

BADANIE STABILNOŚCI ROBOTA WCHODZĄCEGO PO SCHODACH W RÓŻNYCH STADIACH RUCHU

Michał Broda¹, Zuzanna Gołuchowska²,
Bartłomiej Gorączko³, Monika Szuba⁴

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
Inżynieria Mechatroniczna,
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

*¹mbroda@student.agh.edu.pl, ²goluchow@student.agh.edu.pl,
³bgoraczko@student.agh.edu.pl, ⁴mszuba@student.agh.edu.pl*

SŁOWA KLUCZOWE: robot wchodzący po schodach, LEGO MINDSTORMS
NXT 2.0, środek ciężkości, rozłożenie wagi, naprężenia

STRESZCZENIE

Roboty mobile coraz częściej można spotkać w naszym życiu. Od zabawek cieszących dzieci, do najbardziej skomplikowanych urządzeń ratujących ludzkie życie. Aby taki robot powstał, inżynier powinien wziąć pod uwagę wiele czynników. Jednym z nich jest stabilność, aby podczas pracy robot się nie wywrócił czy złamał. W tym artykule przedstawimy przykładowe sposoby na zbadanie stabilności robota oraz pokażemy je na przykładzie zbudowanego przez nas robota.

1. Wstęp

W ostatnich latach roboty mobilne zyskują coraz większą popularność. Począwszy od prostych w konstrukcji samochodzików na pilota, poprzez automatyczne odkurzacze [1], aż do skomplikowanych robotów mogących zastąpić człowieka nawet w najniebezpieczniejszych warunkach.

Wyzwaniem dla inżynierów projektujących takie roboty stało się nadanie robotom możliwości poruszania się po nierównym terenie – w przypadku robotów sprzątających jest to zmiana czyszczonej przez nich powierzchni, np. przejście między dywanem, a podłogą. Łazik [2] natomiast ma za zadanie przebrnąć przez górzysty teren, który musi pokonać.

Istnieją również roboty imitujące człowieka [3] (humanoidalne), które powinny potrafić wejść i zejść po schodach, wzniesieniach, a nawet pokonywać trudne tory przeszkód.

Jednak w niedalekiej przyszłości roboty mogą zastąpić człowieka w sytuacjach, które zagrażają jego życiu i zdrowiu. Przykładem takiego robota jest robot-saper [4]. Nie tylko powinien on rozbroić bombę, ale także do niej podejść, co stanowi nie lada wyzwanie.

Aby umożliwić robotowi poruszanie po nierównym terenie, inżynier powinien rozpatrzyć wiele aspektów budowy robota. Najważniejszymi z nich są rozmieszczenie środków masy w prototypie (nazywanych również środkami ciężkości) i wyznaczenie punktu położenia środka masy całego ciała, a także wyznaczenie naprężeń działających w robocie.

2. Czym jest środek ciężkości i dlaczego jest taki ważny?

Środkiem ciężkości nazywamy punkt, w którym przyłożona jest siła reprezentująca ciężar ciała [5]. Zatem, aby wyznaczyć środek masy, a co za tym idzie środek ciężkości całego ciała, należy podzielić ciało na n części, wyznaczyć położenie ich środków masy, a następnie wyznaczyć położenie środka masy całego ciała korzystając ze wzoru:

$$\mathbf{r}_{sr.m.} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \mathbf{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (1)$$

Dokładnie taki model postępowania przyjęto wyznaczając położenia środka masy robota wchodzącego po schodach w różnych stadiach jego ruchu. Jest to ważna część w projekcie, ponieważ poprawne wyznaczenie poszczególnych środków masy zapewnia stabilność robota w czasie podnoszenia poszczególnych segmentów. W przypadku pominięcia tego kroku lub niedokładnego wyznaczenia środków masy robot mógłby spaść ze schodów, niepoprawnie działać lub nawet złamać się.

3. Naprężenia – zagrożenia dla konstrukcji

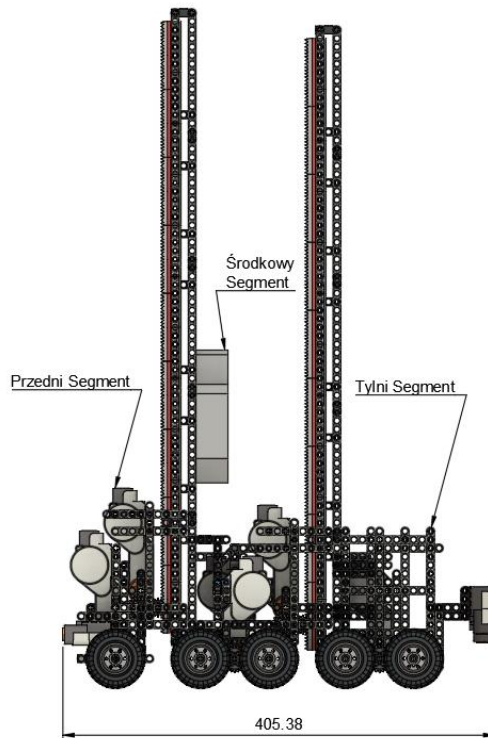
W mechanice ośrodków ciągłych naprężeniem nazywamy wielkość fizyczną określającą siły wewnętrzne w danym punkcie [6]. Naprężenia mogą stanowić zagrożenie dla konstrukcji, ponieważ powodują odkształcenia. W zależności od rodzaju materiału mogą być one pomijalne, bądź stanowić realny problem dla projektu.

