

Projekt innowacyjnego mechanizmu posuwisto-zwrotnego napędzającego żerdź przenośnika zabierakowego

Karolina Kopacz 

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Kraków

Streszczenie: W artykule przedstawiono projekt mechanizmu posuwisto-zwrotnego napędzającego prototyp przenośnika regolitu księżycowego. Artykuł zawiera zarówno modele CAD tego mechanizmu, jak i jego późniejsze prototypy.

W podsumowaniu przedstawiono plany na przyszłość, gdzie zostanie zaprojektowane stanowisko badawcze, którego celem będzie zbadanie charakterystyki ruchu w celu optymalizacji parametrów mechanizmu. Wyniki tych badań mogą mieć istotne znaczenie dla efektywności i wydajności przenośnika zabierakowego.

Słowa kluczowe: mechanizm posuwisto-zwrotny, napęd przenośnika zabierakowego, modelowanie 3D, prototypowanie, badania ruchu

PROJECT OF AN INNOVATIVE RECIPROCATING-REVERSING MECHANISM DRIVING THE ROD OF TAKE-UP CONVEYOR

Abstract: The article presents a project of a reciprocating-reversing mechanism driving a prototype of a lunar regolith conveyor. The article includes both CAD models of this mechanism and its subsequent prototypes. In the summary, plans for the future are outlined, where a research facility will be designed with the aim of investigating the movement characteristics for optimizing the mechanism parameters. The results of these studies may have significant implications for the efficiency and performance of the rod scraper conveyor.

Keywords: reciprocating-reversing mechanism, rod scraper conveyor drive, 3D modeling, prototyping, motion analysis

https://doi.org/10.7494/978-83-68219-20-3_3

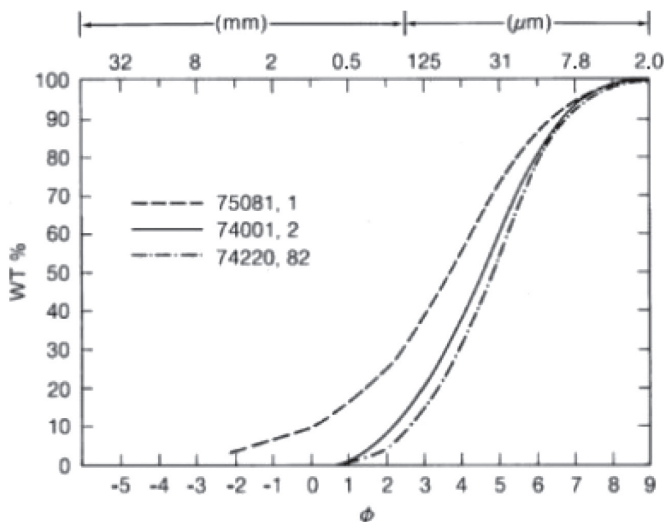
1. Wstęp

Obecnie branża kosmiczna dynamicznie się rozwija, otwierając przed nami możliwości, o których jeszcze niedawno mogliśmy tylko marzyć. Eksploracja Księżyca i potencjał wykorzystania jego zasobów w przyszłych misjach kosmicznych stanowią jeden z najbardziej fascynujących aspektów tego postępu. Wśród wielu wyzwań istotny jest problem transportu regolitu księżycowego, który może posłużyć jako cenny surowiec bazowy w kosmicznych przedsięwzięciach. Ponieważ nie istnieje urządzenie zdolne do efektywnego przenoszenia tego materiału, koło naukowe Universeh SpaceTeam AGH podjęło ambitne zadanie budowy prototypu transportera. Jednym z kluczowych aspektów tego projektu jest opracowanie mechanizmu posuwisto-zwrotnego, który umożliwi efektywny i precyzyjny transport regolitu w poziomie. W niniejszym artykule przedstawiono kontekst, cele oraz dotychczasowy postęp prac nad tym innowacyjnym rozwiązaniem, które może znacząco przyczynić się do dalszego rozwoju projektu, jakim jest transporter regolitu księżycowego.

