



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

KATEDRA INŻYNIERII MASZYN I TRANSPORTU

Studium realizacji turystyczno-widokowej kolei linowej w Muszynie

Zamawiający:

**Miasto i Gmina Uzdrowskowa Muszyna
Ul. Rynek 31,
33-370 Muszyna**

Numer umowy w AGH:

30.30.130.257

Wykonawcy:

dr hab. inż. Tomasz Rokita, prof. AGH

dr hab. inż. Marian Wójcik

Kraków, grudzień 2020 r.

Spis treści

1. Podstawa prawna, cel i zakres opracowania	3
2. Wprowadzenie	4
3. Analiza koncepcji budowy kolei turystyczno-widokowej w Muszynie	6
4. Analiza dostępnych terenów do budowy stacji i podpór kolei	9
5. Przegląd konstrukcji i technologii kolei napowietrznych kabinowych	22
5.1 Podział ogólny	22
5.2 System napowietrznej kolei jednolinowej z dwoma grupami pojazdów	26
5.3 System napowietrznych kolei dwulinowych	31
6. Obliczenia techniczne przeprowadzone dla jednolinowej kolei grupowej	36
6.1 Dane przyjęte do obliczeń	36
6.2 Wyniki obliczeń technicznych kolei linowej	37
6.3 Wyniki obliczeń geometrycznych układu linowego kolei	39
6.4 Obliczenia sił w linii nośno-napędowej	42
7. Propozycja systemów kolei linowych dla warunków kolei widokowo-turystycznej w Muszynie	47
7.1 Napowietrzna kolej jednolinowa gondolowa o ruchu okrężnym z pojazdami wyprzęganymi	47
7.2 Napowietrzna kolej jednolinowa gondolowa o ruchu wahadłowym z grupą kabin	48
8. Podsumowanie	52

1. Podstawa prawna, cel i zakres opracowania

Podstawą prawną niniejszego opracowania jest zlecenie z Urzędu Miasta i Gminy Uzdrowskiej Muszyna z dnia 29.10.2020 r. znak RL i IŚ 271.188.2020.

Głównym celem pracy jest analiza różnych systemów napowietrznych kolei linowych kabinowych spełniających specyficzne wymagania miejskiej kolei turystyczno-widokowej. Opracowanie zawiera główne wymagania jakim powinna odpowiadać tego typu kolej oraz charakterystykę propozycji terenowych usytuowania stacji i linii trasy kolei. Analizie geodezyjnej poddano dwie linie trasy, jedną zaproponowaną przez Zleceniodawcę i drugą zaproponowaną przez Autorów opracowania. Analiza geodezyjna została uzupełniona materiałem fotograficznym ukazującym miejsca i rejon potencjalnego usytuowania stacji i podpór kolei.

Przedstawiono i oceniono pod względem technicznym różne systemy kolei napowietrznych turystyczno-widokowych.

Na tej podstawie dalszej analizie i ocenie poddano dwa systemy kolei kabinowych jednolinowych-system kolei wyprężanej o ruchu okrężnym oraz system kolei grupowej o ruchu wahadłowym. Dla wariantów trasy kolei przeprowadzono obliczenia techniczne podstawowych parametrów kolei oraz geometrii układu linowego. Na tej podstawie opracowano i wykonano dwa profile podłużne z zaznaczeniem parametrów technicznych i współrzędnych posadowienia stacji i podpór kolei. Następnie przeanalizowano proponowane systemy pod kątem technicznym i ekonomicznym.

Przeprowadzono również analizę szacunkowych kosztów inwestycji i zestawiono jej wyniki z rozbiorem na urządzenia stacyjne, elementy trasowe i obiekty budowlane tzn. fundamenty konstrukcji wsporczych.

Opracowanie kończy analiza i ocena przydatności trzech systemów kolei linowych, które Inwestor w zależności od przyjętych kryteriów wybierze do realizacji.

Należy przyjąć, że opracowane „ Studium realizacji turystyczno – widokowej kolei linowej w Muszynie” daje podstawę do dyskusji nad techniczną stroną inwestycji, oraz pozwoli przybliżyć warunki i wymagania pod adresem potencjalnego wykonawcy tej kolei.

2. Wprowadzenie

Muszyna leży na wysokości ok. 450 m n.p.m. w dolinie rzeki Poprad i dwóch jej dopływów potoków Szczawnik i Muszynka. Główna część miejscowości znajduje się na prawym brzegu Popradu. Mała część miejscowości – Zapopradzie znajduje się w zakolu Popradu na lewym brzegu.

Geograficznie Muszyna leży w odległości ok. 5 km od granicy ze Słowacją, ok. 11 km od Krynicy-Zdroju. W podobnej odległości znajduje się miejscowość Tylicz, w której są min. dwa ośrodki narciarskie. W sumie te trzy miejscowości zamieszkuje około 18.000÷20.000 tys. osób, a liczba miejsc przeznaczonych dla kuracjuszy, turystów i narciarzy wielokrotnie przewyższa liczbę stałych mieszkańców. Uzdrowisko Krynica-Zdrój jest połączone funkcjonalnie z Żegiestowem. W pobliżu Muszyny znajdują się stacje narciarskie: Krynica-Zdrój Jaworzyna, Krynica Słotwiny, Krynica – Henryk Ski, Dwie Doliny Muszyna-Wierchomla.

Muszyna wraz z Krynica-Zdrój, Tyliczem, Powroźnikiem i Wierchomlą stanowią rejon uzdrowiskowo – turystyczno - narciarski o znaczeniu i możliwościach znaczących w skali kraju. Bardzo istotnym jest rozwój infrastruktury pozwalającej na uatrakcyjnienie pobytu turystom i kuracjom przebywającym w tych miejscowościach latem. Jeżeli przyjąć, że infrastruktura urządzeń przeznaczonych do turystyki zimowej w tym rejonie jest dość dobra to zdecydowanie mniejsze możliwości do wykorzystania ma turysta przybywający w ten rejon latem.

Wiele urządzeń głównie przeznaczonych do uprawiania sportów zimowych może być wykorzystanych również latem. Dobrym przykładem są tu min. Kolej Gondolowa na Jaworzynę Krynicką czy Kolej krzesiówkowa na Słotwinach oraz wieża widokowa. Natomiast urządzeniem wykorzystywanym głównie latem jest kolej linowa-terenowa na górę Parkowa w Krynicy. Stąd pojawia się koncepcja budowy kolei turystyczno-widokowej w mieście Muszyna, która przyciągnęłaby do tej miejscowości przede wszystkim turystów i kuracjuszy latem. Oczywiście jest również uzupełnienie tej kolejki infrastruktury wykorzystywanej przez turystów i narciarzy zimą.

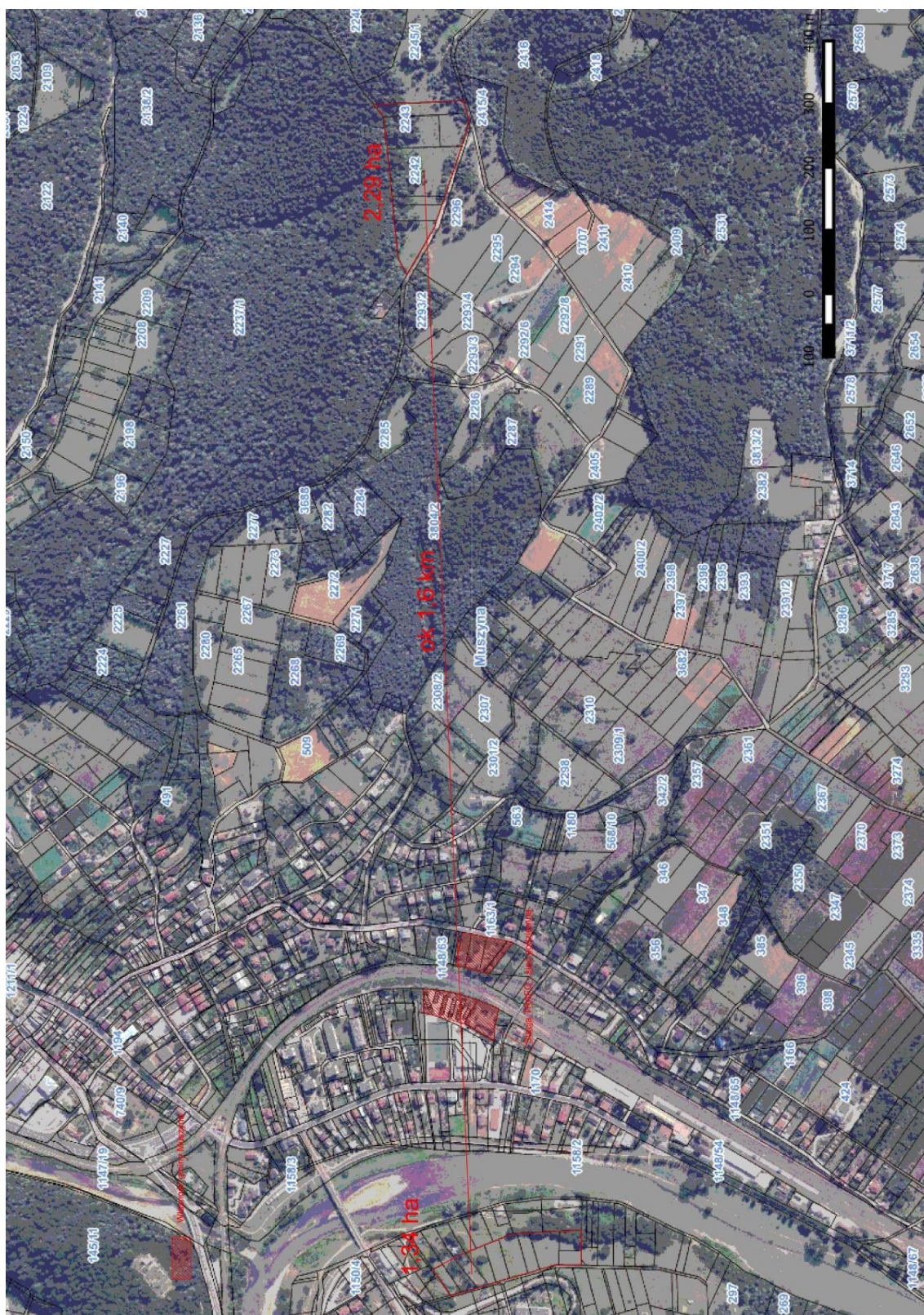
Istniejące Centrum Rekreacji i Sportu Zapopradzie zwane Ogrodami Zmysłów – Ogrodami Sensorycznymi jest parkiem przystosowanym nie tylko do odpoczynku na łonie natury, ale przede wszystkim do celów terapeutycznych i edukacyjnych.

