

Artur Piątek

Paweł Pszonka

Koło naukowe robotyki stosowanej i systemów wbudowanych

mgr inż. Dominik Ożóg

Opiekun naukowy

Laboratoryjny model kolejki typu monorail

Streszczenie

Poniższy artykuł przedstawia budowę, symulację oraz fizyczny model laboratoryjny wagonu kolejki typu monorail oraz toru. Została ona stworzona w celu przeprowadzenia dalszych badań nad inteligentnymi systemami transportowymi. Największa uwaga zostanie skupiona na sposobie w jaki został zaprojektowany układ napędowy, uzyskaniu stabilizacji w trakcie jazdy oraz torze po którym porusza się kolejka. Do utworzenia modeli, wszystkich części oraz zasymulowania obiektu zastosowano oprogramowanie SolidWorks, a fizyczny obiekt został wydrukowany za pomocą drukarek 3D w technologii przyrostowej FDM. Przygotowano także układy sterujące wagonem kolejki i stanowiskami zatrzymania kolejki.

Słowa kluczowe: autonomia, model badawczy, monorail, kolejka, system zarządzania transportem, druk 3D, oprogramowanie CAD.

1. Wprowadzenie

W niemal każdym większym mieście możemy skorzystać z transportu publicznego. Miejska sieć autobusów jest spotykana zdecydowanie najczęściej, a w stosunkowo wysoko rozwiniętych aglomeracjach można spotkać także metro. Istnieją także systemy transportowe oparte o pojazdy szynowe typu monorail, jednak wciąż nie są one zbyt często spotykane, co spowodowane jest wysokim poziomem skomplikowania infrastruktury oraz nierzadko, idące za tym spore koszty produkcji. Pomimo tych dwóch znaczących wad, w niektórych przypadkach budowa systemu monorail może okazać się opłacalna, jeżeli tylko oparta jest o rozsądny projekt, odpowiednio wkomponowany w przestrzeń miejską¹. Bardzo często trasa tego typu pojazdów szynowych zostaje poprowadzona nad głównymi arteriami miejskimi, co pozwala uniknąć tworzenia się dodatkowych zatorów drogowych, ale jednocześnie pociąga za sobą konieczność budowy dodatkowych wsporników². Bardzo poważnym problemem na etapie zarówno projektowania jak i budowy, są mechanizmy pozwalające na zmianę kierunku jazdy kolejki. Z tego względu bardzo często nie stosuje się ich na odcinkach trasy pomiędzy

¹ <https://www.itdp.org/2007/07/01/special-report-monorails-back-to-the-future/> (dostęp 01.02.2020).

² Vlatko Cingoski, Biljana Petrevska, *A New Long-Term Sustainable Public Transportation System for the City of Skopje*, 26th International Conference Ecological Truth and Environmental Research 2018.

kolejnymi stacjami, a jedynie na bocznych torach, w celu odprowadzenia wagonu do zajezdni. Wszystkie powyższe cechy tworzą obraz kosztownego i bardzo wymagającego projektu, jednak istnieje strefa, w której nowoczesne konstrukcje zyskują przewagę nad klasycznymi pojazdami tego typu. Wraz z gwałtownym postępem technologicznym, coraz częściej stosuje się w pojazdach napędy elektryczne. Początkowo pojawiały się systemy hybrydowe, a aktualnie montuje się także jednostki zasilane tylko i wyłącznie energią elektryczną. Pomijając napędy znane z np. samochodów osobowych, w przemyśle kolejowym stosuje się także napęd magnetyczny, znacznie usprawniający dynamikę ruchu. Bezsporną zaletą powyższych rozwiązań jest fakt, że pozostają one w zgodzie z ogólnie pojętą ekologią³. Brak częstego stosowania napędów spalinowych w rozwiązaniach typu monorail pozwala w dużym stopniu zredukować emisję zanieczyszczeń w miastach. Znaczne usprawnienie miejskiego systemu transportowego oraz często stosowane proekologiczne podejście projektantów sprawia, że w przyszłości rozwiązania monorail z pewnością będą się pojawiały coraz częściej.

W poniższym artykule został przedstawiony projekt modelu laboratoryjnego wagonu kolejki typu monorail oraz toru. Do celów jego wykonania zostało wykorzystane narzędzie CAD tj. SolidWorks. Pozwoliło ono na zaprojektowanie modeli i przeprowadzenie testowych symulacji. Modele zostały wydrukowane w technologii FDM, umożliwiającej łatwe tworzenie modeli prototypów. Końcowy obiekt może posłużyć jako platforma do przeprowadzenia badań nad autonomią transportu publicznego lub jako narzędzie dydaktyczne.

2. Przegląd stosowanych rozwiązań technologicznych

Istnieją dwie główne kategorie, na które można podzielić systemy monorail⁴. Pierwsza z nich to systemy przypominające klasyczne pociągi (straddle beam), najczęściej spotykane w Niemczech i Stanach Zjednoczonych⁵. Wagon obejmuje tor, a koła znajdują się zarówno na górnej płaszczyźnie jako główna oś przenosząca napęd, jak i na bocznych ścianach toru, zapewniając utrzymanie kierunku jazdy oraz odpowiednią stabilizację. Druga kategoria to systemy podwieszane (suspended beam). Koła są przymocowane za pomocą specjalnej konstrukcji do dachu i poruszają się wewnątrz belki prowadzącej. Rozwiązania takie są nieco rzadziej spotykane. Pierwszą tego typu kolejką jest Wuppertaler Schwebebahn w mieście Wuppertal w Niemczech. Powstała w 1901 roku i wciąż działa, przewożąc do 85 tysięcy

³ Vlatko Cingoski, Biljana Petrevska, *A New Long-Term Sustainable Public Transportation System for the City of Skopje*, 26th International Conference Ecological Truth and Environmental Research 2018.

⁴ <http://www.monocab.com/Current-Monorail-Technology.html> (dostęp 01.02.2020).

⁵ <https://structurae.net/en/structures/infrastructure/monorails/list> (dostęp 01.02.2020).

pasażerów dziennie⁶. W systemach monorail przeważają napędy elektryczne, co nie oznacza, że nie istnieją przykłady napędów z silnikami spalinowymi, jednak najczęściej są one wykorzystywane w przemyśle, ponieważ w transporcie publicznym stawia się na ekologię.

