

I Krajowa Konferencja Naukowa
Szybkie prototypowanie
Modelowanie - Wytwarzanie - Pomiary
 Rzeszów - Pstrągowa, 16 - 18 września 2015



Organizatorzy:



CENTRUM NAUKOWO TECHNICZNE

KLASTER SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA
RAPIDROM

Mechatroniczne prototypowanie podzespołów robota

Mechatronic prototyping robot components

JÓZEF GIERGIEL
 GRZEGORZ BUDZIK
 KRZYSZTOF KURC
 DARIUSZ SZYBICKI*

DOI:10.17814/mechanik.2015.12.560

Produkowane obecnie maszyny i urządzenia mają charakter mechatroniczny. Jest to związane z rozwojem układów, które zastępują stosowane wcześniej moduły mechaniczne. Z tego względu nowoczesne podejście do procesu projektowania i wytwarzania urządzeń musi z definicji zakładać konstrukcję układu mechatronicznego oraz związany z tym twórczy proces technologiczny

SŁOWA KLUCZOWE:robot, mechatronika, prototypowanie.

Currently manufactured machinery and equipment are mechatronic. It is related to the development of control systems that replace previously used mechanical modules. For this reason, modern approach to the design and production of mechatronic devices must, by definition, mechatronic system design post.

KEYWORDS: robot, mechatronics, prototyping.

Wstęp

Mechatroniczne wytwarzanie wspólnie z mechatronicznym projektowaniem są podstawą dla budowy nowoczesnych wyrobów. Mechatroniczne wytwarzanie oprócz zaawansowanych technologii obróbki ubytkowej i bezubytkowej, korzysta w szerokim zakresie z technologii generacyjnych (solid freeform engineering), mikro i nanotechnologii. Nowoczesny zakład produkcyjny korzysta również z wprowadzanych w ramach modernizacji, zintegrowanych systemów wytwarzania stosujących w szerokim zakresie układy mechatroniczne. Do procesów pozwalających na zminimalizowanie czasu wdrażania nowego wyrobu należy zliczyć wszystkie technologie szybkiego wytwarzania prototypów oparte na systemach komputerowych, do któ-

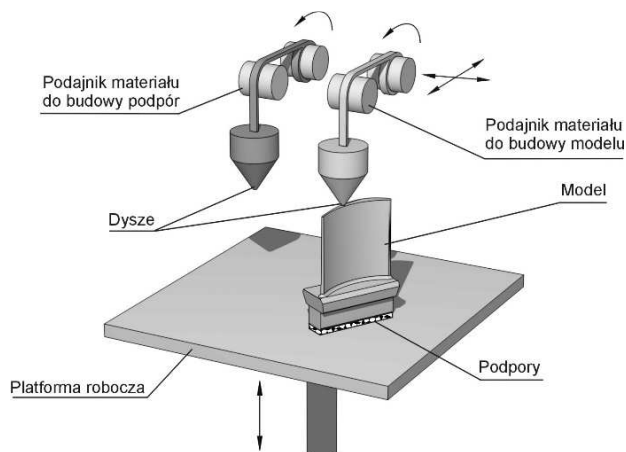
rych należą: komputerowe wspomaganie projektowania (ang. Computer Aided Design – CAD), wirtualne prototypowanie (ang. VP – Virtual Prototyping), komputerowe wspomaganie analizy (ang. CAE – Computer Aided Design), komputerowe wspomaganie wytwarzania (ang. CAM – Computer Aided Manufacturing), szybkie prototypowanie (ang. RP – Rapid Prototyping), szybkie wytwarzanie narzędzi (ang. RT – Rapid Tooling), szybkie wytwarzanie wyrobów (ang. RM – Rapid Manufacturing), inżynieria odwrotna (ang. Reverse Engineering). Metody te umożliwiają przeprowadzenie całego procesu przygotowania i wdrożenia nowego wyrobu rozpoczynając od opracowania modelu trójwymiarowego w środowisku 3D-CAD. W kolejnym etapie na podstawie modelu CAD można wykonać wizualizację obiektu w środowisku wirtualnym, jako symulacji warunków rzeczywistych (VP). Analizę wyrobu pod względem wytrzymałościowym czy kinematycznym można wykonać za pomocą oprogramowania CAE np. przy wykorzystaniu metody elementów skończonych. Przygotowanie procesu technologicznego na sterowane numerycznie obrabiarki CNC można realizować za pomocą programów lub modułów programowych CAM. Natomiast przygotowanie technologii dla przyrostowych procesów RP, RT i RM odbywa się głównie w środowisku z zastosowaniem programów obsługujących urządzenia do szybkiego prototypowania [3,4,5,7,10]. Szybkie wykonywanie prototypów można ogólnie sklasyfikować przez dwa zasadnicze sposoby wytwarzania:

- obróbkę ubytkową (skrawanie, obróbka elektroerozyjna); proces wykonywania gotowych prototypów na obrabiarzach sterowanych numerycznie,
- warstwowy przyrost tworzywa konstrukcyjnego; można tu zaliczyć wszystkie techniki RP, w których budowa prototypu następuje poprzez łączenie, spiekanie, topienie, klejenie czy polimeryzację materiału wyjściowego.

Pozwala na to metoda FDM, która polega na budowaniu modelu warstwami przez wytłaczanie podgrzanego w głowicy i upłynnionego materiału przez dyszę posiadającą mechanizm regulujący i odcinający dopływ materiału. Dysza jest umieszczona w korpusie posiadającym możliwość przemieszczeń poziomych, co umożliwia ułożenie warstwy

*prof. zw. dr hab. inż. Józef Giergiel dr h.c. multi (bartek@prz.edu.pl), prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik (gbudzik@prz.edu.pl), dr inż. Krzysztof Kurc (kkurc@prz.edu.pl), dr inż. Dariusz Szybicki (dszybicki@prz.edu.pl)

materiału w przestrzeni roboczej, zgodnie z zadaną geometrią przekroju. Nakładana warstwa zastyga natychmiast po wypłynięciu z dyszy, wiążąc się z warstwą ułożoną wcześniej (rys. 1). Podczas budowy modelu wytłaczany jest z drugiej dyszy materiał podpierający model właściwy. Materiał ten ma również za zadania połączenie właściwego modelu z platformą roboczą. Struktury podpierające tworzone razem z modelem są usuwane po wykonaniu obiektu. Możliwe jest wykonanie podpór z materiału rozpuszczalnego w wodzie, co ułatwia ich usunięcie.



Rys. 1. Zasada tworzenia modelu według metody FDM

Rysunek 2 przedstawia widok zewnętrzny urządzenia FDM typ U-Print Statasys po zakończeniu procesu budowy modeli.

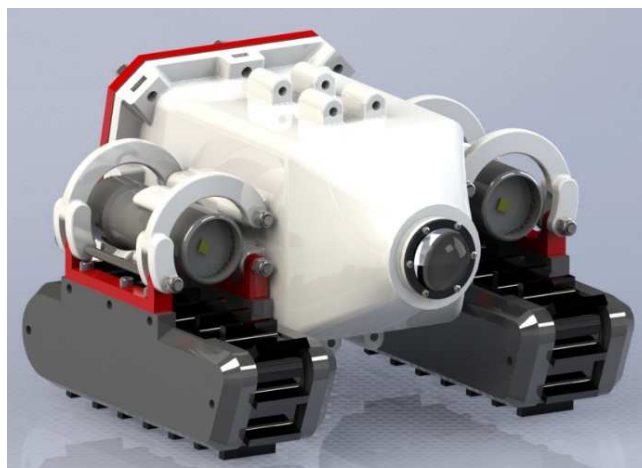


Rys. 2. Urządzenia FDM U-Print

W metodzie FDM można wykorzystywać kilka rodzajów materiału, m.in. wosk, ABS i poliwęglan. Modele z poliwęglanu posiadają wysoką wytrzymałość, jednak zastosowanie ABS-u pozwala na uzyskanie modeli o wysokiej dokładności [11].