Muszyńskie ogrody sensoryczne zaprojektowano tak, aby w zintensyfikowany sposób oddziaływać na węch, wzrok, dotyk, słuch i smak. Osiem stref tych ogrodów tj. zdrowia, zapachu, dźwięku, zapachowo-dotykowe, smaki, wzroku pozwalają na realizację funkcji poznawczych w szerokim znaczeniu dla odwiedzających. Na szczycie Suchoj Góry znajduje się wieża widokowa, z której rozciąga się bardzo ciekawy widok na okolicę.

Opisane powyżej „Ogrody” są jedną z bardziej interesujących atrakcji letnich dla turystów i kuracjuszy odwiedzających Muszynę. Propozycja i zamiar budowy kolei linowej ze stacją początkową usytuowaną w pobliżu wejścia do „Ogrodów” z pewnością przyczyniłaby się do jeszcze większego zainteresowania tą osobliwą atrakcją letnią. Również widok z kabin kolei na teren „Ogrodów” pozwoliłby na dodatkowe poznanie tego obszaru.

3. Analiza koncepcji budowy kolei turystyczno-widokowej w Muszynie

Koncepcja kolei linowej w Muszynie została zaproponowana przez Burmistrza Miasta i Gminy Uzdrowskiej Muszyna dra Jana Golbę. Wstępna koncepcja kolei linowej zakładała połączenie miasta z rejonem szczytu góry Malnik. Trasa kolei miałaby biec z terenów leżących na lewym brzegu rzeki Poprad, ponad rzeką, linią kolejową, drogą i pomiędzy zabudowaniami w centralnej części miasta aż w pobliże szczytu góry. Takie poprowadzenie trasy kolei ma zapewnić jadącym widok na miasto Muszynę i okolicę, Tatry Słowackie, Jaworzynę Krynicką oraz Tatry Wschodnie. Z głównej części trasy będzie zapewniony widok na opisane wcześniej „Ogrody”. Na rys. 3.1 przedstawiono (mapa Google) pierwszą propozycję trasy kolei w Muszynie. Poprowadzenie lin kolei na odpowiedniej wysokości powinno zapewnić możliwie szeroki pogląd na bliższą i dalszą okolicę.



Rys. 3.1. Widok Muszyny z zaznaczonym miejscem propozycji trasy kolei

Główne założenia dotyczące konstrukcji kolei można sformułować następująco:

- Kolej ma być wyposażona w kabiny o pojemności 8 osób z możliwie największą powierzchnią przeszkloną zapewniającą szeroki pogląd na otaczający teren;
- Platformy peronów i kabiny muszą być przystosowane do korzystających z wózków dziecięcych i wózków dla osób niepełnosprawnych;
- W kabinach kolei należy przewidzieć informację głosową, która w czasie jazdy kolei będzie omawiać obrazy widziane przez pasażerów;
- Charakter widokowo-turystyczny kolei wymaga wydłużenia czasu jazdy, co będzie skutkować jednak obniżeniem tzw. zdolności przewozowej kolei;
- Trasa układu linowego kolei powinna przebiegać możliwie nad terenami niezabudowanymi;
- Liczba podpór na trasie kolei powinna być możliwie minimalna uwzględniając warunki własnościowe działek, ukształtowanie i geologię terenu;
- Powierzchnia zabudowy i konstrukcja architektoniczna obu stacji kolei powinna być dostosowana do funkcji kolei i zagospodarowania przestrzennego okolicy;
- Zgodnie z obowiązującymi standardami prędkość napędu kolei będzie regulowana w zakresie od 0 do 6 m/s każdorazowo może być dostosowywana do aktualnej sytuacji;
- Warunki miejscowości uzdrowskiej wymagają ograniczenia hałasu napędów i ruchu kolei do poziomu ok. 65 dB;
- Ze względu na turystyczny charakter góry Malnik i planowane trasy rowerowe, kabiny kolei powinny być przystosowane do przewozu rowerów górskich wewnątrz i na zewnątrz;
- Aranżacja zewnętrzna i wewnętrzna kabin powinna odpowiadać charakterowi miejscowości Muszyna - Zdrój;
- Ze względu na miejski charakter kolei i rodzaj pasażerów korzystających z niej należy technicznie zapewnić możliwość ewakuacji bez wykorzystania technik alpinistycznych poprzez zastosowanie napędów awaryjnych na obu stacjach;

4. Analiza dostępnych terenów do budowy stacji i podpór kolei

Wskazano tereny do budowy stacji końcowych (dolnej i górnej) kolei linowej. Wizja lokalna z Firmą geodezyjną "GEODEZJA" Michał Łuszczewski z Krynicy-Zdroju odbyła się 12.11.2020 r. Weryfikowano geodezyjnie linię kolei wskazana pierwotnie przez Zleceniodawcę oraz zaproponowane wstępnie miejsca usytuowania podpór trasowych kolei.

Na rys. 4.1 zamieszczono mapę rejonu Muszyny i góry Malnik z zaznaczoną trasą kolei linowej. Trasa oznaczona jako „A” to pierwotna koncepcja Zleceniodawcy, natomiast trasa oznaczona jako „B” to propozycja po wizji lokalnej. Miejsca pod trasą, gdzie wykonano fotografie miejsc położenia potencjalnych podpór kolei (strzałką zaznaczono kierunek wykonywania zdjęcia). Na rys. 4.2÷4.18 zamieszczono fotografie wykonane w miejscach wskazanych na mapie (rys. 4.1).

Stację dolną – początkową kolei przewidziano wstępnie na działce obok posesji przy ul. Doktora Seweryna Mściwujewskiego 2. Teren widoczny na rys. 4.2 jest w tym miejscu stosunkowo równy, niezalesiony i blisko drogi asfaltowej. Po kilkudziesięciu metrach teren obniża się jednak w kierunku koryta rzeki Poprad. Przy samym korycie rzeki teren jest płaski – zalewowy. Ostatni fragment trasy kolei, gdzie można by postawić podporę znajduje się w odległości ok. 80-85 m od punktu początku trasy kolei (rys. 4.3). Wzdłuż trasy kolei rzeka Poprad ma ponad 60 m szerokości, a uwzględniając tereny zalewowe następna podpora mogłaby być zlokalizowana dopiero w odległości ok. 260 m od stacji początkowej przed ul. Piłsudskiego (patrzac od początku trasy kolei). Wynika stąd, że rozpiętość kolei nad Popradem musiałaby mieć co najmniej 185-190 m długości. Jest to istotne ze względu na strzałkę zwisu liny nad rzeką. Od tego miejsca zaczyna się teren zabudowany, choć zabudowa nie jest wysoka i nie przekracza 12 metrów (wysokości). Problemem są jednak miejsca posadowienia podpór. Rejon ul. Piłsudskiego trasa kolei przekracza w rejonie marketu Tesco, a następnie przebiega przez tereny stacji trafo i tory kolejowe. Jedyne miejsce na tym odcinku, gdzie można by postawić podporę znajduje się mniej więcej w linii ogrodzenia stacji trafo od strony torów kolejowych (rys. 4.6, 4.7). Od tego miejsca teren zaczyna zwiększać wysokość. Najpierw przebiega nad zabudowaniami przy ul. Ogrodowej 113D i E (rys. 4.8), a potem ponad odgałęzieniem tej ulicy o okolicy numeru 115A (rys. 4.9-4.11). Dopiero

poza tymi zabudowaniami jest możliwe posadowienie kolejnych podpór kolei. W tym miejscu odległość od stacji dolnej wynosi ok. 720-730 m.

Stosunkowo dobrze dostępny teren powyżej zabudowań, choć oczywiście na tym etapie koncepcji nie znane są jego parametry geologiczne. Do ok. 900 m (cały czas odległość liczona jest od stacji dolnej) na trasie nie ma większych drzew, jedynie zarośla. Od ok. 900 m zaczyna się bardzo nieregularna rzeźba terenu, uskoki wzdłuż trasy oraz dosyć wysoki drzewostan (ok. 20 m wysokości). Długość tego fragmentu trasy wynosi ponad 300 m. Lokalizacja podpory w tym terenie nie jest absolutnie wykluczona, ale wymagałoby to z pewnością dokładnych badań podłoża i wycinki części drzew. Bardziej dostępny dla posadowienia podpór teren zaczyna się od ok. 1200÷1250 m. W tym rejonie tzn. w pobliżu zabudowań przy ul. Podgórnej 31 (rys. 4.16). Od tego momentu teren zaczyna się wypłaszczać i zbliżać w rejon szczytowy góry Malnik (rys. 4.17). W tej części brak jest wyższych drzew. Przewidywany koniec trasy kolei (według wariantu A) znajduje się za ścieżką z żółtym szlakiem po północno-wschodniej stronie od szczytu góry Malnik (rys. 4.18). Wydaje się, że lokalizacja stacji końcowej w tym miejscu nie jest najlepsza gdyż zbliżające się do stacji pojazdy musiałyby tu poruszać się już nisko nad terenem, co wymusiłoby zmianę ścieżki i szlaku. Poza tym w końcowej części trasy teren zaczyna się już lekko obniżać.