Analizując systemy monorail należy także wspomnieć o rozwiązaniach typu maglev (magnetic levitation)⁷. Dzięki zastosowaniu magnesów trwałych lub elektromagnesów, wagony unoszą się w powietrzu, przez co wyeliminowane zostaje jakiekolwiek tarcie związane z przeniesieniem napędu. Pociągi z napędem magnetycznym są w stanie dużo sprawniej przyspieszać i hamować, osiągają większe prędkości od systemów z napędem elektrycznym oraz poprzez brak wielu części mechanicznych wykorzystywanych w klasycznych rozwiązaniach są zdecydowanie bardziej ciche i płynne podczas jazdy. Pomimo wielu podobieństw, nie wszystkie systemy maglev można zaliczyć do kategorii monorail⁸. W zależności od zastosowanej technologii, wagon jest w stanie lewitować przy dowolnej prędkości lub nawet jej braku. Istnieją jednak rozwiązania, które wymagają kontaktu z torem przy niższych prędkościach i to właśnie one mogą być zaliczone do kategorii systemów monorail. Dodatkowo pociągi maglev często poruszają się po torach, które są szersze od samego wagonu, co jest niezgodne z definicją systemu monorail, w którym tor powinien być węższy od poruszającego się po nim pojazdu⁹.

Bardzo istotnym aspektem podczas projektowania systemu monorail jest zmiana kierunku jazdy wagonu. Problematyka tego zadania powodowana jest specyficzną budową systemu napędowego oraz samego toru¹⁰. Z tego względu bardzo często unika się stosowania różnego rodzaju zwrotnic, a wagony poruszają się po pętli lub tylko pomiędzy dwiema ustalonymi stacjami, jak w przypadku linii Seattle Center Monorail w stanie Waszyngton, USA¹¹. Początkowo systemy zmiany kierunku jazdy były bardzo powolne i wymagały skomplikowanych aparatur obsługowych. Aktualnie czasy te oscylują w okolicach kilkunastu sekund. Wybudowanie takiej infrastruktury drastycznie zwiększa koszty budowy całego systemu. Najczęściej wykorzystuje się je w zajezdniach, aby przetransportować wagon do magazynu w celu postoju lub wykonania koniecznych prac konserwacyjnych. W takim wypadku zastosowane rozwiązania są znacznie mniej skomplikowane, ponieważ

⁶ <https://www.wuppertal.de/microsite/en/tourism/schwebebahn/102370100000140310.php> (dostęp 01.02.2020).

⁷ Hyung-Woo Lee, Ki-Chan Kim, and Ju Lee, *Review of Maglev Train Technologies*, IEEE Transactions on Magnetism, VOL. 42, NO. 7, July 2006.

⁸ Rewati Marathe, N. D. Hajiani, *A Review of Research on Monorail as an Alternative Mass Rapid Transit System*, International Journal of Science and Research, Volume 4 Issue 2, February 2015.

⁹ <http://www.monorails.org/tMspages/WhatIs.html> (dostęp 01.02.2020).

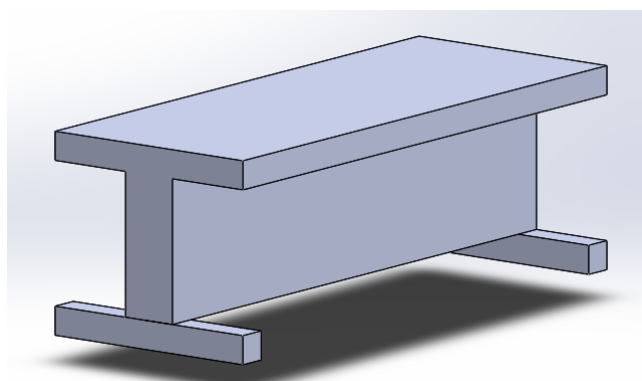
¹⁰ Hongliang Wang, Eryu Zhu and Zhuo Chen, *Dynamic Response Analysis of the Straddle-Type Monorail Bridge-Vehicle Coupling System*, Published 02 November 2017.

¹¹ <https://www.seattlemonorail.com/about-seattle-monorail/about/updated-route-map/> (dostęp 01.02.2020).

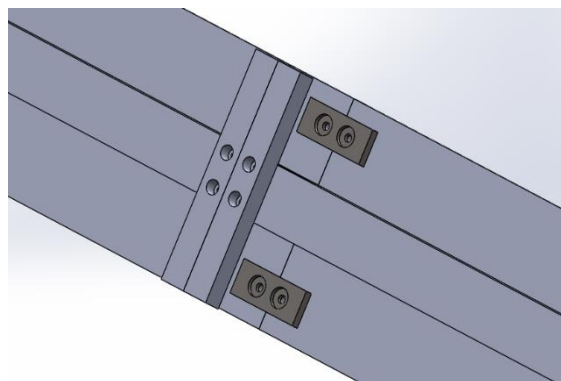
wyeliminowana jest konieczność płynnej zmiany kierunku jazdy. Możliwe staje się przeniesienie wagonu za pomocą obrotnicy lub trawersu kolejowego. Zmianę kierunku jazdy stosują między innymi takie linie jak Osaka Monorail, Walt Disney World Monorail czy Newark International Monorail. Najczęściej spotykane rozwiązania to odcinki podzielone na segmenty, będące w stanie zmieniać swoją krzywiznę, dwa sztywne odcinki dwóch różnych linii, przymocowane jednym końcem do wspólnej szyny, a drugim końcem do mechanizmu obrotowego, poruszające się jednocześnie, na zmianę łącząc się z dalszą częścią toru oraz systemy obrotowe w których część zakrętu zostaje odwrócona o 180° względem płaszczyzny na której się znajduje¹².

3. Zastosowana koncepcja

Głównym założeniem było zaprojektowanie pojazdu szynowego poruszającego się po torze, którego konstrukcja została oparta na strukturze dwuteownika. W celu zmniejszenia ilości potrzebnego filamentu oraz skrócenia czasu druku pojedynczego odcinka zdecydowano się na zastosowanie teownika oraz stabilizatorów przymocowanych na obu jego końcach. W wyniku tego zabiegu powstał 1cm prześwit, który w razie konieczności ułatwi poprowadzenie kabli zasilających i sygnałowych na drugą stronę toru. (Rysunek 1). Pierwotnie model został przystosowany do zasilania z zamontowanej wewnątrz wagonu baterii, jednak docelowo po ścianach teownika zostaną poprowadzone linie zasilające. Odcinki są ze sobą połączone za pomocą prostych, prostopadłościennych łączników (Rysunek 2).