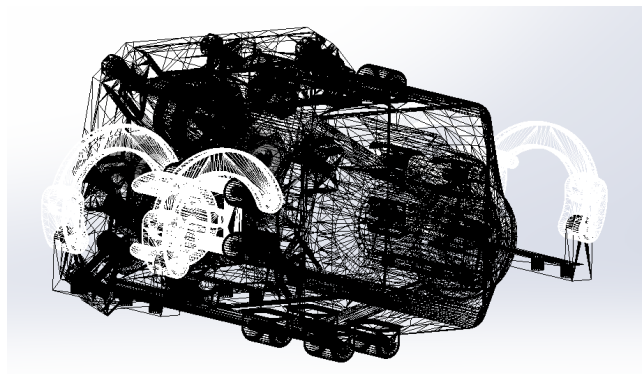
Prototypowanie podzespołów robota

Metoda FDM (ang. Fused Deposition Modeling) pozwala na wytwarzanie prototypów badawczych i funkcjonalnych. Model jest budowany warstwami przez wytłaczanie przez głowicę termoplastycznego materiału o właściwościach zbliżonych do materiałów stosowanych w seryjnej produkcji wyrobów takich jak ABS czy poliwęglan. Stosując odpowiednie ustawienia parametrów budowy modelu (grubość warstwy i gęstość ścieżki w danej warstwie) można uzyskać dużą gęstość prototypu i w tym przypadku metodę FDM można zaliczyć do technik Rapid Manufacturing. Metoda ta umożliwia wykonywanie elementów konstrukcyjnych np. podzespołów robota. Proces przygotowania danych podobnie jak w innych metodach rozpoczyna się od opracowania modelu 3D-CAD wytwarzanych elementów (rys. 3).



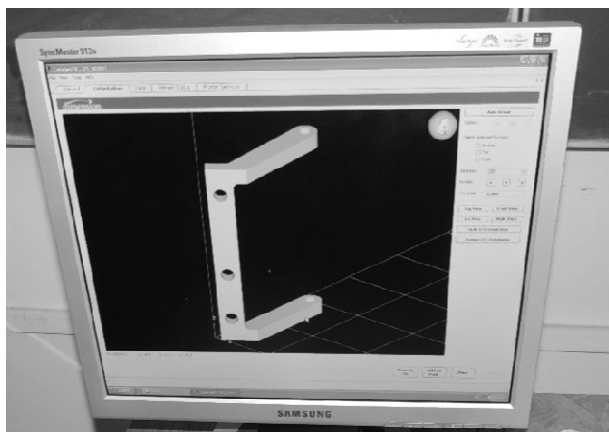
Rys. 3. Model 3D-CAD robota

Kolejnym etapem obróbki danych jest zapis modeli w formacie STL. Operację tę możemy wykonać eksportując osobno każdy element zespołu lub eksportując wszystkie elementy zespołu (rys.4). W metodzie FDM elementy podpierające model wykonane są z innego materiału niż model właściwy. Konstrukcja podpierająca w obróbce końcowej jest usuwana przez rozpuszczanie w odpowiednim roztworze. Z tego względu metoda FDM umożliwia wytwarzanie kompletnych zespołów.



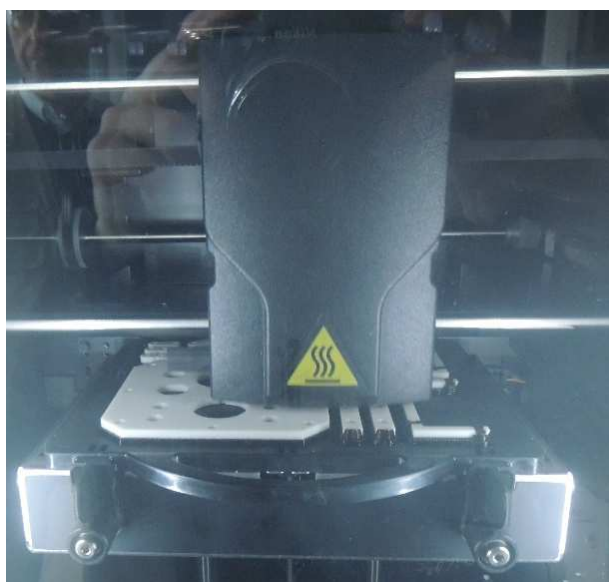
Rys. 4. Model STL zespołu robota

Dalszym etapem obróbki danych jest umieszczenie modelu STL w przestrzeni roboczej programu sterującego urządzeniem FDM. Program określa konstrukcje podpierające, dzieli model na warstwy i wyznacza ścieżki budowy poszczególnych warstw (rys.5). Przygotowane w ten sposób modele należy rozmieścić programowo na platformie roboczej urządzenia FDM.