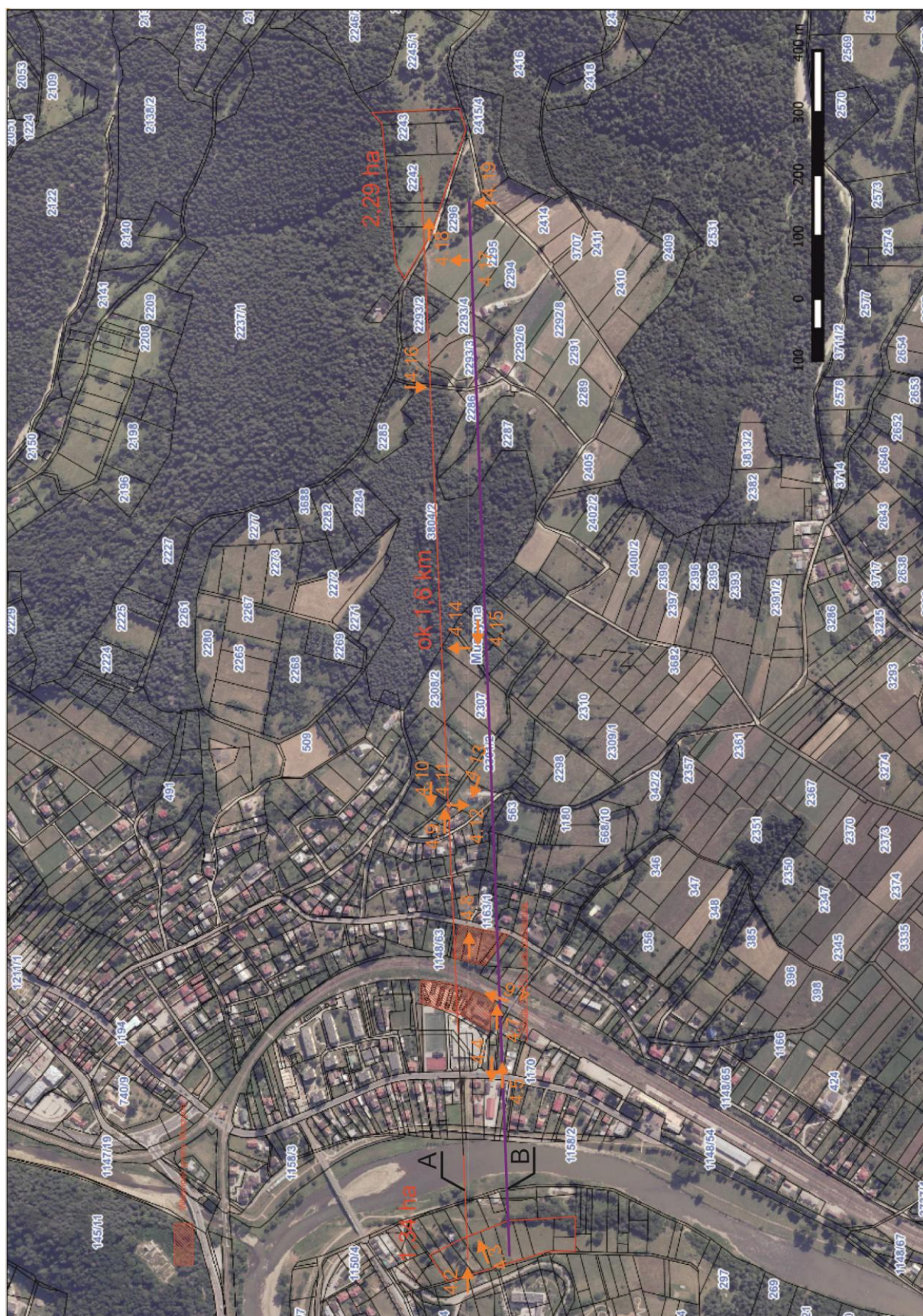
Podsumowując należy stwierdzić, że proponowany wariant podstawowy trasy kolei, oznaczony literą **A** posiada kilka poważnych wad, do których należy zaliczyć:

- Duża szerokość rzeki Poprad w linii trasy kolei,
- Stosunkowo gęsta zabudowa (wzdłuż trasy A), brak miejsca na posadowienie podpór,
- Kilka budynków znajduje się pod linią kolei,
- Uskok terenu na długości ok. 300 m utrudniający posadowienie podpór kolei,
- W rejonie szczytu góry Malnik stacja musi być przesunięta zbyt daleko w kierunku zachodnim.

Mając powyższe na uwadze (podczas wizji lokalnej) zaproponowano jako alternatywną trasę oznaczona na rys. 4.1 jako wariant **B**. Trasa ta przebiega równolegle do trasy w wariantcie **A**, w odległości ok. 60 m w kierunku południowym.

Początek trasy B byłby zlokalizowany przy ul. Doktora Seweryna Mściwujewskiego w pobliżu Sanatorium Korona (ale nie przy samym budynku). Dalej podobnie jak w wariantcie A trasa kolei biegnie w kierunku rzeki Poprad, a dalej ul. Piłsudskiego. Usytuowanie takiej trasy pozwala na przejście pomiędzy budynkami przy ulicy Piłsudskiego 97 i 95 (rys. 4.4 i 4.5) oraz minięcie budynków przy ulicy Ogrodowej (rys. 4.12 i 4.13). Również korzystniejsze wydaje się w tej wersji przejście nad uskokiem w środkowej części trasy. Niestety trasa w tym wariantcie musiałaby przechodzić nad częścią budynku w rejonie ul. Podgórnej (prawdopodobnie nr 31). Korzystniejsze jest też w tym wariantcie usytuowanie stacji górnej kolei. Byłaby ona bliżej drogi i szczytu góry Malnik.

Podsumowując należy stwierdzić, że lokalizacja trasy kolei w wariantcie **B** wydaje się korzystniejsza pod względem kolizji z obiektami na ziemi i ukształtowaniem terenu pod trasą. Ważnym elementem wyboru trasy kolei jest struktura własności terenów pod trasą. Autorzy niniejszego opracowania nie odnoszą się do tej kwestii, gdyż nie wchodziło to w zakres opracowania.



Rys. 4.1. Mapa z zaznaczonymi miejscami zdjęć na liniach proponowanych tras kolei



Rys. 4.2. Miejsce usytuowania stacji początkowej (wersja A) rejon ul. Doktora Seweryna Mściwujewskiego 2.



Rys. 4.3. Miejsce, w którym może być usytuowana ostatnia podpora (od strony stacji początkowej) przed Popradem. Poniżej znajduje się teren zalewowy



Rys. 4.4. Widok w kierunku stacji początkowej kolei z rejonu ul. Piłsudskiego przed nr 110



Rys. 4.5. Zabudowania przy ul. Piłsudskiego nr 95 i 97, nad którymi mogłaby przebiegać trasa kolei dla wariantu B.



Rys. 4.6. Ogrodzenie stacji trafo. Mniej więcej w linii ogrodzenia mogłaby się znajdować ostatnia podpora przed linią kolejową.



Rys. 4.7. Widok linii kolejowej (naprzeciw stacji trafo) w miejscu gdzie mogłaby przechodzić trasa kolei (variant B).



Rys. 4.8. Zabudowania przy ul. Ogrodowej 113D. Nad tym terenem przebiegałaby trasa kolei według wariantu A.



Rys. 4.9. Teren przy ul. Ogrodowej 115A. Miejsce, gdzie można by umieścić podpory kolei powyżej terenu zabudowanego (wariant A).



Rys. 4.10. Teren przy ul. Ogrodowej 115A. Widok z miejsca potencjalnej podpory kolei w kierunku stacji początkowej-dolnej (variant A).



Rys. 4.11. Widok podobnie jak na rys. 4.10 z widocznymi Ogradami w rejonie stacji początkowej (variant A).



Rys. 4.12. Rejon ul. Ogrodowej, możliwe miejsce usytuowania podpory poza terenem zabudowanym (wariant B).



Rys. 4.13. Widok z miejsce jak na rys. 4.12. w kierunku stacji początkowej-dolnej (wariant B).



Rys. 4.14. Rejon początku uskoku (patrz mapa 4.1) rozpoczynającego się przy linii lasu.



Rys. 4.15. Widok (patrz mapa 4.1) w kierunku stacji początkowej – dolnej (wariant A).



Rys. 4.16. Rejon ul. Podgórnej 31, W pobliżu tego miejsca byłoby możliwe posadowienie podpory kolei linowej powyżej uskoku terenu.



Rys. 4.17. Widok terenu kolei w pobliżu szczytu góry Malnik. W tym rejonie trasa kolei musiałaby się obniżyć w celu sprowadzenia do stacji górnej.



Rys. 4.18. Miejsce proponowanej stacji górnej dla wariantu A.



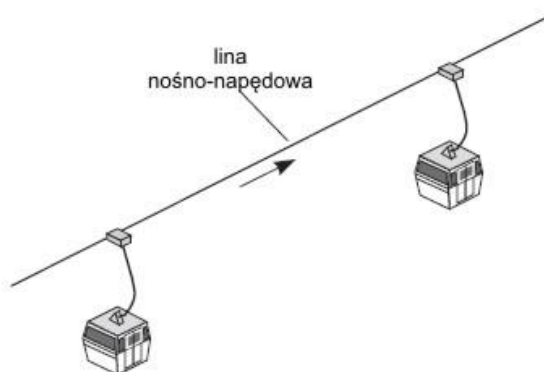
Rys. 4.19. Miejsce proponowanej stacji górnej dla wariantu B.