Rysunek 1: Odcinek prosty toru.



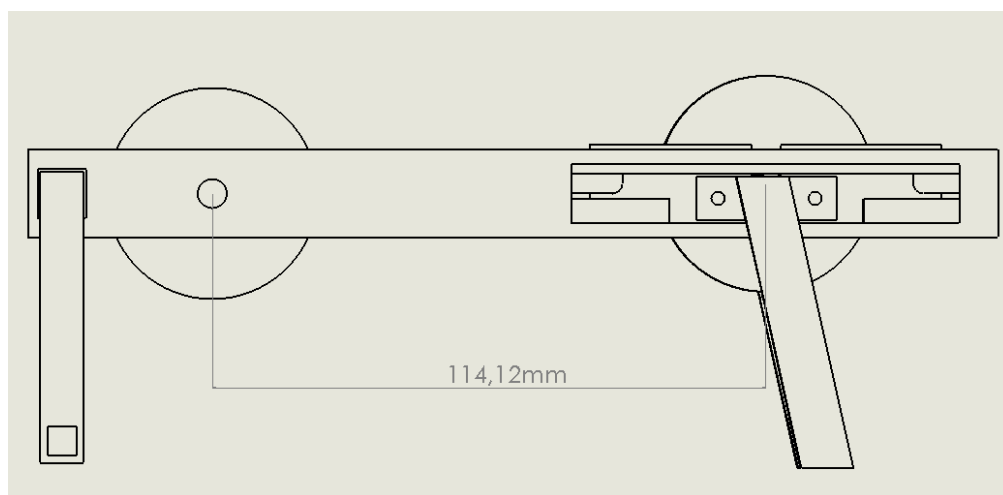
Rysunek 2: Elementy łączące.

¹² <http://www.monorails.org/tMspages/switch.html> (dostęp 01.02.2020).

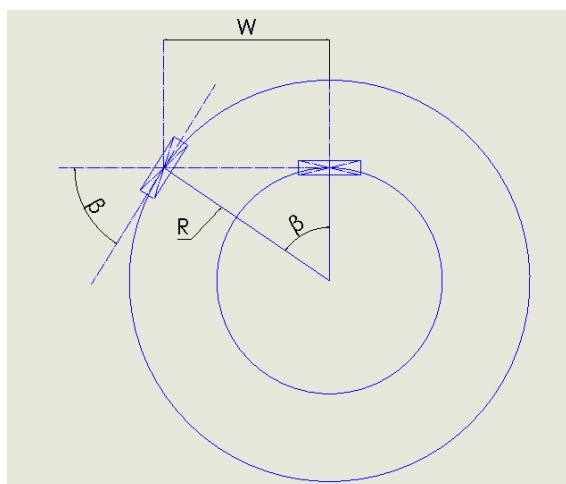
Istotną kwestią jest minimalny promień skrętu kolejki. Do jego wyznaczenia potrzebne będą następujące wymiary:

- rozstaw kół – W ,
- maksymalny kąt obrotu mechanizmu – β .

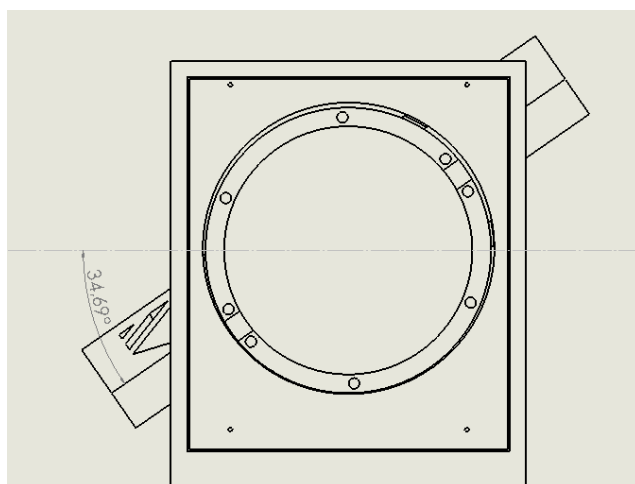
Minimalny promień skrętu



Rysunek 3: Rozstaw osi.



Rysunek 4: Minimalny promień skrętu.

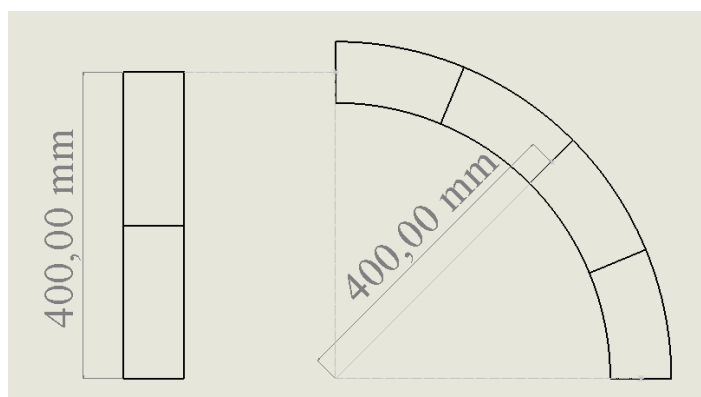


Rysunek 5: Maksymalny kąt skrętu.

$$R = \frac{W}{\sin(\beta)} = \frac{114,12}{0,569} = 200,5 [mm]$$

Przy minimalnym promieniu skrętu należy także wziąć po uwagę minimalną odległość stabilizatora bocznego od powierzchni jezdnej toru, aby nie doszło do ich kolizji w trakcie jazdy.

Wiedza o minimalnym promieniu skrętu może okazać się pomocna w przypadku konstruowania toru, którego trasa jest zmuszona przebiegać w stosunkowo zamkniętych przestrzeniach, implikując powstawanie ostrych zakrętów, jednak w znormalizowanym przypadku dążymy do zminimalizowania ilości potrzebnych odcinków toru do dwóch tj. odcinka prostego oraz jednego rodzaju zakrętu. Za pomocą tylko tych dwóch modeli powinniśmy być w stanie ułożyć względnie dowolny układ, ograniczony jedynie promieniem skrętu. Aby możliwe było połączenie ze sobą dwóch końców toru w dowolnym układzie, promień skrętu musi mieć długość dwóch odcinków prostych (Rysunek 6). W tym przypadku oznacza to, że pojedynczy zakręt będzie odchylony o kąt $22,5^\circ$.

