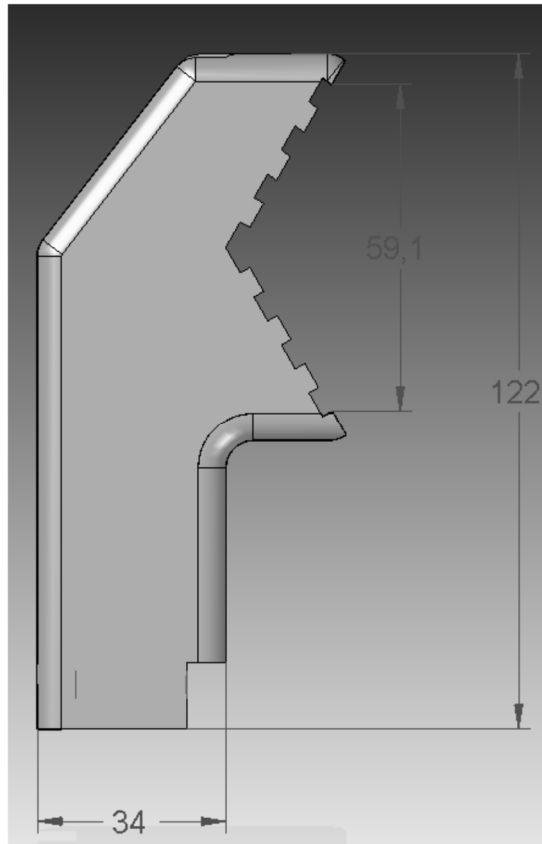
Następnym oprogramowaniem był Slic3r, będące kolejnym darmowym oprogramowaniem, pozwalającym wygenerować G-code potrzebny do stworzenia rzeczywistej części. Jak wspomniano wcześniej, Szybkie Prototypowanie opiera się na addytywnym tworzeniu rzeczywistej części, poprzez podzielenie modelu wirtualnego na warstwy, które są później nakładane na siebie. Slic3r jest programem, przetwarzającym model części poprzez podzielenie go na przekroje i wygenerowanie G-Codu do urządzenia RP. Do programu można wprowadzić wszystkie parametry drukarki, takie jak wymiary platformy i parametry druku. Następnie program generuje wirtualne urządzenie, w którym umieszcza się opracowane elementy. Slic3r uwzględniając konfigurację druku sam generuje materiał podporowy oraz plik z G-codem. Potrafi on również wizualizować model trójwymiarowo w taki sposób, że każda warstwa może być wyświetlana jako oddzielny obiekt. Pozwala to bardzo łatwo zidentyfikować niechciane elementy modelu.

Następnym oprogramowaniem wykorzystanym w procesie jest CatalystEX. Jest to dedykowane oprogramowanie sterujące urządzeniem uPrint. Łączy ono funkcję programów Slic3r oraz Netfabb. Pozwala w przystępny sposób określić położenie części, oraz wizualizuje poszczególne ścieżki głowicy. Posiada też funkcje komunikowania się z urządzeniem, dzięki czemu przesyła kod sterujący bezpośrednio do urządzenia.