4. Cele pracy

Głównym celem pracy jest wykazanie stabilności robota w czasie podnoszenia poszczególnych segmentów, a przede wszystkim w położeniach krańcowych, przy wchodzeniu robota na schody o wysokości 20cm. Dotyczy to stabilności segmentów względem siebie, a także stabilności poszczególnych elementów ze względu na pojawiające się odkształcenia.

5. Model komputerowy


Model robota wchodzącego po schodach, którego ruch rozpatrywano przedstawia Rys.1.

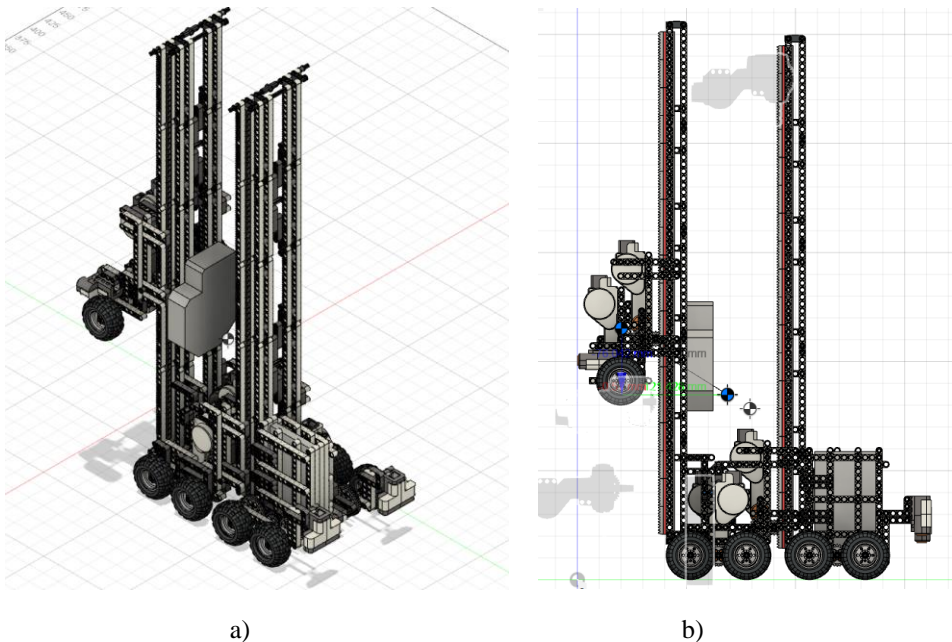


Rys.1. Rzut z prawej strony robota wchodzącego po schodach.

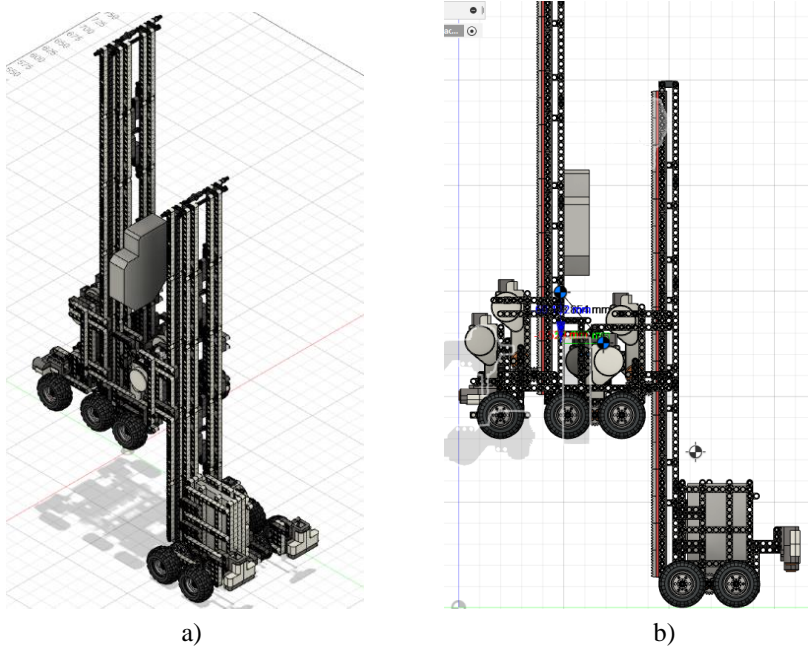
Robot poruszający się po schodach jest złożony z trzech segmentów. Każdy segment porusza się na w płaszczyźnie pionowej na przekładni liniowej. W procedurze wejścia jako pierwszy podnosi się przedni segment, robot podjeżdża bliżej schodka i unosi drugi segment opierając się przedni segment na wyższym, a tylni segment na niższym schodzie. Po wjechaniu dwóch pierwszych segmentów na wyższy schód podnoszony jest ostatni segment, a następnie robot znów podjeżdża do przodu, aby ponownie rozpocząć procedurę wchodzenia dla kolejnego schodka.