5. Przegląd konstrukcji i technologii kolei napowietrznych kabinowych

5.1 Podział ogólny

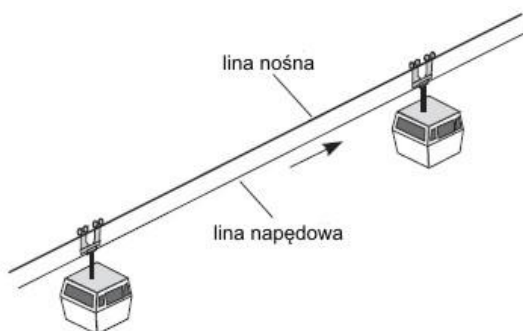
Przy analizie konstrukcji i technologii różnych systemów kolei linowych wzięto pod uwagę uwarunkowania przedstawione w pkt. 3 niniejszego opracowania. Kolej turystyczno-widokowa ze względu na specyficzne przeznaczenia może być ogólnie budowana jako kabinowa jednolinowa lub dwulinowa.

W kolejach jednolinowych (rys. 5.1) lina nośno-napędowa spełnia podwójną rolę – przenosi obciążenia od masy wiszących kabin oraz siły potrzebnej na wprowadzenie w ruch układu liny z kabinami.



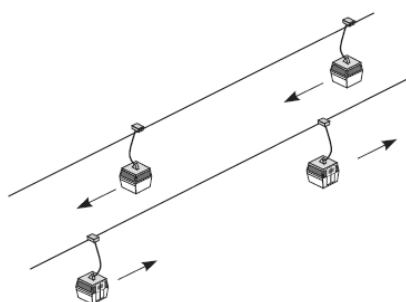
Rys. 5.1. Schemat kolei jednolinowej

Koleje dwulinowe (rys. 5.2) posiadają jedną lub dwie liny nośne i liny te przenoszą tylko obciążenia od masy kabin. Lina napędowa połączona z kabinami przenosi siłę napędową.

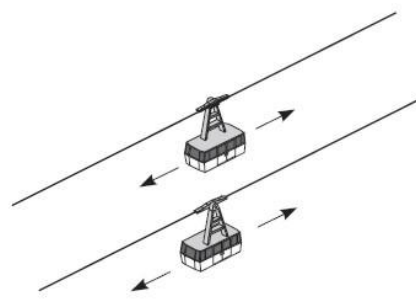


Rys. 5.2. Schemat kolei dwulinowej

Ze względu na rodzaj ruchu koleje jednolinowe mogą poruszać się ruchem wahadłowym(rys. 5.3) lub okrężnym(rys. 5.4).



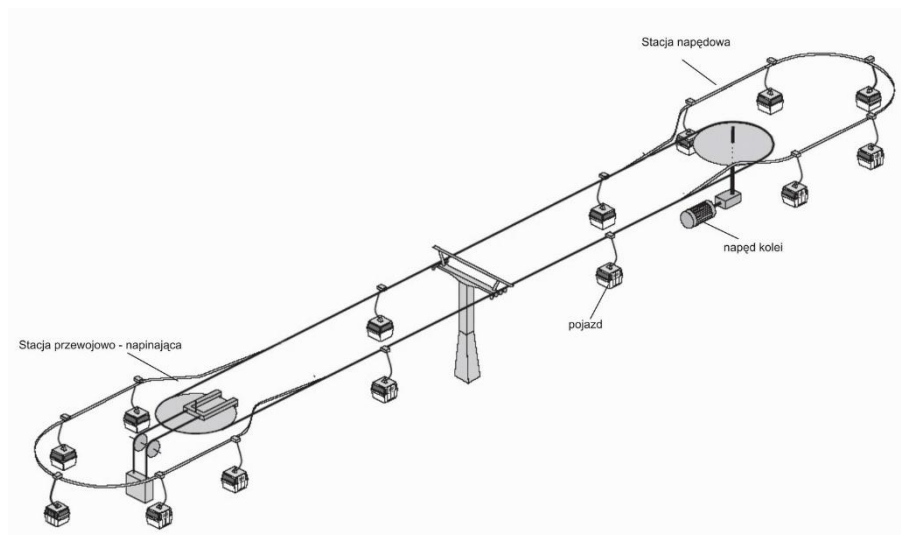
Rys. 5.3. Kolej jednolinowa o ruchu okrężnym



Rys. 5.4. Kolej jednolinowa o ruchu wahadłowym

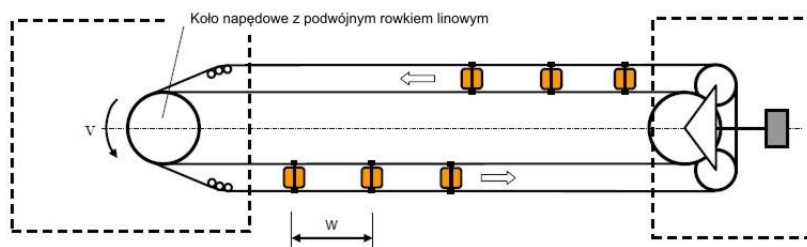
Najbardziej rozpowszechnionym systemem napowietrznych kolei linowych jest system kolei jednolinowych o ruchu okrężnym z kabinami wyprężanymi z liny w stacjach. Popularność tego systemu opiera się na przyjaznych dla pasażera cechach takich jak wygoda, bezpieczeństwo i łatwość wsiadania i wysiadania. Możliwość transportu małych dzieci i osób niepełnosprawnych poruszających się na wózkach. Wyrównanie poziomu podłogi kabin z poziomem peronów w stacjach i otwierane szeroko drzwi kabin pozwala na bezkolizyjne wsiadanie z dziećmi w wózkach itp.

Koleje te wyposaża się w kabiny o pojemności 8 osób o różnej aranżacji wnętrza w zależności od wymagań i warunków określonych przez użytkownika. Prędkość ruchu kabin na trasie może wynosić do 6 m/s, natomiast w stacjach po wyprężeniu z liny kabiny poruszają się za pomocą specjalnych przenośników z prędkością 0,2÷0,3 m/s. Prędkość ta zapewnia wygodnie i bezpieczne wsiadanie i wysiadanie pasażerów. Systemy tego typu mogą osiągać zdolność przewozową w jednym kierunku do ok. 2500 osób/godz. Kabiny tych kolei mogą być wyposażone w uchwyty zewnętrzne do transportu sprzętu sportowego (nart, desek snowboardowych, rowerów itp.). Na rysunku 4.5 zamieszczono schemat podstawowy napowietrznej kolei jednolinowej o ruchu okrężnym z pojazdami wyprężanymi z liny. Najnowsza wersja tego systemu nazwana handlowo D-LINE (firmy Doppelmayr – lidera w produkcji kolei linowych) posiada większe 10 osobowe kabiny, które zapewniają większy komfort podróżującym. W systemie D-LINE zastosowano wiele nowatorskich rozwiązań technicznych wpływających na komfort i bezpieczeństwo pasażerów.



Rys. 5.5. Schemat rozwiązania kolei jednolinowej o ruchu okrężnym z pojazdami wyprężanymi z liny nośno - napędowej

Nowoczesną odmianą systemu jednolinowego kabinowego ze zdwojoną linią nośno-napędową (rys. 5.6) jest system „Funitel”. Jest to system kolei wyprężanej, gdzie każda kabina jest zawieszona na dwóch gałęziach liny nośno-napędowej. Gałęzie linowe na toku są w rozstawie ok. 3 m co daje kabini bardzo dużą stabilność na wiatr poprzeczny. Kabiny tego systemu mają pojemność 20÷30 osób i umożliwiają transport do 3000 osób/godz.



Rys. 5.6. Schemat systemu „Funitel” z jedną linią nośno–napędową w podwójnej pętli linowej (DMC)

Jest to system stosowany w dużych wysokogórskich stacjach narciarskich, gdzie występują silne wiatry. Przykłady rozwiązań tego systemu przedstawiono na rysunku 5.7.



Rys. 4.7. Rozwiązania systemu „Funitel”

Każda z kabin jest zamocowana do dwóch gałęzi linowych wpręgłami (zwykle 4 sztuki), co daje wysoką pewność i bezpieczeństwo podczas ruchu kolei. Systemy te budowane są w stacjach turystycznych i narciarskich, gdzie wymagana jest duża zdolność przewozowa.



Rysunek 5.9. Funchal, Portugalia

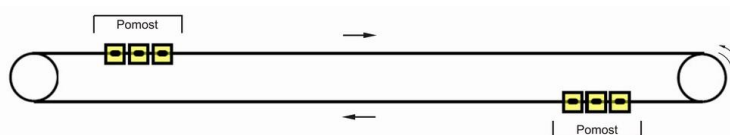


Rysunek 5.10. Hindelog Niemcy

5.2 System napowietrznej kolei jednolinowej z dwoma grupami pojazdów

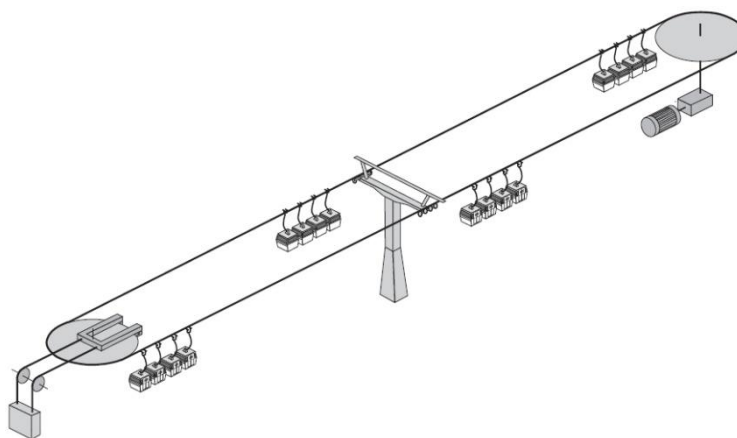
System kolei jednolinowej z grupami kabin niewyprzęganych z liny nośno-napędowej.

System napowietrznej kolei jednolinowej z dwoma grupami pojazdów to jeden z systemów napowietrznej kolei jednolinowej wyprzęganej z o ruchu wahadłowym (rys. 5.11).