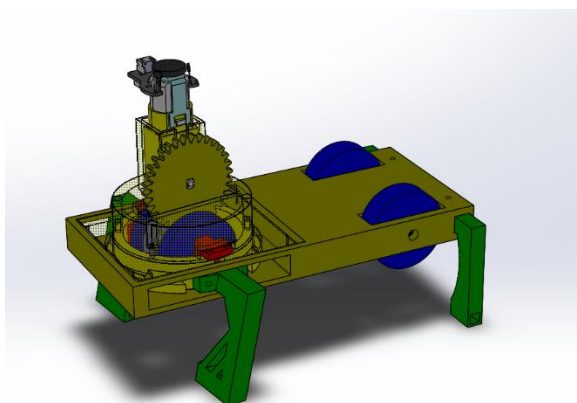


Rysunek 6: Promień skrętu zastosowany w modelu.

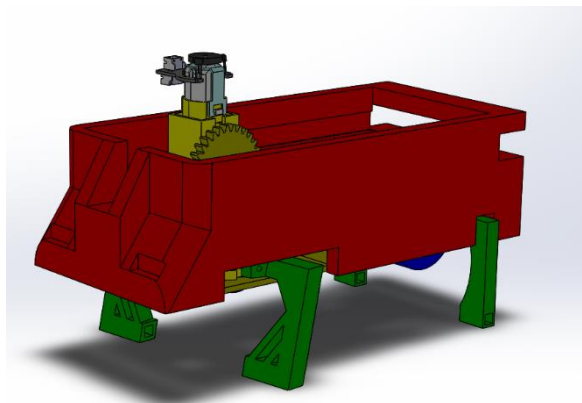
4. Budowa wagonu kolejki

Decyzja o wydrukowaniu całego modelu z pomocą drukarek 3D w technologii FDM pociągnęła za sobą konsekwencje w postaci ograniczeń w budowie niektórych z jego składowych. Stosując technologie przyrostowe, w zależności od stosowanego sprzętu, można spodziewać się bardzo dobrych jakościowo wydruków prostych brył o szerokich podstawach, jednak w przypadku bardziej niestandardowych modeli, w których występują elementy wymagające wygenerowania podpór lub części o niewielkich rozmiarach, sytuacja zaczyna się komplikować. W przypadku kąta nachylenia do którego podpory nie są generowane, złotym środkiem jest wartość 45° , ponieważ w takim wypadku każda nowa warstwa jest w 50% wspierana przez warstwę poprzednią, co jednocześnie nie stwarza zagrożenia zapadnięcia się wydruku oraz zapewnia zadowalający stosunek jakości do czasu. Jeżeli chcemy wydrukować niewielki model z wysoką dokładnością musimy się nastawić na długi czas wydruku oraz konieczność doboru odpowiedniej dyszy i warstwy filamentu. Ostatecznie, ze względu na skomplikowaną budowę niektórych mechanizmów oraz konieczność wydrukowania odpowiednio wytrzymałych modeli, nie udało się całkowicie uniknąć generowania podpór. Aby ułatwić wydruk poszczególnych części, podjęta została także decyzja o modularnym

podejściu do projektowania. Całość jest podzielona na platformę jezdnią wraz ze wszystkimi mechanizmami (Rysunek 7) oraz na obudowę wagonu (Rysunek 8), która pełni funkcję szuflady na elektronikę. Wygląd zewnętrzny na aktualnym etapie ma drugorzędne znaczenie, dlatego nie zostanie mu poświęcone zbyt wiele uwagi.

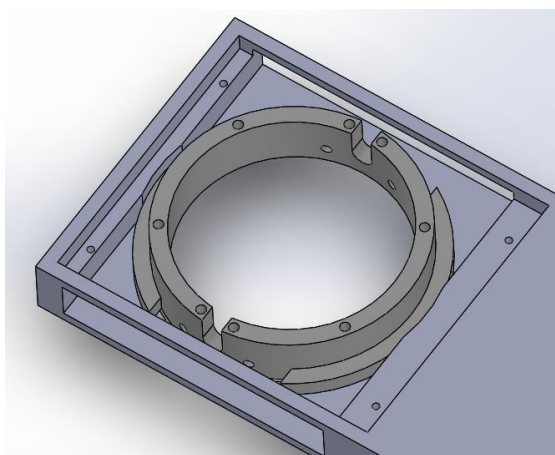


Rysunek 7: Podłoga z mechanizmem.

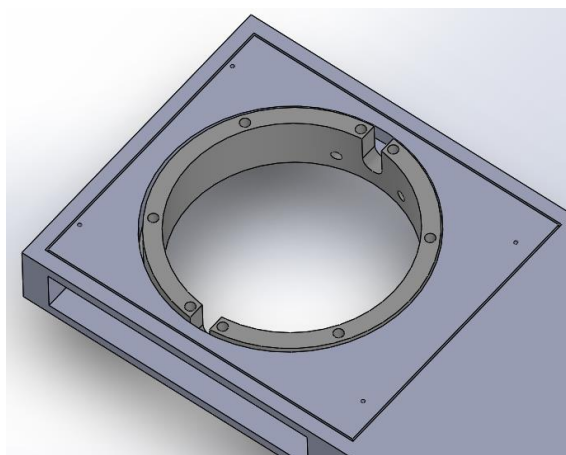


Rysunek 8: Podłoga z obudową.

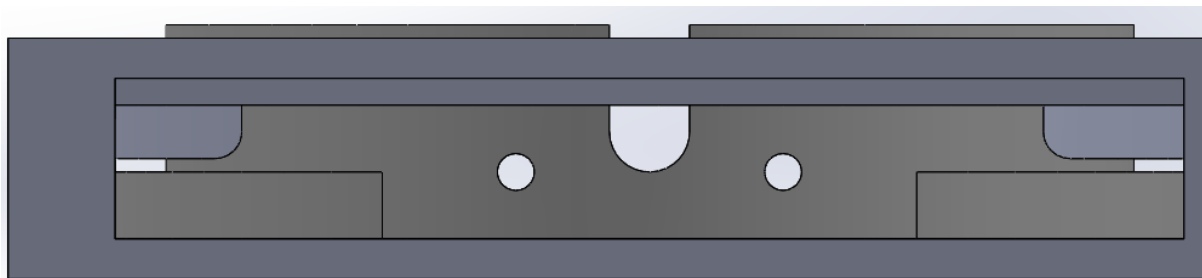
W celu poprawienia właściwości skrętnych wagonu, zastosowano mechanizm, pozwalający na częściowy obrót całego układu napędowego, znajdującego się w przedniej części platformy. Jego podstawę stanowi koło z wypustkami, które blokują ruch góra-dół (Rysunek 9). Aby blokada była możliwa, do górnej części platformy została przykręcona nakładka (Rysunek 10), która również posiada wypustki ułożone w taki sposób, aby pokrywały się z wypustkami mechanizmu. Dzięki zastosowaniu filamentu powierzchnie modeli są na tyle gładkie, że siła tarcia jak pomiędzy nimi występuje pozwala na ich płynny ruch względny, ponadto luz pomiędzy nimi można dodatkowo regulować poprzez odpowiednio mocne dokręcenie nakładki (Rysunek 11).