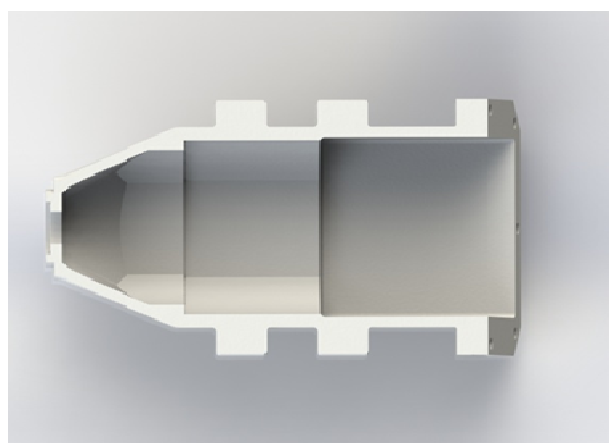
Rys. 5. Model przed podziałem na warstwy

Następnie dane do procesu wytwarzania są przesyłane do urządzenia wytwórczego. Proces budowy rozpoczyna się od wykonania warstw z materiału podpierającego, których zadaniem jest przymocowanie modelu do platformy roboczej (rys.6).

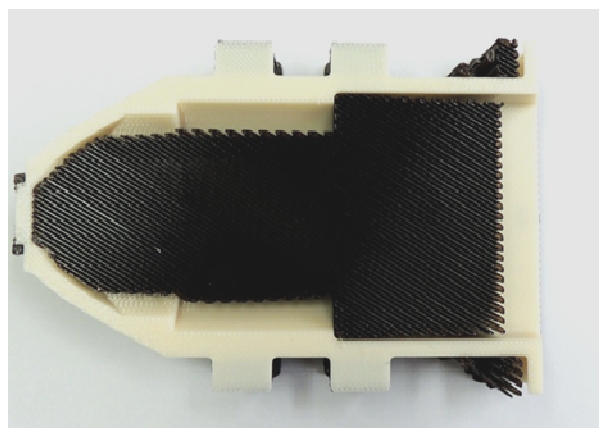


Rys. 6. Przymocowanie modelu do platformy roboczej

Po zakończeniu procesu budowy wymienną platformę roboczą należy wyjąć z komory roboczej urządzenia (rys. 10), (rys.12).

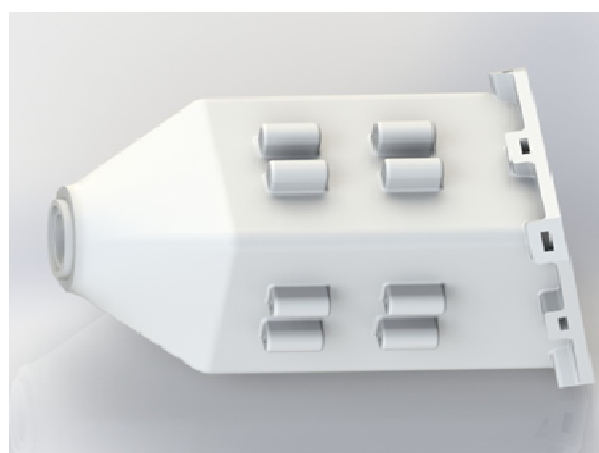


Rys. 7. Model CAD przekroju korpusu robota

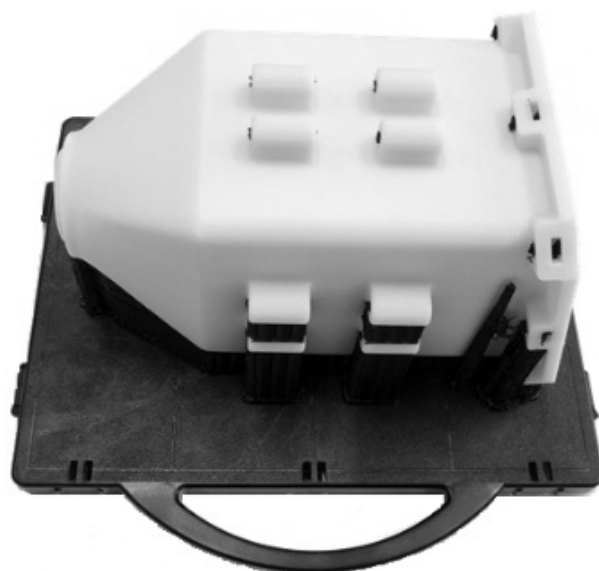


Rys. 8. Rzeczywisty przekrój korpusu robota

Na rysunku 7 przedstawiono model CAD przekroju korpusu robota, natomiast na rysunku 8 jego rzeczywisty odpowiednik podczas druku.