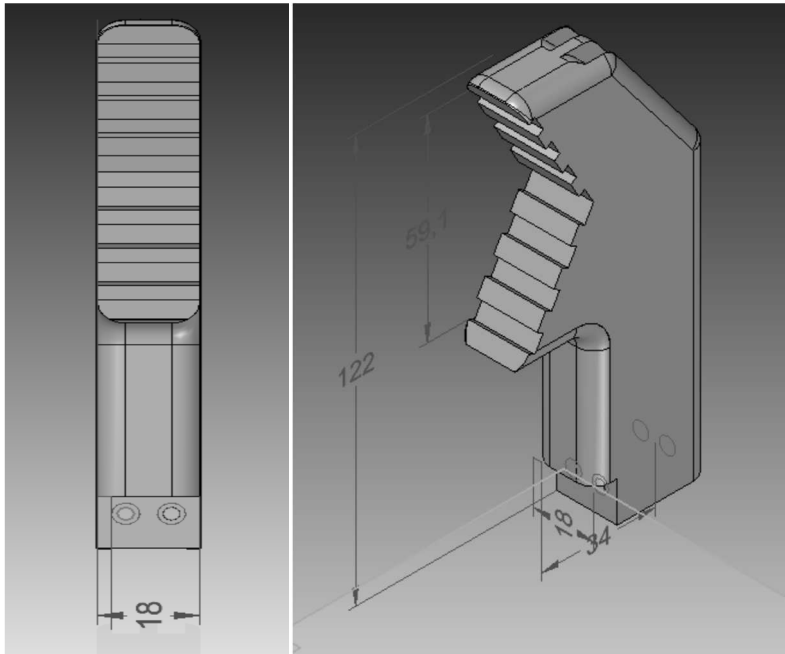
## 2. Przebieg procesu

### 2.1. Model 3D

Pierwszym etapem procesu Szybkiego Prototypowania było stworzenie modelu końcówki chwytnej w programie CAD. Został on opracowany na podstawie posiadanych danych o wymiarach, oraz siłach działających na element dzięki temu nakreślono wstępny zarys części. Wzorując się na rzeczywistych końcówkach zaprojektowano poniższy element.



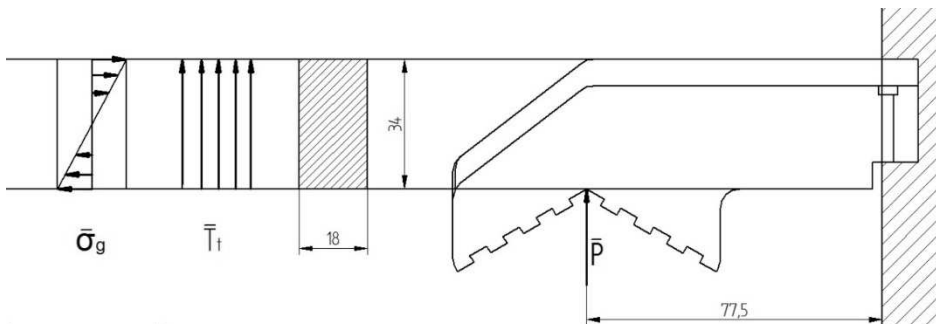
Rysunek 2.1. Projekt końcówki chwytnej (źródło – opracowanie własne)



Rysunek 2.2. Projekt końcówki chwytniej (źródło – opracowanie własne)

## 2.2. Badania wytrzymałościowe

W drugim etapie procesu RP przeprowadzono analizę wytrzymałościową chwytaka. Stwierdzono, że najlepsze będą dwa sposoby. Pierwszy z nich to klasyczna metoda obliczeniowa, w której policzono naprężenia zredukowane występujące w elemencie i porównano je z dopuszczalnymi. Uwzględniając fakt, że sposób zamocowania elementu do chwytaka ogranicza jego ruch, postanowiono przeprowadzić obliczenia jak dla zginania utwierdzonej belki (rys. 2.3).



Rysunek 2.3. Uproszczony model wytrzymałościowy (źródło – opracowanie własne)

**Obliczenia:**

$$\tau_t = \frac{P}{A} = \frac{22,5 \text{ N}}{18 \text{ mm} \cdot 34 \text{ mm}} = 0,037 \text{ MPa} \quad (1)$$

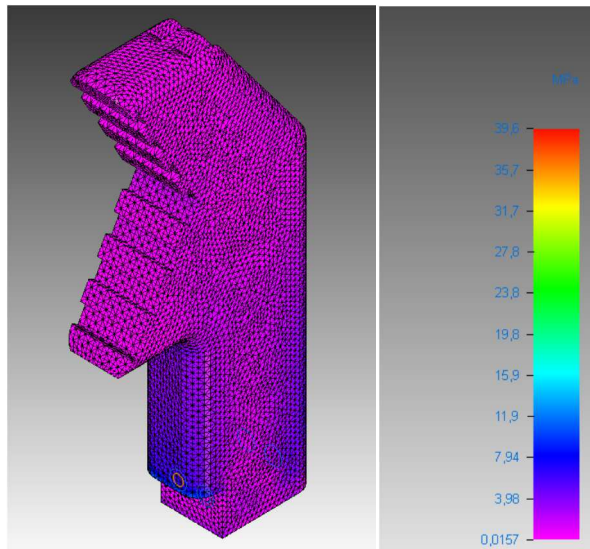
$$\sigma_g = \frac{M_g}{W_x} = \frac{P \cdot l}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{22,5 \text{ N} \cdot 122 \text{ mm}}{\frac{18 \text{ mm} \cdot (34 \text{ mm})^2}{6}} = 0,564 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_g^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{0,564^2 + 3 \cdot 0,037^2} = 0,568 \text{ MPa} \quad (3)$$