6. Symulacje komputerowe

W celu poprawnego rozłożenia masy w robocie przeprowadzono szereg symulacji w programie Autodesk Fusion 360. Na podstawie zaprojektowanego modelu robota [7] funkcja programu „Center of Mass” wyznaczyła położenie środków masy dla poszczególnych położień segmentów. Oznaczono go symbolem: .

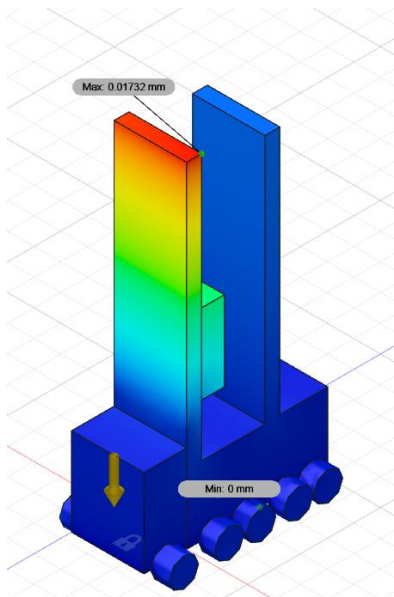


Rys. 2. Wyznaczone środki masy robota dla podniesionego pierwszego segmentu
a) widok izometryczny b) widok z boku.

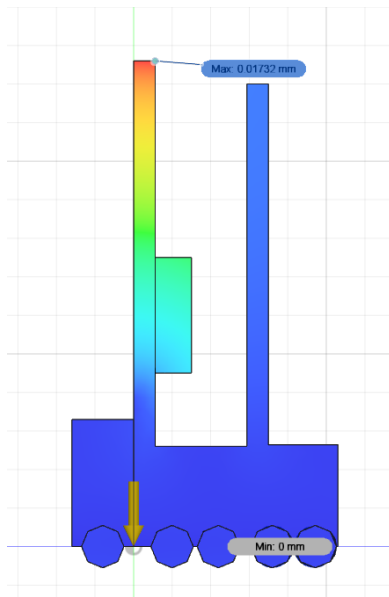


Rys. 3. Wyznaczony środek masy dla podniesionego środkowego segmentu
a) widok izometryczny b) widok z boku.

W celu upewnienia się, że robot nie złamie się w czasie wchodzenia po schodach wykonano schematyczny szkic robota 3D i w programie Autodesk Fusion 360 wyznaczono naprężenia działające na elementy w poszczególnych położeniach. Gdyby obciążenia okazałyby się zbyt duże, robot mógłby zniekształcić się lub złamać.

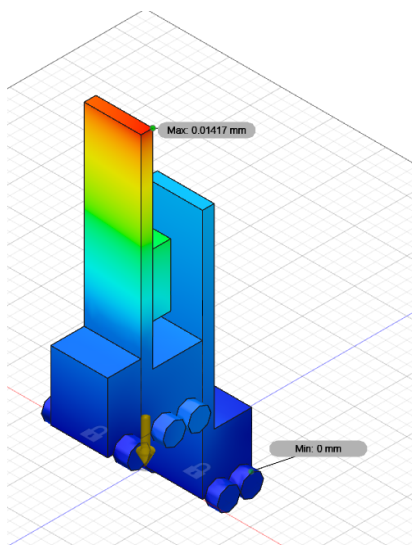


a)

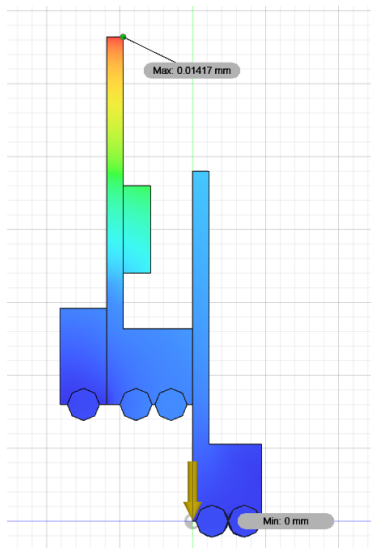


b)

Rys. 4. Wyznaczone naprężenia występujące w projekcie robota w stanie stabilnym a) widok izometryczny b) widok z boku.



a)



b)

Rys. 5. Wyznaczone naprężenia występujące w projekcie robota dla podniesionych dwóch segmentów a) widok izometryczny b) widok z boku.