Na powierzchni Księżyca panują surowe warunki, między innymi słaba grawitacja, sześciokrotnie mniejsza od ziemskiej, oraz brak atmosfery. Księżyc jest naturalnym satelitą Ziemi. Wykonuje on tzw. obrót synchroniczny. W ten sposób z Ziemi obserwujemy tylko jasną stronę księżyca. Z powodu braku atmosfery na powierzchni księżyca między jego oświetloną częścią a ciemną stroną występują ekstremalne wahania temperatury: od około 100°C w ciągu dnia do nawet -200°C w nocy (Żbik 2012). Występowanie tego zjawiska trzeba wziąć pod uwagę przy wyborze materiałów konstrukcyjnych transportera regolitu księżycowego. Brak atmosfery na Księżycu eliminuje siły oporu, które działałyby na transportowany materiał. Dodatkowo na powierzchni Księżyca po stronie słonecznej występuje emisja fotoelektryczna, natomiast po stronie nieoświetlonej wzrost potencjału elektrycznego powoduje wiatr słoneczny.

Powierzchnię Księżyca pokrywa gruba warstwa nieskonsolidowanego pyłu zwane go regolitem księżycowym (Taylor 2007). Jest on materiałem pylistym, który utrudnia działanie różnego rodzaju urządzeń. Regolit księżycowy nie ma swojego odpowiednika na powierzchni Ziemi. Jest to drobnodziarnista szara gleba o gęstości około $1,5\text{ g/cm}^3$, składająca się głównie z pyłu, fragmentów minerałów oraz fragmentów skał krystalicznych. Grubość warstwy glebowej księżyca wynosi od 5 m do 10 m pyłu księżycowego (Meyer 2003). Regolit w głównej mierze składa się z cząsteczek mniejszych niż 60–80 μm . Dokładny rozkład wielkości jego ziaren przedstawia rysunek 1.

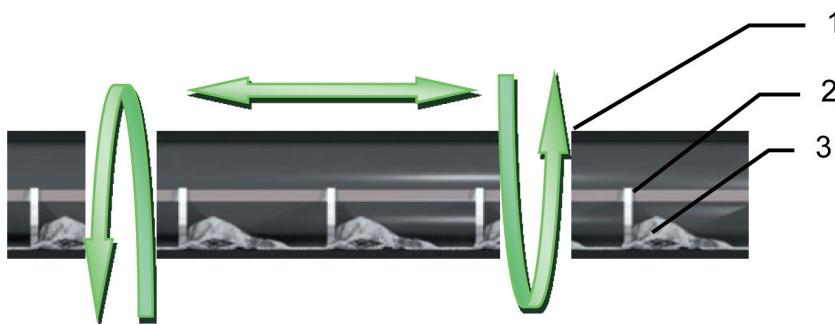
Astronauci misji Apollo 11 donoszą, że konsystencją przypomina on mokry piasek oraz wykazuje słabą płynność. Jest to materiał wysoce abrazyjny (zatem bez trudu może porysować twardą powierzchnię), adhezyjny (przylega oraz przykleja się do na przykład skafandrów, ciężko jest się go pozbyć) oraz kohezyjny (cząsteczki silnie do siebie przylegają) (Yu Huang i Hu-Zheng 2014).



Rys. 1. Rozkład wielkości ziaren regolitu (linia 75081) [3]

2. Zasada działania prototypu przenośnika regolitu księżycowego

Poziomy transport regolitu księżycowego może odbywać się w rurze, co zostało przedstawione na rysunku 2. Zielone strzałki (1) wskazują na kierunki ruchu obrotowego oraz postępowego. W środku znajduje się żerdź (2) z zamontowanymi do niej zgrzeblami w odpowiedniej odległości od siebie, tak aby regolit był transportowany porcjami. Zgrzebła mają kształt połowy koła i po przeniesieniu porcji regolitu (3) do przodu obracają się o 180° i wracają do pozycji początkowej, następnie znowu się obracają, umożliwiając transport następnej porcji regolitu do przodu.