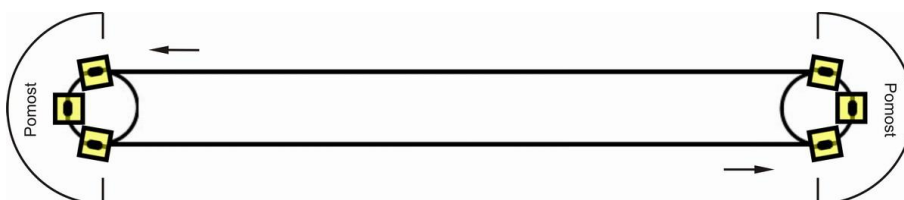
Rys. 5.11. Schemat ruchu kolei jednolinowej grupowej o ruchu wahadłowym

System ten posiada linę nośno-napędową stanowiącą pętlę usytuowaną pomiędzy kołem napędowym, a kołem przewojowym. Do liny wprzęgnięte są dwie grupy pojazdów o liczbie zależnej od wymaganej zdolności przewozowej. Pojazdy poruszają się ruchem wahadłowym lub okrężnym. Zwykle stosuje się grupy pojazdów – kabin od 2 do 5. Kabiny mają standardową pojemność 8÷10 osób. Ze względu na konieczność zachowania odpowiedniej geometrii ułożenia liny nośno-napędowej na trasie kolei, system ten wymaga stosowania podpór trasowych o odstępach mniejszych niż ma to miejsce w przypadku kolei dwulinowej. System ten może poruszać się ruchem wahadłowym, zatrzymując bieg liny, kiedy grupy pojazdów znajdują się na stacjach.



Rys. 5.12. Kolej jednolinowa o ruchu okrężnym grupowa z pojazdami niewyprzęganymi z liny nośno-napędowej "

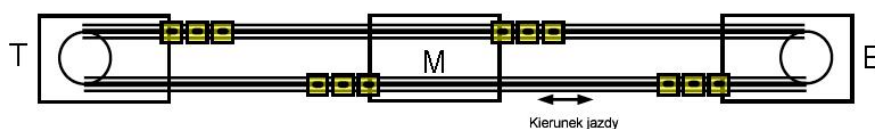
Prędkość nominalna tego typu systemów jest regulowana i zawiera się w zakresie od 1 m/s do 6 m/s. Zdolność przewozowa systemu zależy od liczby kabin i stosowanej w danym cyklu prędkości. Pewną wadą tego systemu jest konieczność zapewnienia w stacjach odpowiedniej długości pomostów, przy których zatrzymują się grupy kabin. Przykładowo przy grupie dwóch kabin długość pomostu musi wynosić ok. 10÷12 m.



Rys. 5.13. Schemat ruchu kolei jednolinowej grupowej o ruchu ze zwalnianiem w stacjach

Zaletą tego systemu są mniejsze gabarytowo stacje, gdyż pomosty do wsiadania i wysiadania pasażerów są wzdłuż łuków kół napędowego i przewojowego.

Pewną niedogodnością, szczególnie dla osób o mniejszej sprawności ruchowej jest wsiadanie i wysiadanie. Podczas poruszania się kabin z małą prędkością proces wsiadania bądź wysiadania pasażerów odbywa się przy analogicznych parametrach ruchu jak w bardzo popularnych kolejach narciarskich i turystycznych z pojazdami wyprzęganymi z liny.



Rys. 5.14. Schemat ruchu kolei jednolinowej grupowej ze stacją pośrednią

Koleje jednolinowe grupowe o ruchu pulsacyjnym przedstawiono na zdjęciach poniżej.



Rys. 5.15. Grupa kabin na trasie kolei pulsacyjnej 6×3×6 osób (liczba grup pojazdów na trasie×liczba gondol w grupie×liczba osób w gondoli) firmy Doppelmayr.
„Spokane Falls” Stany Zjednoczone [www.doppelmayr.com]



Rys. 5.16. Grupa kabin w stacji kolei pulsacyjnej 6×3×6 osób firmy Doppelmayr.
„Spokane Falls” Stany Zjednoczone [www.doppelmayr.com]



Rys. 5.17. Grupa kabin w stacji kolei pulsacyjnej 2×2×8 osób firmy Doppelmayr. „Highlands” Stany Zjednoczone [www.doppelmayr.com]



Rys. 5.18. Grupa kabin w stacji kolei pulsacyjnej 2×2×8 osób firmy Doppelmayr. „Highlands” Stany Zjednoczone [www.doppelmayr.com]



Rys. 5.19. Grupa kabin w stacji kolei pulsacyjnej 2×3×8 osób firmy Doppelmayr. „Agaoglu” Turcja [www.doppelmayr.com]

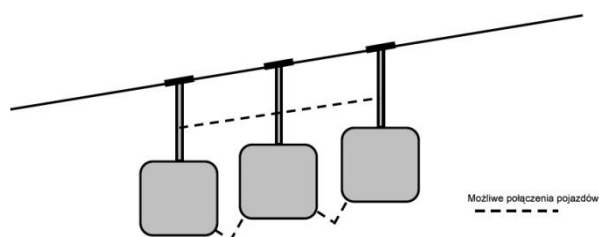


Rys. 5.20. Grupa kabin na trasie kolei pulsacyjnej 4×2×8 osób firmy Doppelmayr. „Miners Club” Stany Zjednoczone [www.doppelmayr.com]



Rys. 5.21. Grupa kabin na trasie „Ankogel” Austria [www.doppelmayr.com]

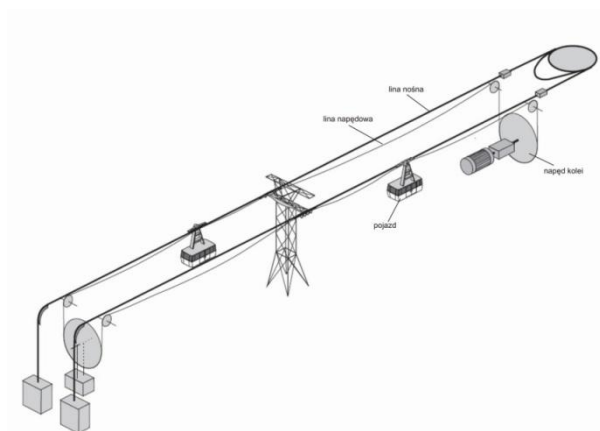
Poszczególne kabiny w grupie mogą być swobodnie obracane w kierunku wzdłużnym lub wyposażone we wzdłużne połączenie obrotowe.



Rys. 5.22. Schemat połączenia pojazdów w grupie

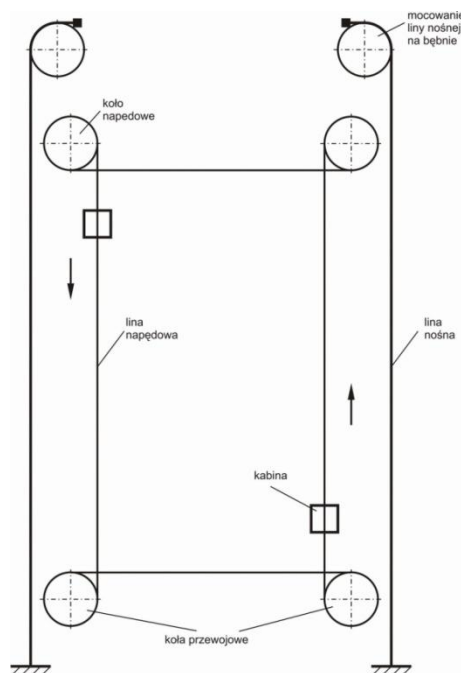
5.3 System napowietrznych kolei dwulinowych

W kolejach napowietrznych dwulinowych na każdym tzw. toku kolei znajdują się co najmniej dwie liny, których funkcje są podzielone. Lina nośna stanowi tor dla krążków tocznych wózka jezdnego kabiny, natomiast lina napędowa służy do nadania ruchu kabinom zaczepionym do niej za pomocą wprzęgieł. Schemat ogólny kolei dwulinowej o ruchu wahadłowym pokazano na rys. 5.23.



Rys. 5.23. Schemat kolei dwulinowej o ruchu wahadłowym

Specyficznym rozwiązaniem konstrukcyjnym kolei dwulinowej o ruchu wahadłowym jest system ATW, który dla specjalnych warunków (np. niezbyt dużej zdolności przewozowej) jest dobrym rozwiązaniem. System ten charakteryzuje się prostotą konstrukcji i bardzo oszczędnymi wymiarami geometrycznymi obydwu stacji. Na rys. 5.24. przedstawiono schemat tego systemu.



Rys. 5.24. Schemat układu linowego kolei dwulinowej o ruchu wahadłowym typu ATW

Układ liny napędowej z wprzęgniętymi kabinami o pojemności 15 lub 20 osób porusza się po dwóch tokach lin nośnych ruchem wahadłowym. Prędkość kabin jest regulowana od 0÷6 m/s w zależności od potrzeb. Bardzo ważną cechą tego systemu są minimalne wymiary gabarytowe obydwu stacji – napędowej i napinającej. Prostota konstrukcji powoduje, że stacja ta daje się wkomponować w bardzo ograniczony teren. Kompaktowy napęd złożony ze zblokowanego z przekładnią silnika ma zwykle moc kilkudziesięciu kW. Zapotrzebowanie napędu na moc jest niewielkie ze względu na stosunkowo małe masy kabin poruszane tym napędem.

Dwulinowe napowietrzne koleje linowe to jedne z najstarszych systemów kolei, które w latach początku ubiegłego wieku były głównie kolejami do transportu materiałów.



Rys. 5.25. Kolei dwulinowa o ruchu wahadłowym typu ATW we Wrocławiu

W porównaniu do kolei jednolinowych, koleje dwulinowe z oddzielną liną nośną i napędową mogą być projektowane dla znacznie dłuższych przęseł na trasie i dlatego mogą być budowane na trudnych obszarach, gdzie nie można zastosować kolei jednolinowej. W przypadku kolei dwulinowych, pozycja liny napędowej pod liną nośną wytwarza korzystny moment przywracający pozycję pojazdu w przypadku bocznego wychylenia. To wyjaśnia ich lepszą stabilność w porównaniu z kolejami jednolinowymi dla bocznych działań wiatru. Główną wadą kolei dwulinowej w porównaniu z koleją jednolinową jest wyższy koszt instalacji chociażby ze względu na konieczność zastosowania lin nośnych o konstrukcji zamkniętej oraz znacznie rozbudowany w stosunku do kolei jednolinowych układ olinowania.