7. Analiza symulacji komputerowych

7.1. Środek ciężkości robota

Z przeprowadzonej analizy komputerowej procesów podnoszenia pierwszego i trzeciego segmentu wywnioskowano, że robot się nie przewróci. Na podstawie rysunków 2a) i 3a) zauważono, że w obu przypadkach środek masy całego robota znajduje się w niewielkiej odległości od geometrycznego środka robota. Rysunki 2b) i 3b) oprócz środka masy całego robota ukazują również położenie środków masy części znajdującej się w powietrzu, a także części opartej na podłożu w czasie poszczególnych ruchów.

Na podstawie masy części i wyznaczonych odległości od środka masy całego robota stwierdzono, że robot jest w stanie wejść na schody o założonej wysokości 20cm.

Nie istnieje potrzeba przeprowadzania podobnych symulacji dla robota w stanie stabilnym oraz podczas podnoszenia środkowego segmentu, ponieważ nie ma ryzyka przechylenia się robota do przodu lub do tyłu.

7.2. Naprężenia obudowy robota

Rysunki 4. i 5. ukazują, że największe obciążenie spoczywa na przekładniach liniowych, a największe odkształcenie zauważono na ich krańcach. Wyznaczone wartości są jednak niewielkie w porównaniu do wymiarów robota i pozwalają sądzić, że materiał nie ulegnie zniszczeniu.

8. Podsumowanie i wnioski

W ramach pracy wykonano analizę komputerową rozłożenia masy oraz występujących naprężeń w modelu robota wchodzącego po schodach. W rezultacie otrzymano następujące wyniki: wchodząc na schody o wysokości 20cm robot nie wywróci się, a występujące odkształcenia nie spowodują zniszczenia konstrukcji.

Masa środkowego i tylnego segmentu jest wystarczająca, aby podnieść pierwszy segment na optymalną wysokość 20cm, jednak jego wznoszenie powoduje zwiększenie zagrożenia utraty stabilności. Można to zauważyć w analizach komputerowych środków masy i naprężeń. Podobnie podczas podnoszenia tylnego segmentu, dwa pierwsze mają wystarczającą masę, aby unieść go na wysokość schoda. Jako największy problem powyższej pracy można uznać wysoki błąd pomiarowy i przybliżenia, takie jak wykorzystanie modelu zbudowanego z bloków do sprawdzenia występujących naprężeń. Aby wyniki były bardziej miarodajne należałoby wykonać badania na dokładniejszym modelu.

Obecna forma robota jest zdolna do pokonania schodów, jednak istnieje potrzeba kolejnych prac nad zbilansowaniem ciężaru, aby robot mógł bez

żadnych problemów pokonać schodek o większej wysokości. Takim usprawnieniem jest przeniesienie powerbanka do środkowego segmentu, aby silnik nie miał problemu z podniesieniem trzeciego, najcięższego, segmentu. Jeśli zaistnieje taka potrzeba, kolejnych generacjach robota można przenieść płytkę robocora na tylną część środkowego segmentu robota tak, aby ten mógł wyjeżdżać na wyższą wysokość. Kolejnym krokiem w rozwoju projektu jest dodanie możliwości przenoszenia przedmiotów po schodach przez robota. W takim przypadku przenoszone przedmioty powinny zostać umieszczone w środkowym segmencie tak, aby nie wywróciły robota. W celu dodania takiego usprawnienia należy wykonać szereg badań w kwestii stabilności – wytrzymałości materiałów i poprawnego rozłożenia masy.

Bibliografia

- [1] Moneual <https://moneual.pl/jakie-zalety-ma-robot-odkurzajacy/> [Dostęp: 25.05.2021].
- [2] Urania <https://www.uraniam.edu.pl/misje/mars-2020> [Dostęp: 25.05.2021].
- [3] Youtube <https://youtu.be/LikxFZZO2sk> [Dostęp: 25.05.2021].
- [4] Asimo <http://www.asimo.pl/modele/talon.php> [Dostęp: 25.05.2021].
- [5] Bober T., Zawadzki J.: Biomechanika układu ruchu człowieka. Wydawnictwo BK, Wrocław, 2003, s. 144.
- [6] Wikipedia <https://pl.wikipedia.org/wiki/Napr%C4%99%C5%BCenie> [Dostęp: 25.05.2021].
- [7] Autodesk 360 <https://student61185.autodesk360.com/g/shares/SH919a0QTf3c32634dcfb03744401856e0b2> [Dostęp: 25.05.2021].