Rysunek 9: Spasowanie mechanizmu skrętnego.

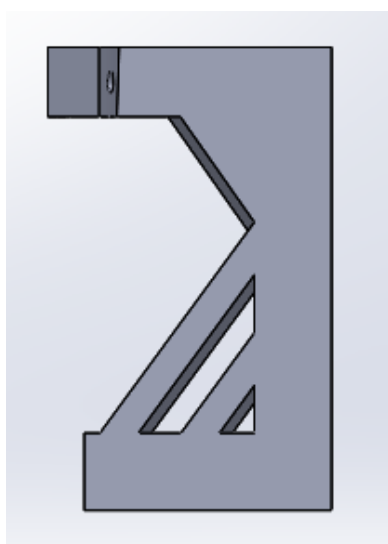


Rysunek 10: Mechanizm skrętny z nakładką.

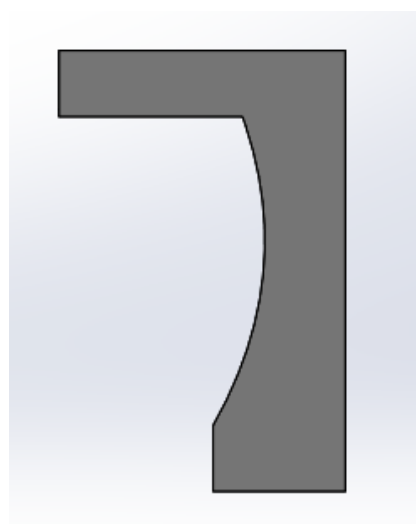


Rysunek 11: Dystans pomiędzy elementami mechanizmu skrętnego.

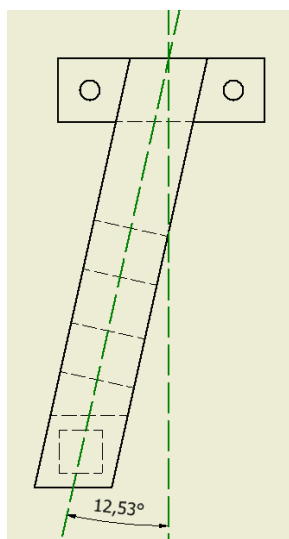
W celu utrzymania właściwej pozycji w trakcie jazdy zostały zastosowane stabilizatory. Przednie (Rysunek 12) są przymocowane do mechanizmu obrotowego, natomiast tylne (Rysunek 13) do platformy. Zarówno przednie jak i tylne stabilizatory zostały dodatkowo wzmocnione, aby zniwelować skutki naprężeń powstających w trakcie jazdy. W przednich dodane zostały poprzeczne żebra, a tylne, ze względu na przejmowanie mniejszych obciążeń, zostały jedynie odpowiednio wyprofilowane. W celu dalszego poprawienia reakcji mechanizmu obrotowego podczas pokonywania zakrętu, zastosowano kąt wyprzedzenia w stabilizatorach przednich (Rysunek 14). Zarówno stabilizatory tylne jak i przednie posiadają identyczne otwory na kwadratowy trzpień, na końcu którego została osadzona sześcienna końcówka, przez którą zostanie poprowadzona oś kół bocznych (Rysunek 15). Pomiędzy końcówką a stabilizatorem będzie znajdować się sprężyna, zapewniająca odpowiednią amortyzację całego układu.



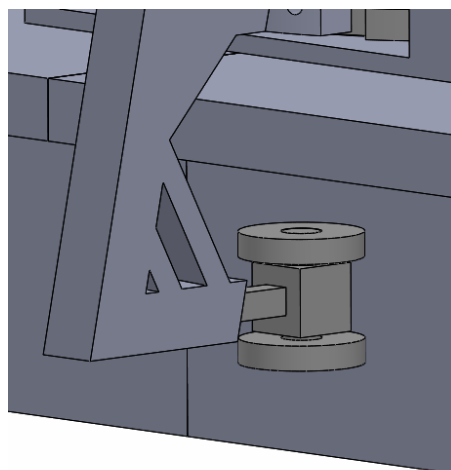
Rysunek 12: Stabilizator przedni.



Rysunek 13: Stabilizator tylny.



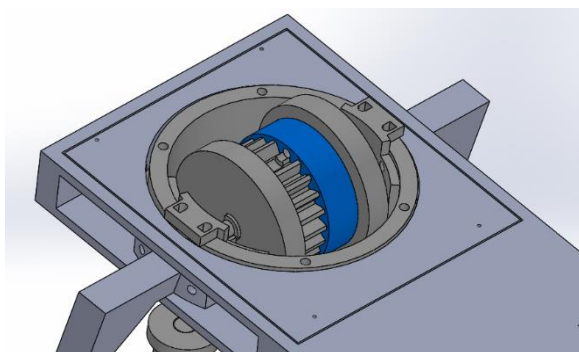
Rysunek 14: Kąt wyprzedzenia mechanizmu skrętnego.



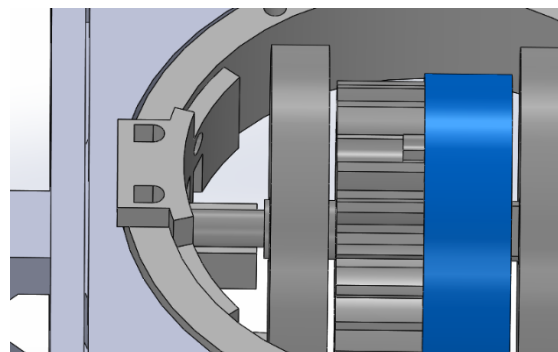
Rysunek 15: Oś stabilizatora.