Rys. 9. Model CAD korpusu robota



Rys. 10. Korpus robota na wymiennej platformie roboczej po zakończeniu procesu budowy

Na rysunku 9 przedstawiono model CAD korpusu robota, natomiast na rysunku 10 wydrukowany korpus na wymiennej platformie roboczej po zakończeniu procesu budowy.



Rys. 11. Model CAD elementów robota



Rys. 12. Elementy robota na wymiennej platformie roboczej po zakończeniu procesu budowy

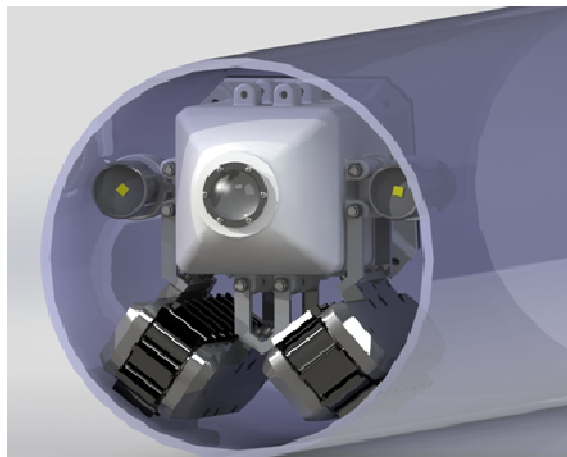
Na rysunku 11 przedstawiono model CAD elementów mocujących, natomiast na rysunku 12 wydrukowane elementy mocujące na wymiennej platformie roboczej po zakończeniu procesu budowy. Modele oddziela się mechanicznie od platformy. Usunięcie podpór od modelu właściwego wykonywane jest w procesie chemicznego rozpuszczania materiału, z których wykonane są podpory w ultradźwiękowej myjce. Oczyszczone elementy można zmontować w kompletny zespół (rys.13).



Rys. 13. Kompletny model robota wykonany metodą FDM w konfiguracji do płaszczyn

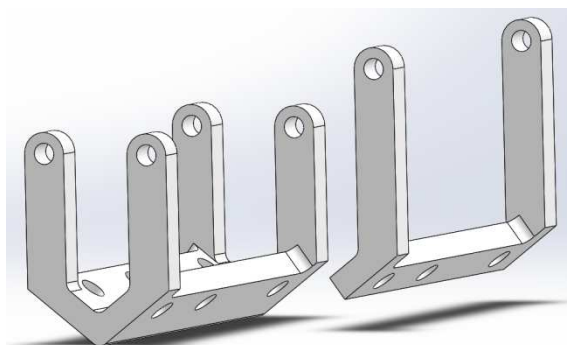
Wykorzystując techniki druku 3D możliwe było wykonanie korpusu podczas jednej operacji. W przypadku konfiguracji robota do poruszania się w rurach o średnicy 200 [mm]

(rys.14), potrzebne są dodatkowe elementy łączące korpus z napędami gąsienicowymi (rys.15).



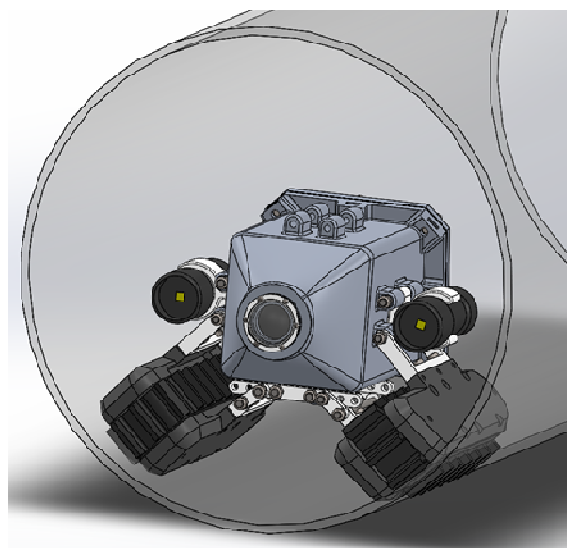
Rys. 14. Konfiguracja robota do rur o średnicy 200 [mm]

Konfiguracja ostateczna, znajdująca się na rysunku 14, spełnia przyjęte założenie i mieści się w bardzo często występujących w infrastrukturze wodno-kanalizacyjnej rurach o średnicy 200 [mm].