Model rzeczywisty wykonano z materiału P430 firmy ABS Plus. Materiał ten jest termoplastycznym tworzywem polimerowym wykorzystywanym w technologii FDM. Według producenta charakteryzuje się on wytrzymałością na zginanie na zakresie 35-58 MPa w zależności od kierunku zginania. Za współczynnik wytrzymałości na zginanie przyjęto dolną wartość, wówczas:

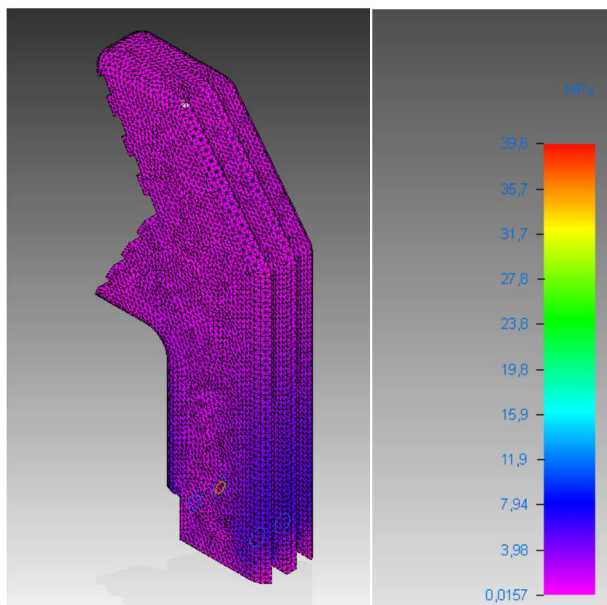
$$k_g = 35 \text{ MPa} \gg \sigma_z = 0,568 \text{ MPa} \quad (4)$$

Z obliczeń wynika jednoznacznie, że zaprojektowana część przeniesie zadane jej obciążenie. Po metodzie analitycznej, przeprowadzono analizę numeryczną za pomocą MES w celu otrzymania mapy rozkładu naprężeń i odkształceń. Program Solid Edge posiada wbudowany moduł numeryczny, zatem po wprowadzeniu geometrii modelu oraz odpowiednich parametrów (zamocowanie, obciążenia, materiał badanego elementu) otrzymano odpowiednie rozkłady (rys. 2.4 i 2.5).



**Rysunek 2.4.** Wyniki analizy MES (źródło – opracowanie własne)



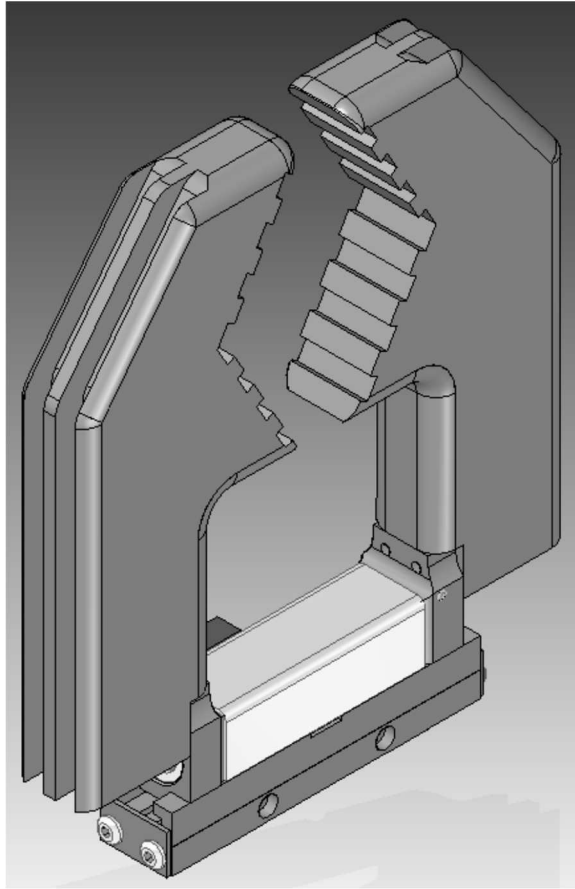


**Rysunek 2.5.** Wyniki analizy MES (źródło – opracowanie własne)

### 2.3. Złożenie

Po wykonaniu analiz i obliczeń jednoznacznie stwierdzono, że zaprojektowany model części przeniesie założone obciążenia występujące w czasie pracy. Następnym etapem całego procesu było sprawdzenie zgodności elementu poprzez wykonanie złożenia z modelem 3D chwytaka KGG60-40, który pozyskano ze strony producenta.