Rys. 2. Schemat działania ruchu mechanizmu wewnątrz rury – pionowy przekrój wnętrza rury

Opisany powyżej ruch realizowany jest przez mechanizm napędowy o charakterze posuwisto-zwrotnym. Kluczowym aspektem w projekcie przenośnika jest jego modułowość

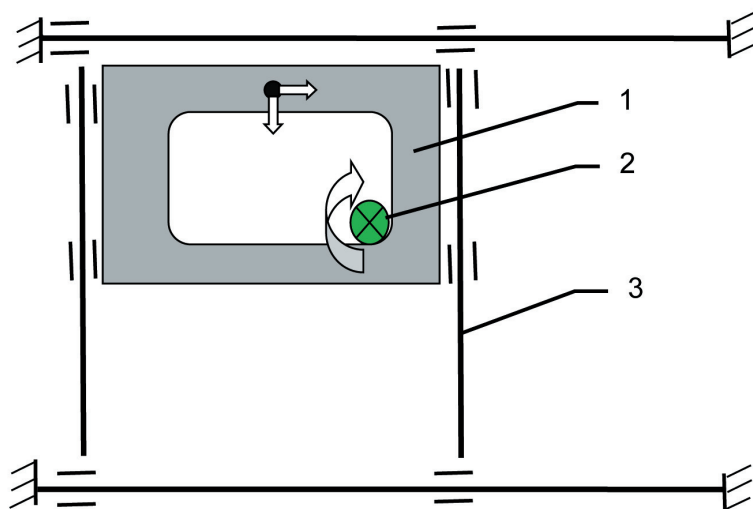
i zastosowanie jak najmniejszej liczby części w celu zminimalizowania jego całkowitej wagi, co ułatwi jego umieszczenie w docelowym środowisku księżycowym. Z tego powodu zdecydowano się na jeden mechanizm, który łączy zarówno ruch posuwisty, jak i zwrotny.

3. Mechanizm napędowy o charakterze posuwisto-zwrotnym

Obecny mechanizm posuwisto-zwrotny wykorzystywany w prototypie transportera regolitu księżycowego wykazuje pewne niedoskonałości. Jedną z nich jest zbyt duże zużycie energii oraz jego zmienna charakterystyka kinematyczna. Badania nad mechanizmem pozwoliły zauważyć aspekty, które można udoskonalić, zwiększając tym samym jego wydajność oraz optymalizując zużycie mocy. Głównym założeniem nowej koncepcji mechanizmu było ustabilizowanie jego charakterystyki kinematycznej.

3.1. Mechanizm – koncepcja pierwsza

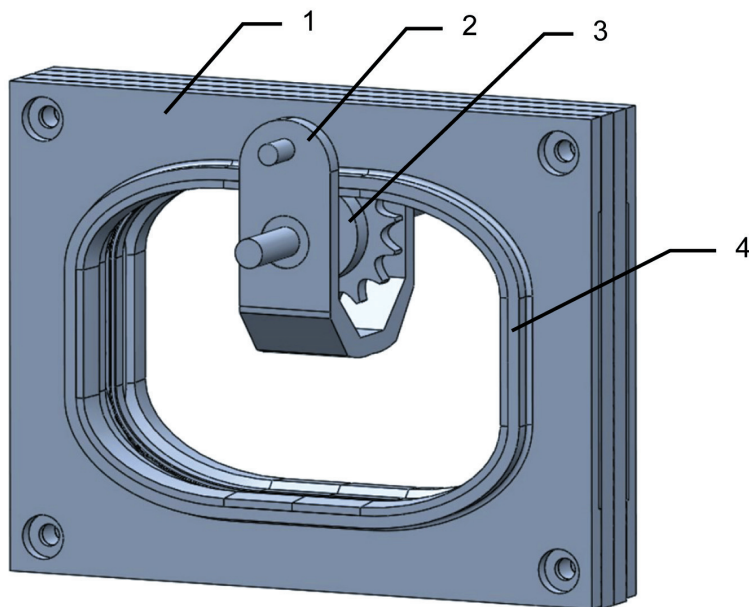
Pierwszy projekt nowego mechanizmu zakładał konstrukcję ramki z wbudowanym łańcuchem. Ruch posuwisto-zwrotny realizowany jest poprzez pionowe i poziome przesunięcia ramki, napędzanej przez koło zębate zamocowane na nieruchomym uchwycie, poruszające się po wewnętrznym łańcuchu (rys. 3).