Zwykle koleje dwulinowe z jedną lub coraz częściej dwoma linami nośnymi znajdują zastosowanie jako koleje turystyczne z kabinami o pojemnościach od 60 do nawet 200 osób, poruszających się z prędkościami do 12 m/s. Koleje te poruszają się zwykle ruchem wahadłowym z postojem w obu końcowych stacjach. Zastosowanie dwóch lin nośnych pozwoliło na zwiększenie pojemności kabin i zwiększyło odporność na wiatr poprzeczny. Przykłady rozwiązań przedstawiono na rysunku 5.26 oraz 5.27.



Rys. 5.26. Kolej dwulinowa o ruchu wahadłowym z kabiną 60 osobową, Bregenz, Austria



Rys. 5.27. Kolej dwulinowa o ruchu okrężnym 2S-15 BGD z kabiną 15 osobową, Kreuzeck, Niemcy [www.doppelmayr.com]

Obecnie liczba budowanych kolei dwulinowych stanowi jednak niewielki procent w stosunku do liczby kolei jednolinowych.

W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku opracowano i wybudowano pierwsze koleje dwulinowe tzw „3S” z kabinami o pojemnościach do kilkudziesięciu osób, ale wyprężanymi z liny napędowej w stacjach. Jest to najnowszy system kolei dwulinowej o ruchu okrężnym z kabinami wyprężanymi z liny napędowej (dwie liny nośne i jedna napędowa). Zdolność przewozowa tego typu kolei może wynosić nawet do 4500 osób/godz. Koleje te znalazły zastosowanie jako łączące duże stacje narciarskie, bez konieczności transportu

narciarzy środkami transportu naziemnego (skibusy). Koszt inwestycji takiego systemu jednak znacznie przewyższa inne instalacje.



Rys. 4.28. Kolej 3S z kabiną 30 osobową,
Peak 2 Peak, Kanada [www.doppelmayr.com]



Rysunek 4.29. Kolej 3S z kabiną 30 osobową,
Kirchberg, Austria [www.doppelmayr.com]

Przedstawione rozwiązania techniczne dają bardzo duże możliwości wyboru systemów do transportu pasażerów w celach widokowo – turystycznych. Systemy o dużych zdolnościach przewozowych są zwykle budowane w ośrodkach narciarskich i turystycznych jako koleje dowozowe. Do celów widokowo – turystycznych w małych ośrodkach zwykle budowane są koleje jednolinowe.

6. Obliczenia techniczne przeprowadzone dla jednolinowej kolei grupowej

Dla przedstawionej koncepcji napowietrznej kolei jednolinowej z dwoma grupami kabin poruszającymi się ruchem wahadłowym przyjęto założenia o podstawowych danych technicznych zestawionych poniżej. Stacja napędowo - napinająca z nowoczesnym napędem elektrycznym będzie usytuowana w rejonie ul. Doktora Seweryna Mściwujewskiego 2, a stacja górna przewojowa w rejonie szczytu góry Malnik .

6.1 Dane przyjęte do obliczeń

a) Dane ogólne

Typ kolei	napowietrzna jednolinowa typu grupowego
Rodzaj ruchu	wahadłowy
Liczba grup kabin	2 sztuki
Liczba kabin w grupie	2 kabiny 10 osobowe lub 3 kabiny 8 osobowe
Pojemność kabin	8 osób
Masa pustego pojazdu	600 kg
Masa pasażerów w kabinie	8×80 kg = 640 kg
Położenie stacji napędowej	na dole
Położenie stacji napinającej	na dole
Liczba podpór na trasie	9 sztuk
Maksymalna prędkość jazdy	5,0÷6,0 m/s (regulowana płynnie)
Przyspieszenie przy rozruchu	0.3 m/s ²
Opóźnienie przy hamowaniu	0.5 m/s ²

b) Parametry geometryczne trasy kolei

Długość w poziomie	1646.00 m
Długość po stoku	1666.60 m
Różnica wysokości	238.0 m
Średnie nachylenie	14,46 %

c) Parametry liny nośno-napędowej

Typ liny	6x25 FW
Średnica liny	45 mm
Nominalna wytrzymałość drutów..	1960 MPa
Masa jednostkowa	7.35 kg/m
Minimalna siła zrywająca	1636 kN

d) Parametry układu napinania

Typ układu napinania liny nośno-napędowej	hydrauliczne
Siła napięcia wstępnego liny nośnej	4400 kN

6.2 Wyniki obliczeń technicznych kolei linowej**Zdolność przewozowa kolei**

Obliczenie zdolności przewozowej godzinowej:

$$W_g = \frac{3600 \cdot i}{T_c}$$

gdzie:

i – liczba osób w grupie pojazdów (3 kabiny po 8 osób w kabinie lub 2 kabiny)

T_c – czas cyklu jazdy [s].

Tabela 6.1 Czasy cyklu jazdy kolei dla prędkości nominalnej równej 5.0 m/s.

	Prędkość [m/s]	Przyspieszenie [m/s²]	Droga jazdy [m]	Czas jazdy [s]
Wsiadanie i wysiadanie	0,0	0,0	0,0	50,0
Rozruch	5,0	0,3	41,8	16,7
Jazda z prędkością ustaloną	5,0	0,0	1593,0	318,6
Hamowanie przed stacją	5,0	-0,5	25,8	9,2
Prędkość stacyjna	0,6	0,0	3,0	5,0
Hamowanie w stacji	0,6	-0,5	0,3	0,6
Prędkość „dojazdowa”	0,3	0,0	2,0	6,7
Hamowanie do zatrzymania	0,3	-0,5	0,1	0,6
Zatrzymanie w stacji	0,0	0,0	0,0	0,0
			1666,0	$T_{c1} = 407,4$

Zdolność przewozowa teoretyczna dla prędkości jazdy 5.0 m/s dwóch grup po 3 kabiny 8-osobowe wynosi 212 osób/godz.

Tabela 6.2 Czasy cyklu jazdy kolei dla prędkości nominalnej równej 5.5 m/s.

	Prędkość [m/s]	Przyspieszenie [m/s²]	Droga jazdy [m]	Czas jazdy [s]
Wsiadanie i wysiadanie	0,0	0,0	0,0	50,0
Rozruch	5,5	0,3	50,6	18,4
Jazda z prędkością ustaloną	5,5	0,0	1579,7	287,2
Hamowanie przed stacją	5,5	-0,5	30,3	11,0
Prędkość stacyjna	0,6	0,0	3,0	5,0
Hamowanie w stacji	0,6	-0,5	0,3	0,6
Prędkość „dojazdowa”	0,3	0,0	2,0	6,7
Hamowanie do zatrzymania	0,3	-0,5	0,1	0,6
Zatrzymanie w stacji	0,0	0,0	0,0	0,0
			1666,0	T _{c2} = 379,5

Zdolność przewozowa teoretyczna dla prędkości jazdy 5.5 m/s i dwóch grup po 3 kabiny 8-osobowe wynosi 227 osób/godz.

Tabela 6.3 Czasy cyklu jazdy kolei dla prędkości nominalnej równej 6.0 m/s.

	Prędkość [m/s]	Przyspieszenie [m/s²]	Droga jazdy [m]	Czas jazdy [s]
Wsiadanie i wysiadanie	0,0	0,0	0,0	50,0
Rozruch	6,0	0,3	60,0	20,0
Jazda z prędkością ustaloną	6,0	0,0	1564,6	260,8
Hamowanie przed stacją	6,0	-0,5	36,0	12,0
Prędkość stacyjna	0,6	0,0	3,0	5,0
Hamowanie w stacji	0,6	-0,5	0,3	0,6
Prędkość „dojazdowa”	0,3	0,0	2,0	6,7
Hamowanie do zatrzymania	0,3	-0,5	0,1	0,6
Zatrzymanie w stacji	0,0	0,0	0,0	0,0
			1666,0	T _{c3} = 355,7

Zdolność przewozowa teoretyczna dla prędkości jazdy 6.0 m/s i dwóch grup po 3 kabiny 8-osobowe wynosi 242 osób/godz.

Jak z powyższych obliczeń wynika zdolność przewozowa kolei grupowej tego typu zależy od liczby kabin w grupie i pojemności tych kabin oraz oczywiście prędkości jazdy kabiny i zawiera się w przedziale od 212 do 242 osób na godzinę. Czas przejazdu pomiędzy stacjami może wynosić ok. 6-7 minut. Jeśli czas przejazdu uległby wydłużeniu to oczywiście zdolność przewozowa jeszcze się obniży.

6.3 Wyniki obliczeń geometrycznych układu linowego kolei

Rozpatrzono tu dwa warianty. W pierwszym przyjęto, że na trasie kolei będzie rozmieszczonych 6 podpór o wysokościach do 45 m. W drugim wariantie założona 9 podpór o niższych wysokościach.

Wariant I. Liczba podpór równa 6.