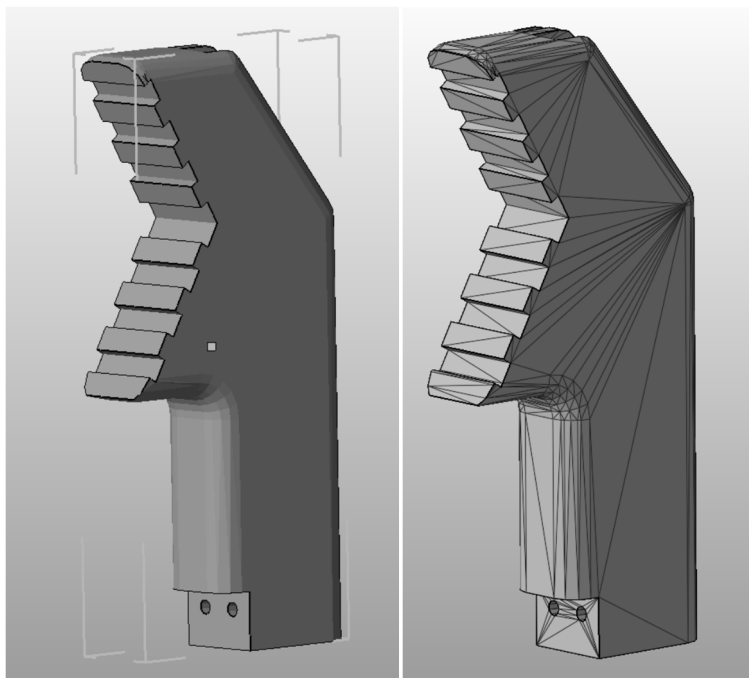
Gotowe złożenie całego mechanizmu pokazuje, że część została zaprojektowana poprawnie i pasuje do gotowego chwytaka. Żaden z elementów nie nachodzi na siebie oraz zachowany został zaplanowany odstęp między ramionami chwytakowymi.



**Rysunek 2.6.** Złożenie chwytaka (źródło – opracowanie własne)

#### **2.4. Model STL i jego dokładność**

Następnym etapem był zapis modelu w formacie STL. Dokładność wygenerowanej części, oraz uproszczeń wynikających z przekonwertowania pliku na format STL zweryfikowano za pomocą programu Netfabb. Program ten umożliwia również pokazanie efektu teselacji, czyli odwzorowania geometrii powierzchni za pomocą siatki trójkątów.