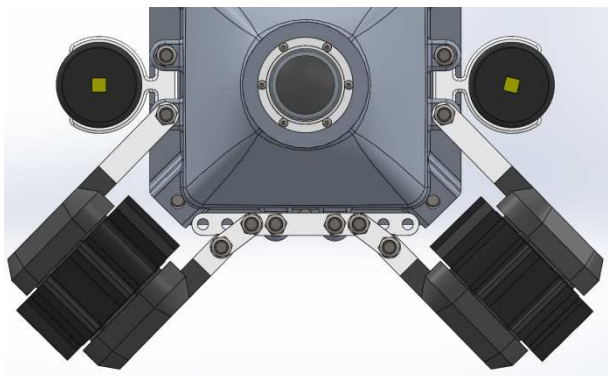
Rys. 15. Elementy mocujące w konfiguracji do rur 200 [mm]

Kolejną konfiguracją, którą przyjęto w założeniach była służąca do poruszania się w rurach o średnicy 300 [mm] i większych.



Rys. 16. Konfiguracja do rur o średnicy 300 [mm]

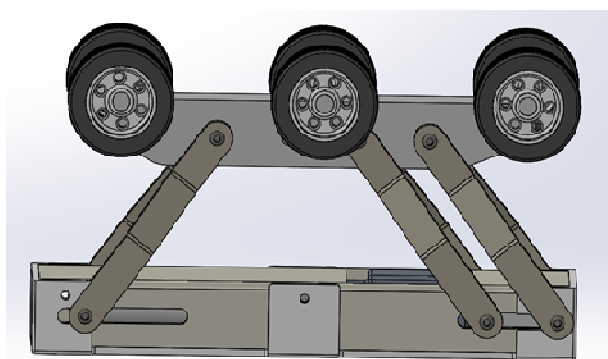
W rozwiązaniu ostatecznym (rys.16), na uwagę zasługuje mechanizm zmiany kąta pomiędzy gaśnicami pokazany dokładniej na rysunku 17.



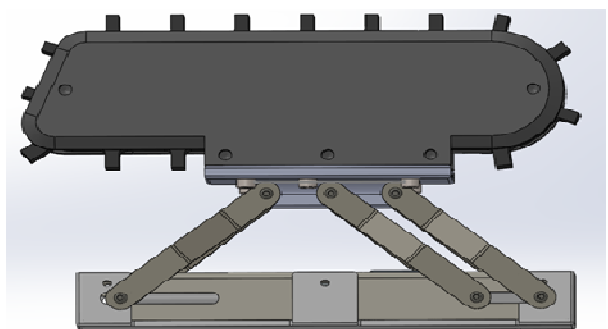
Rys. 17. Mechanizm zmiany kąta pomiędzy gaśnicami w konfiguracji do rur 300 [mm] i większej

Dzięki wykonaniu trzech par otworów istnieje możliwość łatwej zmiany kąta pomiędzy gaśnicami, co pozwala na poruszanie się robota w rurach o średnicach 300 [mm], 350 [mm], 400 [mm] i większej.

Projektując gaśnicowego robota inspekcyjnego założono, że ma on poruszać się oprócz rur poziomych również w rurach pionowych i pod kątem. Do realizacji tego założenia konieczne było zaprojektowanie specjalnego mechanizmu dociskowego, zawierającego mechanizm rozprężny. Jego zadaniem jest docisk do powierzchni rury modułu kołowego (rys.18) lub napędu gaśnicowego (rys.19).