Rys. 3. Schemat przemieszczania się ramki napędowej

Kiedy ruchoma ramka (1) przemieszcza się w poziomie, wykonywany jest ruch posuwisty żerdzi. Natomiast kiedy koło zębate znajdujące się w nieruchomym uchwycie (2)

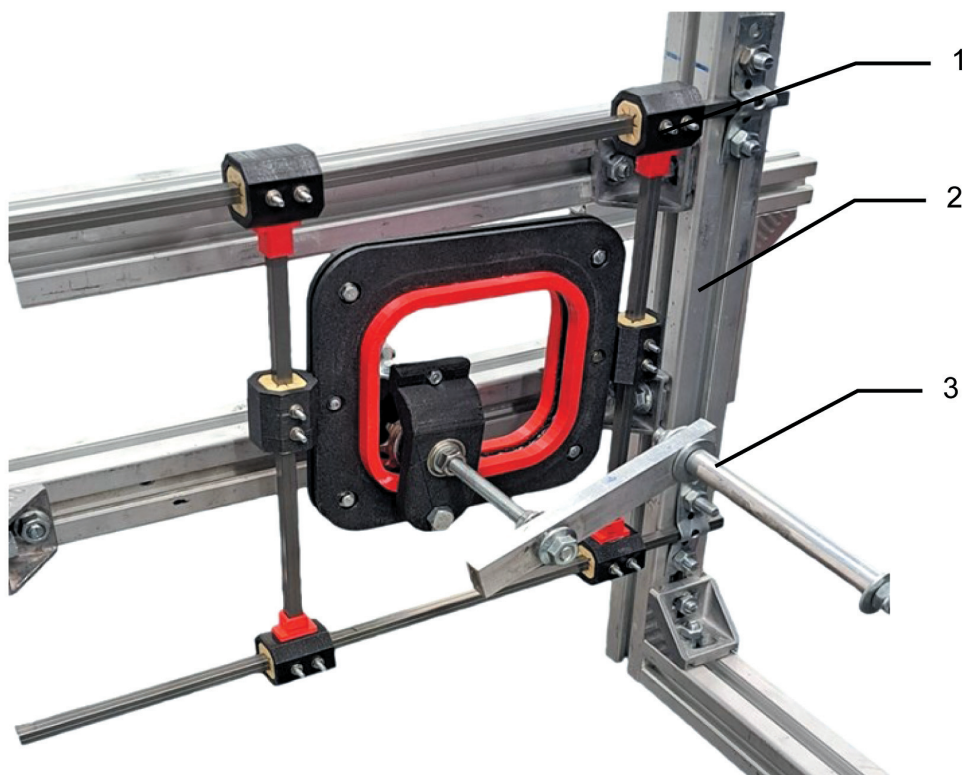
porusza się w pionie, ramka przemieszcza się pionowo, realizowany jest tym samym ruch obrotowy żerdzi. Całość ramki porusza się na prowadnicach (3). Złożenia modeli CAD przedstawione zostały na rysunku 4. Ramka składa się z części zewnętrznych (1) z prowadnicami (4) oraz części wewnętrznych z zaprojektowanym wcięciem pod łańcuch rowerowy. Drugim elementem współtworzącym całość jest wózek (2) z napędowym kołem zębatym (3). Górna część wózka porusza się po prowadnicach ramki za pomocą łożysk, spełniając w ten sposób rolę dociskową do łańcucha dla koła zębatego.



Rys. 4. Złożenia modeli CAD mechanizmu zaprojektowanego w oprogramowaniu Solidworks

Ruch posuwisto-zwrotny odbywa się przez przemieszczenia ramki. Kiedy ramka porusza się w poziomie, realizowany jest ruch posuwisty żerdzi. Natomiast kiedy koło zębate znajduje się w pionie, ramka wykonuje ruch pionowy. Pionowy ruch ramki umożliwia obrót żerdzi. Kiedy ramka przemieszcza się w poziomie, to żerdź wykonuje ruch posuwisty.