Tabela. 6.4. Zestawienie danych geometrycznych położenia podpór

Punkt podparcia lin	Odległość [m]	Wysokość [m n.p.m]	Wysokość konstrukcji wsporczej [m]
Stacja dolna	20,00	465,0	4,0
Podpora 1	85,00	449,2	25,0
Podpora 2	420,00	449,0	45,0
Podpora 3	750,00	506,7	40,0
Podpora 4	1100,00	570,0	40,0
Podpora 5	1418,00	648,0	33,0
Podpora 6	1615,00	694,9	15,0
Stacja górna	1666,00	703,0	5,0

Tabela. 6.5. Zestawienie danych geometrycznych przęseł

Punkt podparcia lin	Długość [m]	Różnica wysokości [m]	Nachylenie [%]	Maksymalna strzałka zwisu liny [m]
Stacja dolna – podpora 1	65,0	5,3	8,12	2,73
Podpora 1 - Podpora 2	335,0	19,8	5,91	17,79
Podpora 2 –Podpora 3	330,0	52,7	15,98	17,95
Podpora 3 - Podpora 4	350,0	63,2	18,07	20,04
Podpora 4 - Podpora 5	318,0	71,0	22,33	18,55
Podpora 5 - Podpora 6	197,0	28,9	14,65	10,74
Podpora 6 - Stacja górna	51,0	-1,9	-3,65	2,47
	1646,0	238,0	14,52	

Wariant II. Liczba podpór równa 9.**Tabela. 6.6.** Zestawienie danych geometrycznych położenia podpór

Punkt podparcia lin	Odległość [m]	Wysokość [m n.p.m]	Wysokość konstrukcji wsporczej [m]
Stacja dolna	20,00	465,0	4,0
Podpora 1	85,00	449,2	25,0
Podpora 2	260,00	447,0	30,0
Podpora 3	420,00	449,0	30,0
Podpora 4	750,00	506,7	35,0
Podpora 5	924,90	544,5	30,0
Podpora 6	1100,00	570,0	40,0
Podpora 7	1275,60	613,0	30,0
Podpora 8	1464,90	656,9	33,0
Podpora 9	1615,00	694,9	15,0
Stacja górna	1666,00	703,0	5,0

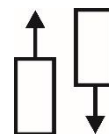
Tabela. 6.7. Zestawienie danych geometrycznych przęseł

Punkt podparcia lin	Długość [m]	Różnica wysokości [m]	Nachylenie [%]	Maksymalna strzałka zwisu liny [m]
Stacja dolna – podpora 1	65,0	5,3	8,15	2,73
Podpora 1 - Podpora 2	175,0	2,8	1,60	8,14
Podpora 2 –Podpora 3	160,0	2,0	1,25	7,39
Podpora 3 - Podpora 4	330,0	62,7	19,00	17,90
Podpora 4 - Podpora 5	175,0	32,8	18,74	8,62
Podpora 5 - Podpora 6	175,0	35,5	20,28	8,80
Podpora 6 - Podpora 7	175,6	33,0	18,79	9,02
Podpora 7 - Podpora 8	189,0	47,0	24,87	10,10
Podpora 8 - Podpora 9	150,0	19,9	13,27	7,88
Podpora 6 - Stacja górna	51,0	-1,9	-3,72	2,47
	1646,0	238,0	14,52	

6.4 Obliczenia sił w linie nośno-napędowej

Tabela 6.8. Zestawienie wyników obliczeń dla przypadku obciążenia kolei:

Oba toki nieobciążone



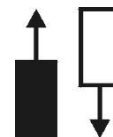
Przypadek ruchu	Wielkość	Jednostka	Wartość obliczona
1. Rozruch $a = 0.3 \text{ m/s}^2$	S_n	kN	229,7
	S_z	kN	210,3
	U	kN	19,4
	N	kW	155,17
	sprzęż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,028 < \mu_{dop} = 0,22$
2. Jazda z prędkością ustaloną	S_n	kN	225,4
	S_z	kN	214,5
	U	kN	10,9
	N	kW	81,0
	sprzęż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,016 < \mu_{dop} = 0,22$
3. Hamowanie z maksymalnym opóźnieniem $b_{max} = 0.6 \text{ m/s}^2$	S_n	kN	217,0
	S_z	kN	223,0
	U	kN	-6,0
	N	kW	-67,3
	sprzęż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,009 < \mu_{dop} = 0,22$

S_n – siła w linie nabiegającej na koło napędowe

S_z – siła w linie zbiegającej z koła napędowego

U – siła obwodowa

N – wymagana moc silnika kolei

Tabela 6.9. Zestawienie wyników obliczeń dla przypadku obciążenia kolei:**Obciążony tylko tok w górę**

Przypadek ruchu	Wielkość	Jednostka	Wartość obliczona
1. Rozruch $a = 0.3 \text{ m/s}^2$	S_n	kN	231,7
	S_z	kN	208,3
	U	kN	23,4
	N	kW	185,3
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,034 < \mu_{dop} = 0,22$
2. Jazda z prędkością ustaloną	S_n	kN	227,2
	S_z	kN	212,8
	U	kN	14,4
	N	kW	106,8
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,021 < \mu_{dop} = 0,22$
3. Hamowanie z maksymalnym opóźnieniem $b_{max} = 0.6 \text{ m/s}^2$	S_n	kN	218,1
	S_z	kN	221,9
	U	kN	-3,8
	N	kW	-50,3
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,006 < \mu_{dop} = 0,22$

 S_n – siła w linii nabiegającej na koło napędowe S_z – siła w linii zbiegającej z koła napędowego

U – siła obwodowa

N – wymagana moc silnika kolei

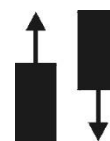
Tabela 6.10. Zestawienie wyników obliczeń dla przypadku obciążenia kolei:**Obciążony tylko tok w dół**

Przypadek ruchu	Wielkość	Jednostka	Wartość obliczona
1. Rozruch $a = 0.3 \text{ m/s}^2$	S_n	kN	229,0
	S_z	kN	211,0
	U	kN	18,0
	N	kW	145,0
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,026 < \mu_{dop} = 0,22$
2. Jazda z prędkością ustaloną	S_n	kN	224,5
	S_z	kN	215,5
	U	kN	8,9
	N	kW	66,5
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,013 < \mu_{dop} = 0,22$
3. Hamowanie z maksymalnym opóźnieniem $b_{max} = 0.6 \text{ m/s}^2$	S_n	kN	215,4
	S_z	kN	224,6
	U	kN	-9,2
	N	kW	-90,6
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,013 < \mu_{dop} = 0,22$

 S_n – siła w linii nabiegającej na koło napędowe S_z – siła w linii zbiegającej z koła napędowego

U – siła obwodowa

N – wymagana moc silnika kolei

Tabela 6.11. Zestawienie wyników obliczeń dla przypadku obciążenia kolei :**Oba toki obciążone**

Przypadek ruchu	Wielkość	Jednostka	Wartość obliczona
1. Rozruch $a = 0.3 \text{ m/s}^2$	S_n	kN	231,0
	S_z	kN	209,0
	U	kN	22,1
	N	kW	175,1
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,032 < \mu_{dop} = 0,22$
2. Jazda z prędkością ustaloną	S_n	kN	226,2
	S_z	kN	214,0
	U	kN	12,4
	N	kW	92,2
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,018 < \mu_{dop} = 0,22$
3. Hamowanie z maksymalnym opóźnieniem $b_{max} = 0.6 \text{ m/s}^2$	S_n	kN	216,5
	S_z	kN	223,4
	U	kN	-6,9
	N	kW	-73,5
	spręż. cierne	-	$\mu_{wym} = 0,010 < \mu_{dop} = 0,22$

 S_n – siła w linii nabiegającej na koło napędowe S_z – siła w linii zbiegającej z koła napędowego

U – siła obwodowa

N – wymagana moc silnika kolei

Maksymalny współczynnik bezpieczeństwa liny nośno-napędowej:

$$n_{\max} = 7.06$$

Dopuszczalny zakres wartości współczynnik bezpieczeństwa liny nośno-napędowej wynosi:

$$4.0 < n = < 20$$

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń zaproponowano następujące parametry napędu głównego kolei:

- silnik napędowy prądu przemiennego
(sterowany przemiennikiem częstotliwości)
- moc napędu 185 kW
- typ przekładni planetarna
- zakres prędkości jazdy kolei . 0÷6 m/s

Napęd awaryjny:

- liczba napędów 2 (w każdej stacji)
- silnik napędowy hydrauliczny
- prędkości jazdy kolei 1.0 m/s
- czas jazdy ewakuacyjnej ok. 15 min

7. Propozycja systemów kolei linowych dla warunków kolei widokowo-turystycznej w Muszynie

Na podstawie przeprowadzonej analizy propozycji tras kolei oraz wymagań i warunków technicznych jakie powinna spełniać ta kolej można poddać ocenie dwa systemy przedstawiono wcześniej w opracowaniu. Dalszej ocenie poddano następujące dwa rozwiązania systemów kolei.

7.1 Napowietrzna kolej jednolinowa gondolowa o ruchu okrężnym z pojazdami wyprężanymi

Napowietrzna jednolinowa kolej gondolowa o ruchu okrężnym z pojazdami wyprężanymi z liny nośno – napędowej jest systemem stosowanym obecnie w wielu stacjach turystycznych letnich i zimowych. System ten jest typowy dla funkcji dowozowych pasażerów i jest systemem rozwojowym, gdyż może pracować z minimalną lub maksymalną liczbą kabin i prędkością regulowaną w zakresie 1÷6 m/s. Projekt takiego systemu wykonuje się na maksymalne parametry techniczne (liczba kabin, prędkość) i Inwestor może eksploatować kolej z minimalną liczbą kabin, zwiększając stopniowo liczbę kabin do maksymalnej uwzględnionej w projekcie. Elastyczność tego systemu w tym zakresie jest bardzo istotna dla Inwestora, bo również decyduje o ewentualnym rozłożeniu na dłuższy okres kosztów inwestycji.

Poniżej zestawiono główne cechy charakteryzujące ten system:

- elastyczność i możliwość zwiększenia zdolności przewozowej w miarę postępowania czasu eksploatacji poprzez zwiększenie liczby kabin;
- rozłożenie na etapy kosztów inwestycji;
- stacje muszą zawierać urządzenia wprężające i przyspieszające ruch kabin oraz urządzenia wyprężające i zwalniające ruch kabin;
- obciążenie układu linowego od kabin rozłożone równomiernie, powodujące mniejsze tzw. strzałki ugięcia liny.
- Wymiary gabarytowe stacji dla pomieszczenia tylko urządzeń systemu – długość do ok. 18 m, szerokość do ok. 12 m;

- poziom natężenia hałasu zależny od konkretnego rozwiązania :
 - w stacji w zależności od obudowy ok. 65 dB;
 - na trasie ok. 50 dB;
- praktyczna potrzeba budowy garażu na kabiny kolei;
- koszt inwestycji przy porównywalnych parametrach eksploatacyjnych o ok. 15% wyższy w stosunku do kolei grupowej.