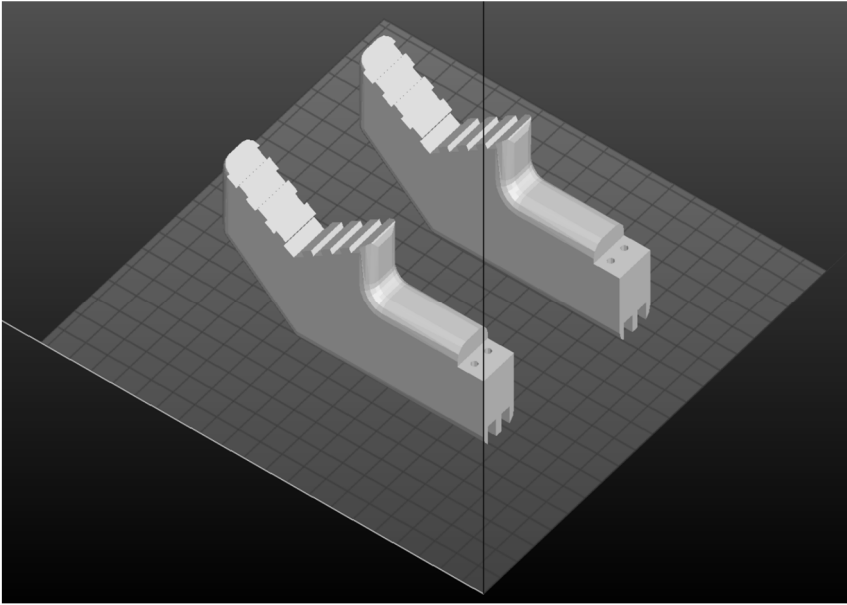


**Rysunek 2.7.** Model chwytaka w formacie STL (źródło – opracowanie własne)

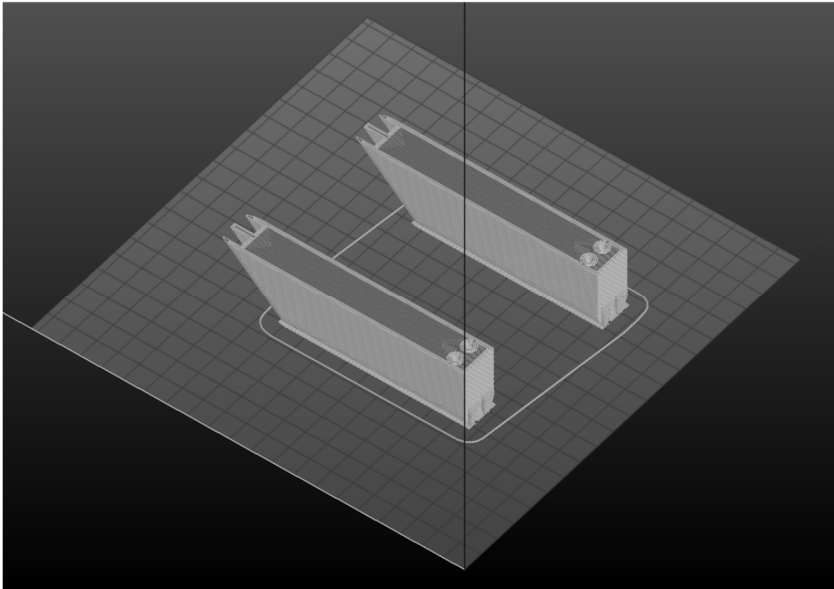
Program Netfabb nie wykazał żadnych nieprawidłowości w modelu. Geometria powierzchni modelu jest zamknięta i nie wymaga naprawy.

## 2.5. Podział na warstwy i generowanie G-codu

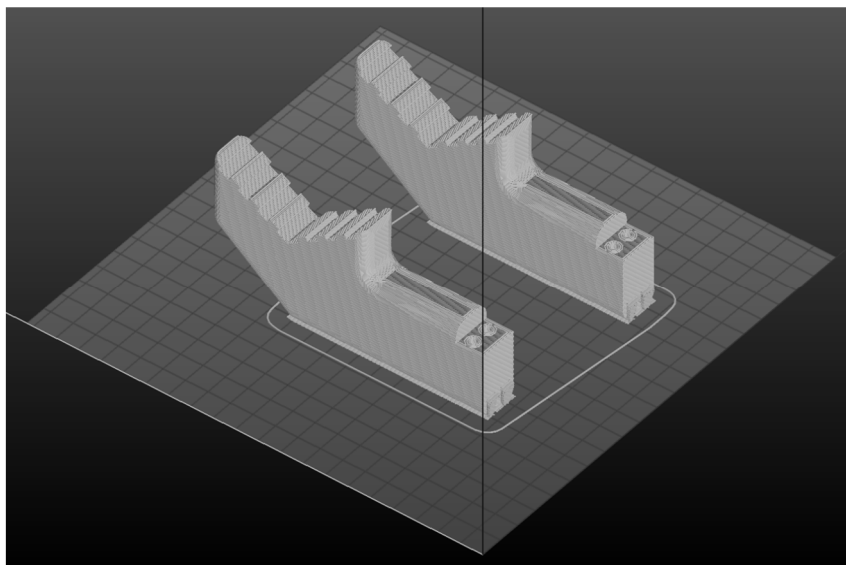
Ostatnim etapem modelowania numerycznego był podział modelu na przekroje. Jak już wcześniej wspomniano, do podziału elementu na warstwy i wygenerowania G-Codu użyto darmowego oprogramowania Slic3r. Do programu wprowadzono parametry urządzenia, którego zamierzano użyć do wytworzenia części tj. wymiary platformy, grubość warstwy, szybkość i temperaturę druku.



**Rysunek 2.8.** Umieszczenie elementów chwytnych na platformie drukarki (źródło – opracowanie własne)



**Rysunek 2.9.** Przekrój warstwy modelu (źródło – opracowanie własne)



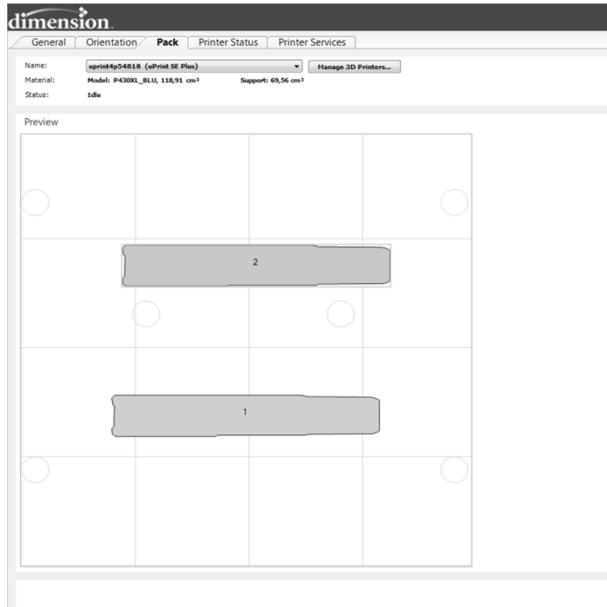
**Rysunek 2.10.** Modele chwytaka z zaznaczonymi warstwami materiału (źródło – opracowanie własne)

Po ułożeniu modeli na platformie i sprawdzeniu poprawności warstw wygenerowano plik z G-codem do sterowania głowicą drukarki 3D.