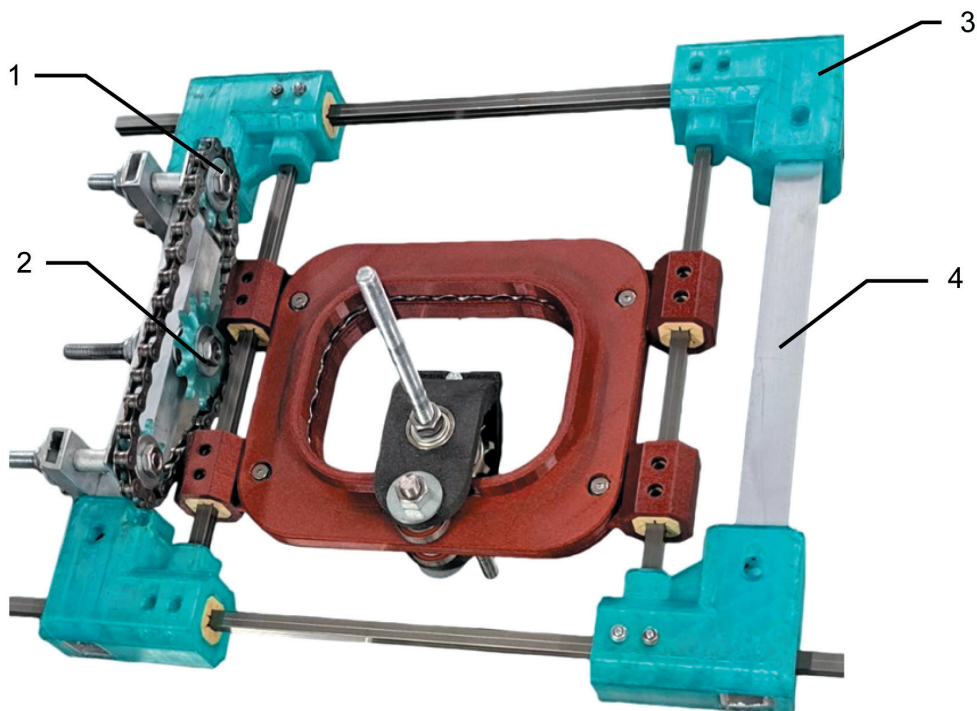
Na podstawie tej koncepcji zostały wytworzone prototypy za pomocą szybkiego prototypowania i druku 3D. Prototyp A został przedstawiony na rysunku 5. Cała konstrukcja stanowiska badawczego prototypu mechanizmu opierała się na ramie skonstruowanej z profili aluminiowych (2). Prototyp ramki został zamontowany do łożysk ślizgowych, dla których zostały zaprojektowane specjalne obudowy (1) umożliwiające połączenie łożysk z ramką oraz prowadnicami, po których mogły się poruszać. Prototyp jest wprowadzany w ruch za pomocą korbki (3).



Rys. 5. Zdjęcie prototypu A mechanizmu posuwisto-zwrotnego

Pierwszym problemem, który pojawił się podczas badań prototypu A, była jego zbyt mała sztywność. Z tego powodu podczas ruchu ramki występowały znaczne momenty obrotowe, zaburzające liniową pracę łożysk ślizgowych. Zaowocowało to ogólnym wzmocnieniem sztywności całego mechanizmu w jego kolejnej iteracji, którą przedstawia rysunek 6. Zostały zaprojektowane większe obudowy na łożyska ślizgowe (3) oraz zamontowane dodatkowe profile prostokątne w pionie (4) służące do zniwelowania momentów obrotowych. Zainstalowano też system obrotu żerdzi składający się z trzech kół zębatach oraz cięgna łańcuchowego (1). Łańcuch został połączony na stałe z ramką, a środkowe koło zębate przechodzące przez profil aluminiowy zamontowano do pręta imitującego żerdź (2). Podczas przesuwania się ramki w pionie środkowe koło zębate jest wprawiane w ruch za pomocą łańcucha i obraca się o 180° , dokładnie imitując ruch obrotowy żerdzi.