7.2 Napowietrzna kolej jednolinowa gondolowa o ruchu wahadłowym z grupą kabin

System ten nie znajduje tak licznych zastosowań jak omówiony poprzednio system kolei jednolinowych o ruchu okrężnym.

Technicznie trzy kabiny tworzące grupę mogą być połączone pomiędzy sobą lub poprzez wprężnięcie do liny nośno – napędowej zachować stałą odległość od siebie. Wprężła stałe łączące kabiny z liną nośno – napędową mają konstrukcje prostszą w stosunku do wpręgieł rozłącznych. Stacje w tym systemie nie mają urządzeń wprężających i wyprężających ale muszą mieć platformy o długościach wynikających z długości grupy kabin.

Niestety widoczność kabin jest zdecydowanie gorszą niż z pojedynczej kabiny kolei o ruchu okrężnym. Środkowa kabina nie zapewnia dobrego obrazu okolicy, gdyż skrajnie kabiny ograniczają ten widok.

System ten nie jest systemem elastycznym i rozwojowym gdyż projekt pierwotny w zasadzie w trakcie eksploatacji nie może być zmieniony dla np. zwiększenie zdolności przewozowej. Zdolność przewozową można dla danej grupy kabin regulować poprzez regulację prędkości jazdy.

Porównanie zdolności przewozowej kolei linowej dla różnych typów kolei przedstawia zamieszczona poniżej tabela

Tabela 7.1. Porównanie zdolności przewozowej dla kolei o długości ok. 1660 m

Typ kolei	Rodzaj kabin	Prędkość jazdy [m/s]	Czas jazdy [min.]	Zdolność przewozowa [osób/godz.]
Jednolinowa grupowa o ruchu wahadłowym	2 grupy po 3 kabiny 8-osobowe (24 osoby)	5.0	5 min 30 s	212
		5.5	5 min	227
		6.0	4 min 30 s	242
Jednolinowa wyprzęgana o ruchu okrężnym	min. 8 kabin 8 osobowych	5.0	5 min 30 s	340
		5.5	5 min	380
	16 kabin 8 osobowych	6.0	4 min 30 s	600
Dwulinowa	kabina 15-osobowa	5.0	5 min 30 s	125
	kabina 20-osobowa	5.5	5 min	200
	kabina 25-osobowa	6.0	4 min 30 s	270

Na podstawie oceny punktowej systemów kolei linowych w tabeli poniżej zestawiono istotne ich parametry oraz wartość oceny.

Tabela 7.2. Ocena istotnych parametrów

OCENA 0 –niekorzystny 1 2 ↓ 3 4 – bardzo korzystny	Jednolinowa grupowa o ruchu wahadłowym	Jednolinowa grupowa o ruchu okrężnym	Jednolinowa wyprężana o ruchu okrężnym	Dwulinowa o ruchu wahadłowym
Koszty nabycia powinny być niskie	4	4	4	1
Koszty eksploatacji powinny być niskie	3	3	3	3
Koszty całkowite powinny być niskie	3	3	3	3
Szczególnie ważny komfort przy wsiadaniu i wysiadaniu	4	4	4	4
Małe natężenie hałasu	3	3	2	4
Przeszkody na trasie, potrzebne skrzyżowanie	3	3	3	3
Wymagany transport w obu kierunkach	4	4	4	4
Transport osób starszych i niepełnosprawnych	4	2	3	4
Teren wyeksponowany na wiatr	2	2	2	2
Eksploatacja letnia i zimowa	4	4	4	4
Komfort jazdy	4	4	4	4
Widoczność terenu z kabiny	3	3	4	4
Możliwość podwyższenia zdolności przewozowej w trakcie eksploatacji	1	1	3	1
PODSUMOWANIE	42	40	43	41

Szacunkowe składowe kosztów inwestycji w mln Euro dla czterech omawianych w opracowaniu systemów kolei.

Tabela 7.3. Porównanie kosztów systemów

Składowe kosztów „technologii kolei”	Jednolinowa grupowa o ruchu wahadłowego	Jednolinowa grupowa o ruchu okrężnym	Jednolinowa wyprzęgana o ruchu wahadłowego	Dwulinowa o ruchu wahadłowym ATW
Stacja napędowa	2.00 mln €	2.05 mln €	2.15 mln €	3.00 mln €
Stacja przewojowa	0.90 mln €	0.95 mln €	1.05 mln €	1.50 mln €
Wypożyczenie trasy - podpory	0.50 mln €	0.50 mln €	0.65 mln €	2.00 mln €
Koszt kabin	6 kabin 0.15 mln €	6 kabin 0.15 mln €	8 kabin 0.24 mln €	2 kabiny 30-osobowe 1.00 mln €
Szacunkowy koszt „technologii kolei”	3.55 mln €	3.65 mln €	4.09 mln €	7.50 mln €
Fundamenty	0.20 mln €	0.20 mln €	0.35 mln €	0.50 mln €

Przedstawione koszty dotyczą „technologii” kolei dostarczanej przez producenta. Koszty technologii dla jednolinowych kolei obejmują standardowe obudowy stacji dostarczane przez producentów.

8. Podsumowanie

Mając na uwadze założenia dotyczące konstrukcji turystyczno-widokowej kolei w Muszynie-Zdroju oraz ogólną koncepcję tej kolei zaproponowaną przez Burmistrza dra Jana Golbę można sformułować następujące wyniki opracowanego "Studium realizacji turystyczno-widokowej kolei linowej w Muszynie". W wyniku przeprowadzonych analiz i ocen tak pod względem technicznym jak i ekonomicznym można wymienić następujące systemy kolei które spełniają przyjęte wymagania:

- a) jednolinowa kolej złożona z dwóch grup 8 osobowych niewyprzęganych kabin o ruchu wahadłowym;
- b) jednolinowa kolej o ruchu okrężnym z ośmioma kabinami wyprzęganymi w stacjach ,kabiny również 8 osobowe;
- c) dwulinowa kolej z dwoma kabinami 30 osobowymi o ruchu wahadłowym.

Jednolinowa grupowa kolej o ruchu wahadłowym wypełnia ogólnie techniczne i ekonomiczne oczekiwania Inwestora, z tym że jest to system tzw. sztywny tzn. bez możliwości zwiększenia zdolności przewozowej w czasie trwania eksploatacji. Skupione obciążenie liny nośno-napędowej pochodzące od miejscowego obciążenia grupą kabin powoduje, że linę kolei należy prowadzić na wyższych podporach ze względu na większą strzałkę ugięcia układu linowego. W tym systemie należy przewidzieć mniejsze rozpiętości przęseł układu linowego czyli zastosować większą liczbę podpór.

Pasażerowie znajdujący się w kabinach grupy będą mieli częściowo przysłonięty widok na otaczający teren przez sąsiednie kabiny. System powyższy z wyżej wymienionych względów nie jest zbyt często wybierany przez inwestorów i stanowi zwykle wykonanie specjalne-jednostkowe. Przedstawiony szacunkowy koszt tego systemu kształtuje się jednak najkorzystniej w porównaniu do dwóch wymienionych powyżej systemów kolei linowych.

Jednolinowa kolej z kabinami wyprzęganymi w stacjach poruszająca się ruchem okrężnym jest koleją najczęściej budowaną i ciągle udoskonalaną konstrukcyjnie i funkcjonalnie. Jest to system elastyczny pozwalający na etapowe zwiększanie

zdolności przewozowej poprzez zwiększanie liczby kabin. Ponieważ kabiny w stacjach są wyprężane i wprężane do liny nośno-napędowej, konieczna jest zabudowa w tych stacjach urządzeń realizujących te czynności. System ten wymaga budowy garażu do którego wprowadzamy kabiny po zakończeniu dziennej eksploatacji. Obciążenie układu linowego w tym systemie jest równomierne co skutkuje przęsłami o większej długości i mniejszą liczbą podpór. Współcześnie budowane stacje tego systemu odpowiadają wymiarami porównywalnymi do wymiarów stacji kolei grupowej. Szacunkowy koszt tego systemu jest wyższy o ok. 15% od systemu kolei grupowej.

Dwulinowa kabinowa kolej o ruchu wahadłowym spełnia również wymagania techniczne kolei widokowo-turystycznej, ale jest systemem dla którego niema możliwości zwiększania zdolności przewozowej w trakcie eksploatacji. Układ linowy kolei jest jednak podwojony w stosunku do kolei jednolinowej (lina nośna i napędowa). Pozwala to na znaczne zwiększenie długości przęseł kolei i stosowanie mniejszej liczby podpór. Jednak podpory muszą być wyższe z rozbudowaną konstrukcją głowic co skutkuje większymi gabarytami i masą fundamentów.

Natomiast budowie stacji są zdecydowanie większe gabarytowo a przez to znacznie droższe. Te uwarunkowania rzutują na szacunkowy koszt tego typu kolei, który jest ponad dwukrotnie wyższy od systemu kolei grupowej.

Przytoczone powyżej główne cechy (wady i zalety) trzech systemów pozwalają Inwestorowi podjąć właściwą decyzję odnośnie tej bardzo interesującej koncepcji kolei widokowo turystycznej w Muszynie-Zdroju.

Na rysunku 7.1 przedstawiono wstępną koncepcję wizualizacji z grupą 3 kabin, a na rysunku 7.2 z grupą 2 kabin.



Rysunek 7.1. Konceptcja wizualizacji kolei grupowej z grupą 3 kabin



Rysunek 7.2. Konceptcja wizualizacji kolei grupowej z grupą 2 kabin