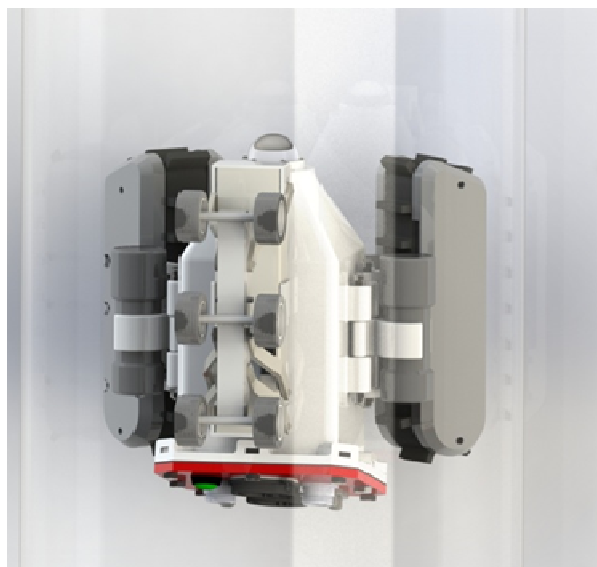


Rys. 18. Mechanizm dociskowy z modułem kołowym

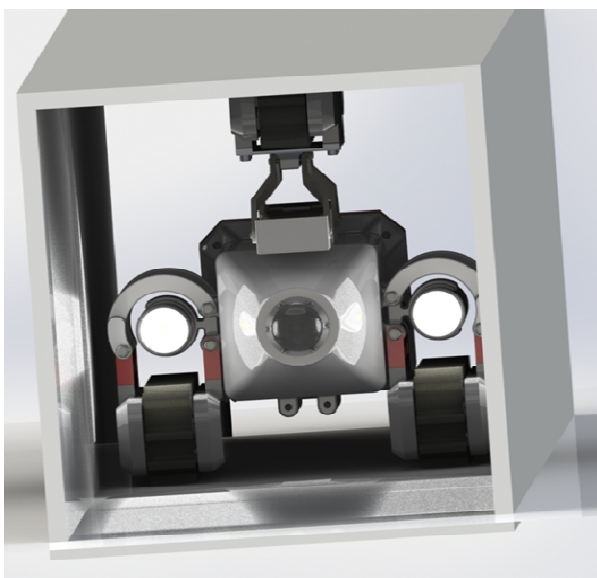


Rys. 19. Mechanizm dociskowy z gaśnicą napędową

Na rysunku 20 pokazano robot w rurze pionowej z mechanizmem dociskowym modułu kołowego, natomiast na rysunku 21 pokazano robot w kanale wentylacyjnym z mechanizmem dociskowym napędu gaśnicowego.



Rys. 20. Robot w rurze z mechanizmem dociskowym kołowym



Rys. 21. Robot w kanale wentylacyjnym z mechanizmem dociskowym napędu gaśnicowego

Mechanizm dociskowy z modułem kołowym lub z napędem gaśnicowym może być zastosowany również w rurach poziomych do zwiększenia siły uciążu.

Podsumowanie

Wyprodukowane w ten sposób podzespoły robota mają zbliżone właściwości użytkowe jak element wykonane w tradycyjny sposób z podobnego materiału. Robot z takich podzespołów może być z powodzeniem wykorzystywany do badań laboratoryjnych, jak również w warunkach użytkowych. Szybkość uruchomienia produkcji nowego wyrobu mechatronicznego ma obecnie znaczący wpływ na odniesienie przez niego sukcesu rynkowego. Proces przygotowania produkcji seryjnej musi być poprzedzony wykonaniem prototypów koncepcyjnych badawczych czy funkcjonalnych. W tradycyjnym podejściu do wdrażania nowego produktu wiąże się to z dużymi kosztami wytwarzania prototypów oraz narzędzi do ich wytworzenia. Technologie pozwalające na zminimalizowanie czasu wdrażania nowego wyrobu stanowią w chwili obecnej jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi przemysłu.

Analizując możliwości zastosowania metody szybkiego prototypowania do wytwarzania elementów układów mechatronicznych [8,9], należy brać pod uwagę miejsce modelu w procesie produkcyjnym. Miejsce to determinują często właściwości mechaniczne materiałów stosowanych danej metodzie RP.

Wykonywanie precyzyjnych elementów (np. napędów) wymaga stosowania najdokładniejszych metod szybkiego prototypowania np. SLS, SLA [3,2,1]. Pozostałe elementy konstrukcyjne mogą być wykonywane np. metodą FDM zapewniającą wystarczającą dokładność wymiarowo-kształtową oraz odpowiednie właściwości mechaniczne materiału.