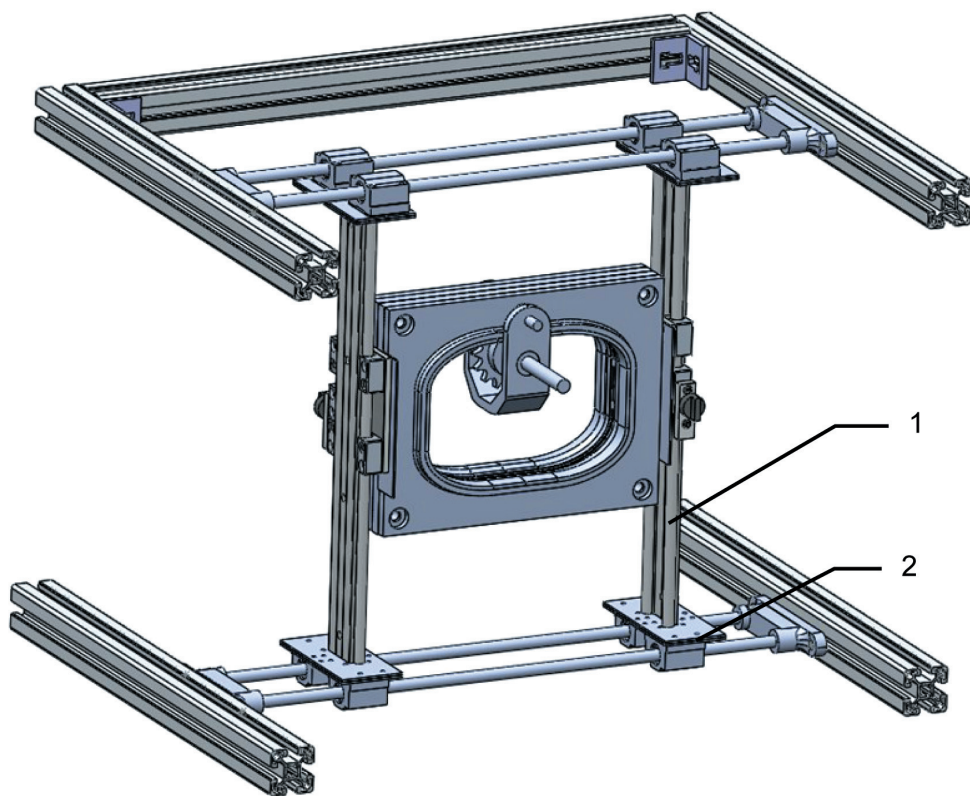
Prototyp B został poprawnie wykonany, a wstępne testy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków. Przede wszystkim zastosowanie większych, mocniejszych łożysk i prowadnic ślizgowych pozwoli zachować jeszcze lepszą sztywność, a co za tym idzie – pomoże zniwelować skutki momentów obrotowych.



Rys. 6. Zdjęcie prototypu B mechanizmu posuwisto-zwrotnego

Model wzmocnionego mechanizmu ramki został przedstawiony na rysunku 7. Konstrukcja ramki została osadzona na profilach aluminiowych, w celu wzmocnienia w pionie zamontowano szyny ślizgowe (1), a do nich specjalne łożyska. Ten model łożysk ślizgowych charakteryzował się dużo większą sztywnością niż poprzednie rozwiązania. W poziomie zastosowano podwójne profile ślizgowe oraz pary łożysk (2).

Kluczową kwestią dla całego ruchu posuwisto-zwrotnego okazał się kształt ramki. Największy wpływ na działanie ramki mają jej promienie wewnętrzne oraz długość w poziomie i w pionie. Zmiana promienia wewnętrznego ramki modyfikuje charakterystykę przejścia ruchu posuwistego na ruch obrotowy, a pozioma długość ramki jest tożsama z odlegością przesuwu zgrzebeł. Ze względu na obecność mechanizmu posuwisto-zwrotnego od początku w projekcie przenośnika regolitu księżycowego nie jest znana najbardziej efektywna charakterystyka poszczególnych ruchów. Dlatego postanowiono stworzyć drugą koncepcję i rozdzielić ruch posuwisty i zwrotny na dwa osobne ruchy. Następnie przeprowadzone zostaną badania, aby znaleźć najbardziej optymalną charakterystykę pracy tego przenośnika, co pozwoli później przenieść wyniki na pierwotną wersję mechanizmu.