## 2.6. Wykonanie rzeczywistych modeli

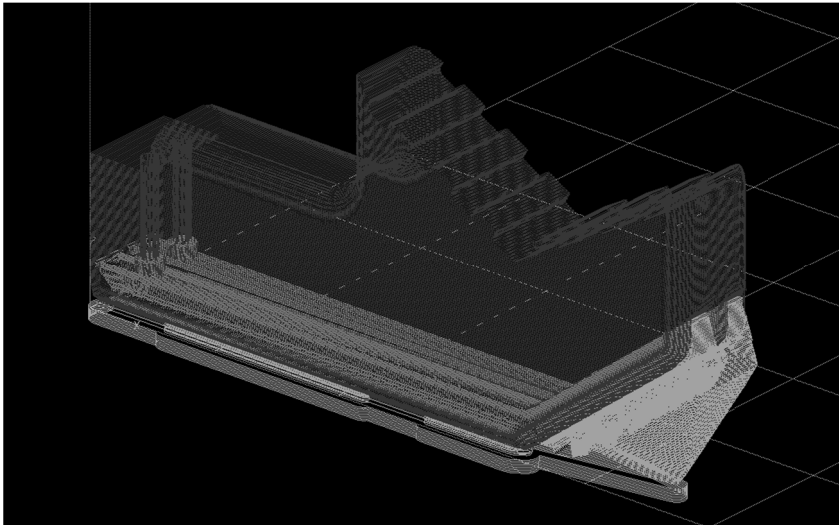
Po sprawdzeniu poprawności konstrukcji, następnie sprawdzono, czy nie występują żadne nieprawidłowości w strukturze modelu, oraz czy jest on stworzony poprawnie i część zostanie wydrukowana w zakładany sposób. Po tym procesie wygenerowano plik z G-codem do sterowania głowicą urządzenia.

Urządzenie RP wykorzystane do wytworzenia elementów posiada dedykowane przez producenta oprogramowanie sterujące CatalystEX. Program ten umożliwia automatyczne czytanie parametrów urządzenia. Wyświetlone zostaje również pole robocze, na którym można określić położenie części do druku.



**Rysunek 2.11.** Ułożenie części w programie CatalystEX (źródło – opracowanie własne)

Oprogramowanie zawiera funkcję wygenerowania ścieżek głowicy urządzenia tworzących poszczególne warstwy przedmiotu wraz z określeniem ilości oraz warstw materiału wspierczego.



**Rysunek 2.12.** Ustawienie elementu w przestrzeni roboczej z zaznaczeniem ścieżek głowicy (źródło – opracowanie własne)

Po odpowiednim ułożeniu części w przestrzeni roboczej urządzenia można uruchomić proces drukowania, program samodzielnie skomunikuje się z urządzeniem przesyłając kod sterujący. Przewidywany czas tworzenia zaprojektowanej części wyniósł siedem godzin.

### 3. Wyniki procesu

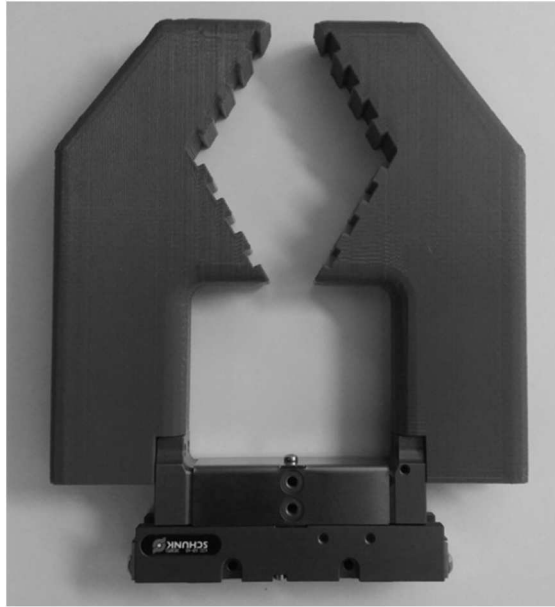
Proces budowy elementów zakończono po siedmiu godzinach. Części zostały wykonane prawidłowo, a sam proces przebiegał bez problemów. Wynikiem procesu były dwa ramiona chwytne do chwytaka pneumatycznego KGG 60-40. Elementy te razem z chwytakiem będą stanowiły kiść chwytą robota Kawasaki RS03N. Na rys. 3.1 oraz 3.2 przedstawiono otrzymane produkty, natomiast na rys. 3.3 złożenie kompletnego chwytaka.