5. Napęd

Wagon napędzany jest silnikiem prądu stałego, który został umieszczony bezpośrednio nad mechanizmem różnicowym. Do mechanizmu obrotowego przymocowana jest nakładka, na której znajduje się kieszeń w którą należy włożyć silnik. Aby odpowiednio go zablokować i zapobiec powstawaniu nadmiernych drgań przez kieszeń oraz silnik przeprowadzone są pręty utrzymujące silnik w odpowiednim miejscu. Ze względu na bardzo ograniczoną przestrzeń wewnątrz wagonu, niemożliwe stało się zamontowanie kół bezpośrednio na wale silnika. Konieczne było zaprojektowanie dodatkowych przekładni zębatych. Napęd zostaje przeniesiony z silnika za pomocą zębatki osadzonej na wale bezpośrednio do mechanizmu różnicowego. Jedną z części obudowy mechanizmu została zaprojektowana w postaci zębatki, aby wyeliminować konieczność dodawania kolejnych kół zębatych, w już i tak bardzo ograniczonej przestrzeni. Z obudowy mechanizmu różnicowego wyprowadzone zostały półosie, które dodatkowo opierają się na wspornikach uniemożliwiających wygięcie się całego układu w kierunku powierzchni jezdnej (Rysunek 16 i 17).

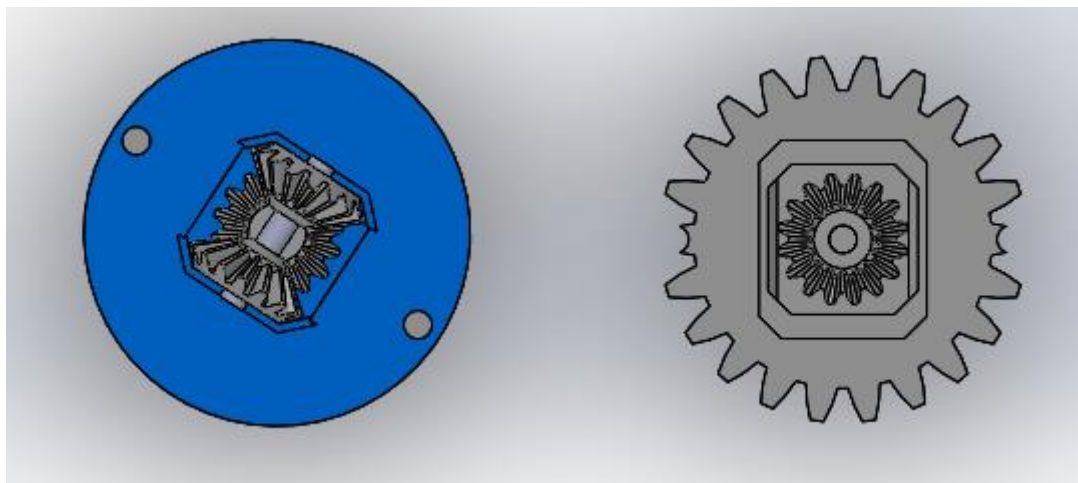


Rysunek 16: Mocowanie przelozzenia napędu.



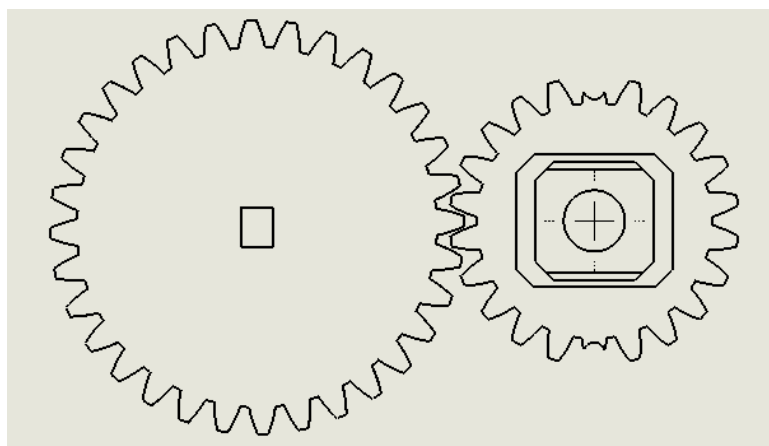
Rysunek 17: Podtrzymanie napędu.

Mechanizm różnicowy zastosowany w układzie napędowym jest standardową konstrukcją z dwoma satelitami umieszczonymi na wspólnej osi, kołami koronowymi zespolonymi z półosiami (Rysunek 18) oraz kołem talerzowym, które jak zostało wcześniej wspomniane, ze względu na konieczność minimalizacji podzespołów, jest zintegrowane z obudową, w przeciwieństwie do najczęściej spotykanej sytuacji gdzie koło talerzowe co prawda jest przymocowane do obudowy, ale jednocześnie jest oddzielną częścią mechaniczną.



Rysunek 18: Mechanizm różnicowy w obudowie.

W celu wyznaczenia prędkości liniowej, konieczne było obliczenie przełożenia przekładni zębatych na wale silnika oraz na osi napędowej. Przełożenie oraz prędkość obrotowa samego silnika zostały podane przez producenta. Do obliczeń należało wyznaczyć ilość zębów koła napędowego oraz koła napędzanego, które wynoszą odpowiednio $Z_1 = 32$ oraz $Z_2 = 22$. Koło zębate wbudowane w obudowę mechanizmu posiada dwa zęby, które zostały skrócone i wyprofilowane, aby pozostawić miejsce na wkręty łączące dwie części obudowy (Rysunek 19). Było to konieczne ze względu na bardzo małą dostępną przestrzeń, jednak nie wpłynęło negatywnie na sprawność mechanizmu.



Rysunek 19: Spasowanie zębatek.