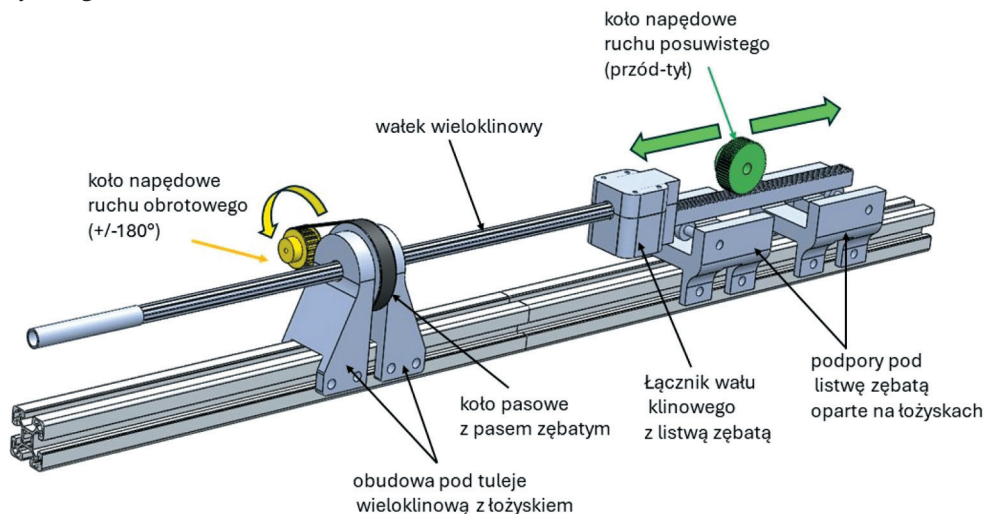


Rys. 7. Model złożenia CAD wzmocnionej koncepcji mechanizmu posuwisto-zwrotnego zaprojektowany w oprogramowaniu Solidworks

3.2. Mechanizm – koncepcja druga

Przedstawiona na rysunku 8 wersja mechanizmu przenośnika regolitu księżycowego składa się z dwóch napędów – posuwistego oraz zwrotnego. Żerdź jest połączona z wałem wieloklinowym, który za pomocą zaprojektowanego łącznika jest zespolony z listwą zębatą. Ruch posuwisty odbywa się podczas napędu koła zębatego na listwie zębatej, która podparta jest na łożyskach zamontowanych na specjalnie zaprojektowanych podporach, umożliwiających swobodne przemieszczanie się przód–tył. Natomiast ruch obrotowy realizowany jest przez wałek wieloklinowy, na który nałożony jest pierścień wieloklinowy z przymocowanym kołem pasowym. Całość podtrzymuje specjalnie zaprojektowana podpora. Za pomocą paska zębatego ruch obrotowy z koła napędowego jest przeniesiony na całą konstrukcję z wałkiem klinowym.

Odpowiednia synchronizacja obu napędów pozwoli na przeprowadzenie badań dotyczących najbardziej optymalnej charakterystyki ruchu pracy żerdzi z zamontowanymi zgrzeblami.



Rys. 8. Model złożenia CAD mechanizmu dwusilnikowego zaprojektowanego w oprogramowaniu Solidworks

4. Podsumowanie

Koncepcja mechanizmu realizującego ruch posuwisty oraz zwrotny jest nadal rozwijana. Aktualnie prototyp tego mechanizmu nie jest ostatecznie skończony. Jednak zaplanowano już kolejne kroki jego udoskonalania, na przykład badania oporów ruchu w trakcie pracy żerdzi w rurze. Zmienne, które będą sprawdzane podczas badań, to przede wszystkim charakterystyka ruchu, ale również rozstaw zgrzebeł, szybkość pracy czy zastosowanie różnych wykładzin w rurze. Po przeprowadzeniu tych badań i ustaleniu zmiennych, które pozwolą na najbardziej efektywną pracę przenośnika, rozwiązania zostaną zastosowane w koncepcji pierwszej. Po określeniu optymalnej charakterystyki pracy będzie możliwość zaprojektowania odpowiedniego kształtu ramki innowacyjnego mechanizmu posuwisto-zwrotnego.

Literatura

Meyer C., 2003, *Lunar Regolith*, [w:] Meyer C. *NASA Lunar Petrographic Educational Thin Section Set*, s. 46–48, https://www-curator.jsc.nasa.gov/Education/LPETSS/documents/CMEYER_booklet2003.pdf [dostęp: 31.10.2025].

- Taylor S.R., 2007, *The Moon*, [w:] Johnson T.V. (eds.), *Encyclopedia of the Solar System*, 2 ed, Elsevier, Amsterdam, s. 227–251.
- Yu Huang, Hu Zheng, 2014, *Mechanical characteristics of a lunar regolith simulant at low confining pressure*, *Environmental Earth Sciences*, vol. 71, no. 8, s. 3697–3703, <http://doi.org/10.1007/s12665-013-2763-7>.
- Żbik M.S., 2012, *Pył księżycowy i jego dziwne własności*, *Wszechświat*, t. 113, nr 1–3, s. 31–35.