**Rysunek 3.1.** Zdjęcie gotowego elementu (źródło – opracowanie własne)



**Rysunek 3.2.** Zdjęcie gotowego elementu (źródło – opracowanie własne)



**Rysunek 3.3.** Złożenie z chwytakiem KGG 60-40 (źródło – opracowanie własne)

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Rapid Prototyping są to metody szybkiego wytwarzania części składowych, prototypów maszyn i gotowych mechanizmów. Pozwalają one na wytworzenie gotowego wyrobu o właściwościach użytkowych i estetycznych z pominięciem tradycyjnych technologii mechanicznych. Wszystkie technologie Szybkiego Prototypowania opierają się na jednej podstawowej zasadzie. Bazują na odpowiednio przetworzonych modelach 3D. Po uproszczeniu geometrii, oraz późniejszym transformacjom modelu, można w prosty sposób z obiektu wirtualnego wytworzyć fizyczną część. Dzięki temu, w sposób czytelny istnieje możliwość zaprezentowania projektu osobom nie mającym doświadczenia w analizie modeli generowanych za pomocą programów CAD.

Generacyjne metody oparte na warstwowej budowie części pozwalają na tworzenie obiektów o dużym stopniu złożoności. Poprzez punktowe utwardzanie warstw materiału można w krótkim czasie wytworzyć model o praktycznie dowolnym kształcie. Istotne jest to, że nie zawsze jest on do uzyskania w konwencjonalnej obróbce. Szeroka gama obrabianych materiałów, oraz ciągły rozwój metod RP pozwalają na wykonywanie pełnowartościowych części bez stosowania specjalnych narzędzi i form nieodbiegających od tych wytworzonych za pomocą obróbki ubytkowej. Zapewnia to małe koszty wykonania elementów przy produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Dzięki zastosowaniu RP można skrócić cykl



rozwojowy produktu, oraz zmniejszyć nakłady na jego opracowanie, zmniejszając przy tym ryzyko inwestycyjne związane z wprowadzaniem nowego produktu na rynek.

Jedną z wad RP są ograniczone wymiary budowanych części. Obiekty większe od pola roboczego urządzenia należy złożyć z poszczególnych części, które zostaną później połączone. Wyklucza to jednak zachowanie pełnych właściwości wytrzymałościowych gotowego elementu. Kolejną z wad jest dokładność wykonania części, która zależy od parametrów urządzenia. Wysokość przekroju zależy tutaj od grubości warstwy materiału. Natomiast jakość powierzchni uzależniona jest przede wszystkim od wyboru metody. Często technologie o wysokiej jakości wykonania nie zapewniają wymaganej wytrzymałości elementu, należy więc wybrać wtedy technologię o niższej dokładności.

Powoduje to, że potrzebna jest dodatkowa obróbka wygładzająca. Sam proces budowy części metodami RP uchodzi za dość powolny, dlatego nie są one stosowane w produkcji masowej.

W przypadku prezentowanych w pracy elementów chwytowych za pomocą technologii Rapid Prototyping w prosty sposób można przejść z zaprojektowanego modelu do w pełni funkcjonalnego chwytaka. Znalazła tu zastosowanie opłacalność wykorzystania RP do produkcji jednostkowej. Dzięki komputerowym narzędziom wspomagającym projektowanie, można na podstawie posiadanych informacji zaprojektować model końcówki. Później w module numerycznym MES sprawdzić jego wytrzymałość na obciążenia, które mogą wystąpić podczas rzeczywistej pracy. Wykorzystanie metod RP niesie ze sobą pewne uproszczenia stworzonego modelu, jednakże szeroka gama oprogramowania kontrolującego poprawność uproszczonej geometrii pozwala zapobiec uszkodzeniom modelu wynikającym z teselacji. Za pomocą oprogramowania komputerowego możliwa była wizualizacja całego procesu budowy części. Po wprowadzeniu parametrów urządzenia i wygenerowaniu zaprojektowanych elementów można sprawdzić każdą warstwę w celu uniknięcia niechcianych obiektów, czy nieciągłości modelu. Oprogramowanie wykorzystywane do produkcji gotowych części samo wygenerowało G-cod sterujący głowicą urządzenia, dzięki czemu maszyna zbudowała gotowe części.