Wartość przekładni:

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{22}{32} = 0,69$$

Maksymalna prędkość obrotowa silnika wynosi $160 \frac{obr}{min}$. Znając tę wartość, przełożenie oraz promień koła, który wynosi $22,25mm$, można obliczyć maksymalną prędkość liniową kolejki z następującego wzoru:

$$v = r * \frac{\omega}{i}$$

należy przeliczyć wartości do odpowiednich jednostek:

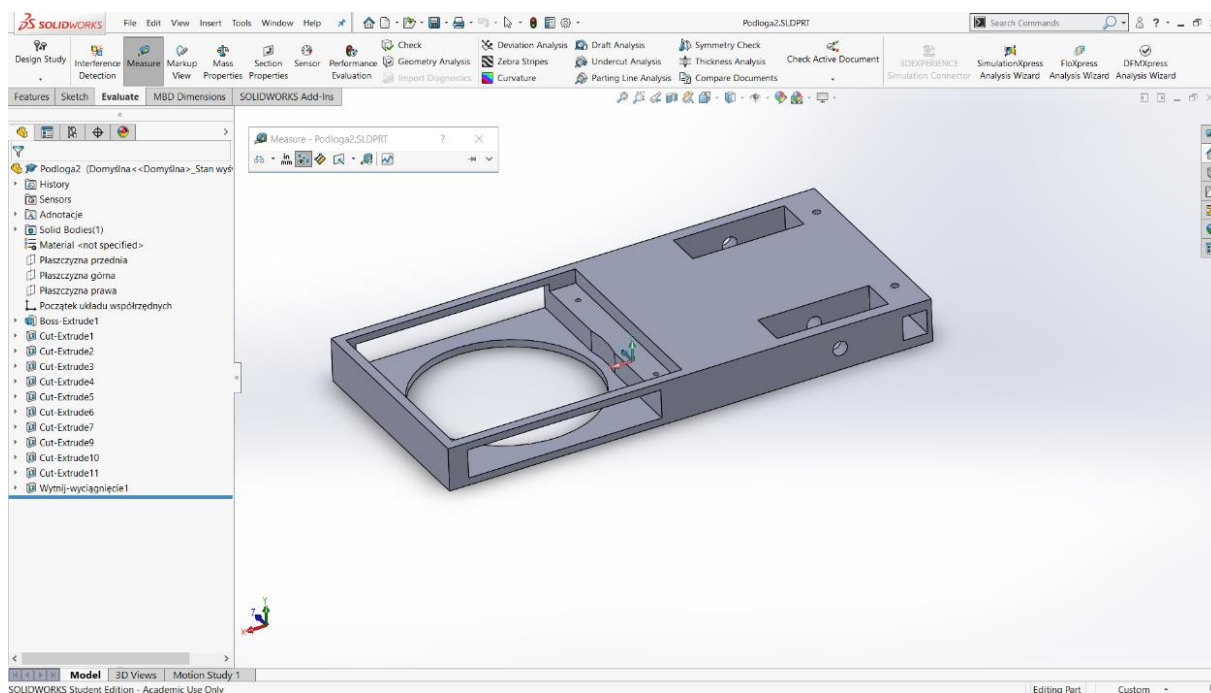
$$160 \frac{obr}{min} = 2,7 \left[\frac{obr}{s} \right]$$

ostatecznie prędkość liniowa wynosi:

$$v = 0,02225 * \frac{2,7}{0,69} = 0,087 \left[\frac{m}{s} \right]$$

6. Oprogramowanie i model laboratoryjny

Do przygotowania modeli niezbędne okazało się oprogramowanie typu CAD. Wybrany został pakiet SolidWorks zawierający narzędzia do projektowania, symulowania oraz testowania wytrzymałości (Rysunek 20). Opcja złożenia całego modelu, dała możliwość wstępnego przetestowania dopasowania poszczególnych części. Dodatkowo pod uwagę należało wziąć dokładność wydruku, która w przypadku technologii FDM wynosi $\pm 0.1mm$.



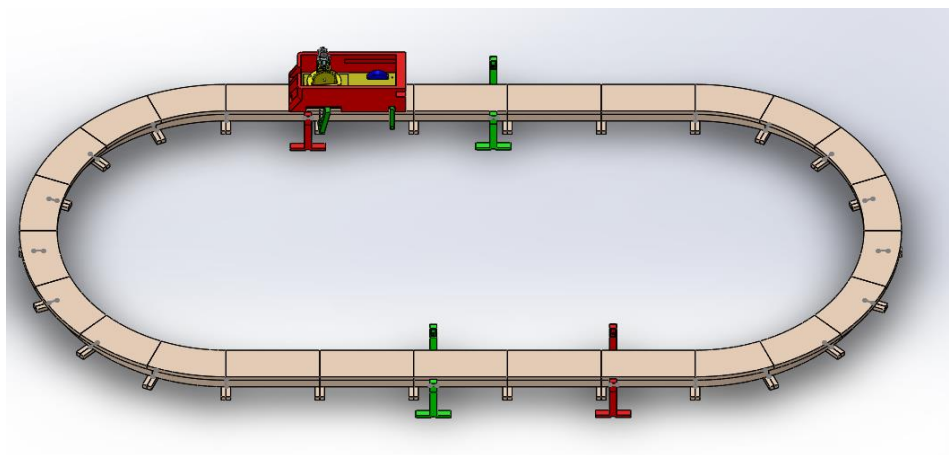
Rysunek 20: Praca w oprogramowaniu SolidWorks.

Dzięki dynamicznej symulacji można wstępnie sprawdzić zakresy ruchu oraz przetestować działanie całego modelu, bez przygotowywania rzeczywistego obiektu. Pozwoliło to na uniknięcie wielu błędów koncepcyjnych i jednocześnie zaoszczędzenie czasu, który trzeba byłoby przeznaczyć na żmudny proces ponownego drukowania poprawionych modeli. Ma to szczególne znaczenie w przypadku dużych obiektów, których wydruk zajmuje od kilku do kilkunastu godzin.