Wykorzystanie metod Rapid Prototyping pozwala na znaczne skrócenie czasu wykonywania prototypu. Porównując czas przygotowania danych i wykonania prototypu koła zębatego tworzywa sztucznego o średnicy podziałowej 22 mm i wysokości 66 mm ustawionego w pozycji pionowej w urządzeniu RP (tab. 1) wybranymi metodami RP i CNC, można stwierdzić generalnie, że metody RP są szybsze [6].

Tab. 1. Porównanie czasu wykonania pojedynczego prototypu koła zębatego różnymi metodami [6]

Metoda	CNC	SLA	FDM	SLS
Czas operacji				
Czas przygotowania danych [h]	3,4	0,5	0,2	0,3
Czas wykonywania prototypu [h]	17,7	10,3	5,6	8,2
Czas sumaryczny [h]	22,1	10,8	5,8	8,5

Dokładność modeli wykonanych metodami szybkiego prototypowania oraz obróbki ubytkowej na obrabiarkach CNC przedstawiono w (tab.2). Dane w (tab.2) należy interpretować jako wartości orientacyjne, ponieważ w przypadku każdej metody produkowane są urządzenia o różnej dokładności wykonywania prototypów. Rzeczywistą dokładność wytwarzanych elementów należy określać osobno dla danego elementu, przy zastosowaniu współrzędnościowych metod pomiarowych [6].

Tab. 2. Porównanie dokładności wykonania prototypu za pomocą CNC i różnymi metodami RP [6]

Metoda	CNC	SLA	FDM	SLS
Dokładność				
Dokładność w płaszczyźnie x, y [mm]	0,020	0,020	0,050	0,020
Dokładność wzdłuż osi z [mm]	0,020	0,100	0,100	0,100

Analiza kosztów wykonania prototypów poszczególnymi metodami przyrostowymi wykazuje, że metoda SLA należy do najdroższych (spośród metod wykorzystujących, jako tworzywo do budowy modelu materiały niemetalowe), zarówno pod względem kosztów materiałów, jak i zakupu urządzenia. Drogie w zakupie są również systemy SLS. Systemy FDM należy do tańszej metody zarówno pod względem zakupu urządzenia jak również kosztów eksploatacji.

LITERATURA.

- 3D Lightyear SLA File Preparation Software. User's Guide 2007.
- Budzik G., Markowski T., Sobolak M.: Prototyping of Bevel Gears of Aircraft Power Transmission, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 14, No. 2, s. 61-66, Warszawa 2007.
- Budzik G.: Odzworowanie powierzchni krzywoliniowej łopatek części gorącej silników lotniczych w procesie szybkiego prototypowania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.

- Gawlik J., Karbowski K., Inżynieria odwrotna (Reverse Engineering) w wytwarzaniu wyrobów o złożonym kształcie, Konferencja „Nowoczesne techniki inżynierskie w szybkim rozwoju wyrobów”, Poznań 2004.
- Gebhardt A.: Rapid Prototyping, Carl Hanser Verlag, Munich 2003.
- Giergiel J., Kurc K., Giergiel M.: Mechatroniczne projektowanie robotów inspekcyjnych, monografia 263 stron, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2010.
- Liou W.: Rapid Prototyping and engineering applications – a toolbox for prototype development, Taylor & Francis Group, 2008.
- Mężyk A., Bachorz P.: Mechatronika w projektowaniu układów napędowych maszyn, Projektowanie mechatroniczne. Zagadnienia wybrane. Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Uhla. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, str. 145-158, Radom 2005.
- Mężyk A.: Mechatronika w projektowaniu gąsienicowych pojazdów specjalnych, Transp. Przem. Masz. Rob. 2010 nr 4, s. 6-10.
- Ocoś K.E.: Rapid Prototyping/Rapid Tooling – rozwój konstrukcji urządzeń, stosowanych materiałów i technologii, Mechanik 4 (2001), Warszawa 2001.
- Wohlers T.: State of the industry, Additive Layered Manufacturing: From Evolution to Revolution, Faculty for Mechanical Engineering, Maribor 2008, s. 3-9.