Podsumowując, technologie Szybkiego Prototypowania pozwalają w znacznym stopniu przyspieszyć proces projektowania części i mechanizmów maszyn. Dzięki nim można w prosty sposób wytworzyć poszczególne części, złożyć je i zaprezentować gotowy fizyczny prototyp urządzenia. Ciągły rozwój metod RP, a także wykorzystanie nowych materiałów, pozwala na jednostkową produkcję gotowych części, oraz mechanizmów o praktycznie dowolnym kształcie bez wykorzystania specjalistycznych narzędzi. Niestety technologia ta wiąże się z pewnymi ograniczeniami. Podstawowym jest wielkość tworzonego elementu, gdyż nie można jednorazowo wytworzyć przedmiotu większego od pola roboczego urządzenia. Kolejnymi ograniczeniami są dokładność wykonania, oraz jakość

powierzchni, jednak dzięki zastosowaniu dodatkowej obróbki istnieje możliwość zniwelowania ich wpływu na przedmiot.

## Literatura

1. Chlebus E., *Innowacyjne technologie rapidprototyping-rapidtooling w rozwoju produktu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003.
2. Chlebus E., *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2000.
3. Rudnicki Z., *Nowoczesne techniki przyspieszające wytwarzanie*, Wykład, AGH w Krakowie, <http://www.kkiem.agh.edu.pl/dydakt/Wyklady/RapidProt12.pdf> – grudzień 2015.
4. Dyrda J., Dyrda R., *O metodach RapidPrototyping słów kilka*, FORUM NARZĘDZIOWE OBERON, Nr 3/2010, s. 42-45.
5. Kulawiuk A., Penkała P., Sobaszek Ł., *Komputerowe wspomaganie zabiegów alloplastycznych na przykładzie endoprotezoplastyki stawu kolanowego*, Informatyczne systemy zarządzania, t. 6, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2015, s. 41-56.
6. Walczak M., Gąska D., Guzik M., *Characteristics of Products Made of 17-4PH Steel by means of 3D Printing Method*, Applied Computer Science, vol. 12, no. 3, pp. 29-36.
7. Zubrzycki J., Smidova N., *Computer-aided design of human knee implant*, W: Industrial and service robotics: 13th International Conference on Industrial, Service and Humanoid Robotics (ROBTEP): Conference [WOS]; [Red:] Hajduk Mikulas, Koukolová Lucia- Stafa-Zurich; Switzerland: Trans Tech Publications, 2014, s. 172-181. - (Applied Mechanics and Materials, ISSN 1660-9336; nr 913)
8. Instrukcja obsługi drukarki 3D uPrint SE Plus (dołączona do zestawu).
9. <http://gadzetomania.pl/14355,drukarki-3d-skad-sie-wlasciwie-wziely> – grudzień 2015.
10. [http://www.schunk.com/schunk\\_files/attachments/KGG\\_gesamt\\_EN.pdf](http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/KGG_gesamt_EN.pdf) – grudzień 2015.

### **Streszczenie:**

Technologie Rapid Prototyping (RP) obejmują wiele metod szybkiego wytwarzania modeli fizycznych – prototypów lub części maszyn – z pominięciem tradycyjnych technologii wytwarzania. Odlewanie, obróbka ubytkowa czy elektroerozyjna zastępowane są zaawansowanymi technikami RP. Obiekty rzeczywiste uzyskane za pomocą technologii Rapid Prototyping znajdują zastosowanie podczas prezentacji wyrobów potencjalnym inwestorom, w badaniach opinii klienta, analizie gotowego wyrobu, a także mogą być w pełni funkcjonalnymi przedmiotami.

**Słowa kluczowe:** Rapid Prototyping, modelowanie 3D, drukowanie 3D, FDM

### **Abstract:**

The purpose of the article is to discuss Rapid Prototyping techniques in machine parts designing. The article presents the authorial RP process of industrial robots gripping elements designing. First of all, the idea of Rapid Prototyping and typical RP techniques are described. Moreover, the designing process, the strength analysis and modeled parts printing process were outlined. In the final part of the paper the authors discussed the results of works.

**Keywords:** Rapid Prototyping, 3D modeling, 3D printing, FDM