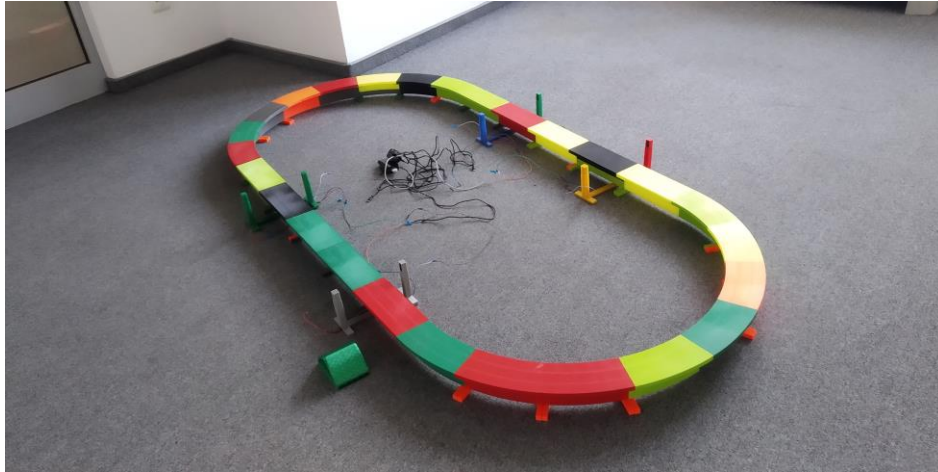
Kluczowe mechanizmy i elementy modelu przetestowane dzięki oprogramowaniu SolidWorks:

- zakres ruchu stabilizatorów bocznych, prześwit umożliwiający pokonywanie zakrętów o określonym promieniu,
- mechanizm różnicowy oraz przeniesienie napędu, przygotowane dzięki wbudowanemu generatorowi przekładni zębatych,
- stabilizacja osi napędowej wymagająca małych, ale jednocześnie odpowiednio wytrzymałych elementów,
- mechanizm obrotowy, wymagający wyjątkowo dokładnego dopasowania, aby jednocześnie zminimalizować tarcie oraz wyeliminować niepożądane ruchy góra/dół,
- obudowa pełniąca funkcję dociążającą platformę oraz posiadająca odpowiednio zaprojektowane wnęki na elementy elektroniczne,
- nakładka wraz z kieszenią na silnik, która zapewnia jego stabilizację w trakcie działania.

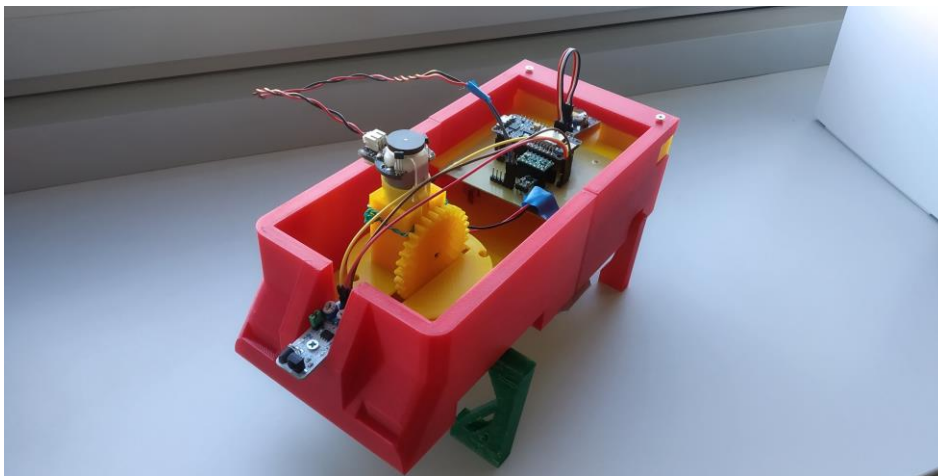
Końcowy model składa się z pojedynczej pętli (Rysunek 21 i 22). Aby zaprezentować jego działanie, przygotowano także prosty system składający się z dwóch przystanków, reprezentowanych przez czujniki przerwania wiązki IR, znajdujące się po obu stronach pętli. Po wykryciu przejeżdżającego pojazdu, wysyłają sygnały do kolejki (Rysunek 23), odpowiadające za zmniejszenie prędkości oraz za całkowite zatrzymanie.



Rysunek 21: Widok całego modelu w złożeniu.



Rysunek 22: Rzeczywisty model toru.



Rysunek 23: Rzeczywisty model kolejki.

7. Podsumowanie

Wraz z ciągłą ekspansją największych miast, zwiększającą się liczbą mieszkańców często skutkującą przeludnieniem, oraz zbyt dużą liczbą samochodów osobowych, poruszających się po ulicach, wzrasta zapotrzebowanie na alternatywne środki transportu. Linie autobusowe bardzo często są niewystarczające, ponieważ nie rozwiązują one problemu ciągle tworzących się zatorów drogowych, a z kolei budowa metra jest bardzo kosztownym przedsięwzięciem. W takim wypadku odpowiednim rozwiązaniem, może być budowa sieci kolei jednoszynowej. Zdecydowanie najlepiej jest ona w stanie wkomponować się w przestrzeń miejską, zastosowane technologie nie emitują szkodliwych spalin, a w przypadku konstrukcji nadziemnej, znacznie udrażnia ruch na najbardziej obleganych ulicach wielkich miast. W celu zaprojektowania systemu spełniającego wszystkie wymagania, konieczne jest przeprowadzenie wielu badań nad zagadnieniami związanymi z transportem miejskim, do czego niezbędny jest odpowiednio przygotowany model. Wspomniane badania mogą być rozważane na podstawie hipotetycznej kolejki funkcjonującej na terenie miasta Rzeszowa.

Literatura

1. Vlatko Cingoski, Biljana Petrevska, A New Long-Term Sustainable Public Transportation System for the City of Skopje, 26th International Conference Ecological Truth and Environmental Research 2018
2. Hongliang Wang, Eryu Zhu and Zhuo Chen, Dynamic Response Analysis of the Straddle-Type Monorail Bridge-Vehicle Coupling System, Published 02 November 2017
3. Rewati Marathe, N. D. Hajiani, A Review of Research on Monorail as an Alternative Mass Rapid Transit System, International Journal of Science and Research, Volume 4 Issue 2, February 2015
4. Hyung-Woo Lee, Ki-Chan Kim, and Ju Lee, Review of Maglev Train Technologies, IEEE Transactions on Magnetics, VOL. 42, NO. 7, July 2006.

Źródła internetowe

1. <https://www.itdp.org/2007/07/01/special-report-monorails-back-to-the-future/>, dostęp (01.02.2020).
2. <http://www.monocab.com/Current-Monorail-Technology.html>, dostęp (01.02.2020).
3. <https://structurae.net/en/structures/infrastructure/monorails/list>, dostęp (01.02.2020).
4. <https://www.wuppertal.de/microsite/en/tourism/schwebebahn/102370100000140310.php>, dostęp (01.02.2020).
5. <http://www.monorails.org/tMspages/WhatIs.html>, dostęp (01.02.2020).
6. <https://www.seattlemonorail.com/about-seattle-monorail/about/updated-route-map/>, dostęp (01.02.2020).
7. <http://www.monorails.org/tMspages/switch.html>, dostęp (01.02.2020).