

Tomasz Magiera¹Kinga Rząsa²

CZY KOLEJE LINOWO-TERENOWE MOGĄ STAĆ SIĘ CZĘŚCIĄ TRANSPORTU MIEJSKIEGO?

Koleje linowo-terenowe są mało rozpowszechnionym środkiem transportu w polskich miastach, natomiast obecnie na świecie zauważalny jest wzrost liczby inwestycji zawiązanych z tymi urządzeniami. W artykule przedstawiono opis techniczny kolei linowo-terenowej oraz przedstawiono dwa nietypowe rozwiązania tych środków transportu w Innsbrucku i Bilbao.

Wprowadzenie

Koleje linowo-terenowe, jak każde urządzenia transportu linowego, osiągają najwyższe zdolności przewozowe, jeśli stosowane są w terenach górzystych. Już w latach 80. XIX wieku w San Francisco powstał pierwszy system naziemnego transportu linowego w miastach. Tramwaj linowy, który powstał ze względu na brak efektywnego środka transportu miejskiego na pokrytym wzgórzami terenie, prawdopodobnie mógł być zainspirowany nowym wynalazkiem ówczesnych czasów, jakim był silnik parowy, a także był próbą przeniesienia kolei linowo-terenowych z górskich zboczy do miasta.

Pierwszą koleją linowo-terenową było urządzenie z 1504 roku, którym transportowano jedzenie do twierdzy Hohen-salzburg w Salzburgu. Była ona z początku napędzana siłą ludzkich mięśni, następnie używano do tego celu koni, a na początku XX wieku wprowadzono napęd elektryczny. [2]

Obecnie koleje linowo-terenowe są stosowane głównie w regionach górskich, gdzie służą w zimie narciarzom, a w lecie zapewniają transport turystów na szczyt. Jednakże używane są również do transportu ludzi na wzgórze z zabytkowymi budowlami, hotelami i innymi budynkami użyteczności publicznej.

W Polsce obecnie istnieją trzy koleje linowo-terenowe zapewniające ruch osobowy i jedna, która służy jedynie do celów transportowych. Urządzenia służące do transportu narciarzy zostały zainstalowane na Gubałówce w Zakopanem i na Górze Żar w Międzybrodziu Żywieckim, natomiast kolej na Górze Parkowej w Krynicy używana jest do przewożenia pieszych.

Czwarte urządzenie jest używane w Gdyni na Oksywskim Klifie i służy do transportu ryb i sprzętu rybackiego.

Kolej linowo-terenowa zazwyczaj posiada dwa wagony, które poruszają się ruchem wahadłowym po specjalnej trasie, a napęd przenoszony z silnika na pojazd jest realizowany za pomocą stalowej liny.

Charakterystyka systemów kolei linowo-terenowej

System kolei linowo-terenowej, pod względem rodzaju zastosowanych elementów technicznych do jej budowy i eksploatacji, możemy podzielić na następujące części:

- budynki stacyjne,
- układ napędowy z linią napędową,
- konstrukcja jezdni wraz z jej elementami,
- wagony.

Budynki stacyjne

System kolei linowo-terenowej składa się z dwóch budynków stacyjnych, na początku i na końcu trasy; może również być zastosowana stacja pośrednia, która jest umiejscowiona dokładnie w środku trasy. W obu budynkach znajdują się perony służące do wsiadania i wysiadania. W celu przyspieszenia i ułatwienia tych procesów pasażerowie wypuszczani i wpuszczani są z dwóch różnych stron wagonu. Nad trasą w stacjach znajduje się specjalna listwa, która zasila akumulatory wagonów, podczas ich postoju w stacjach.

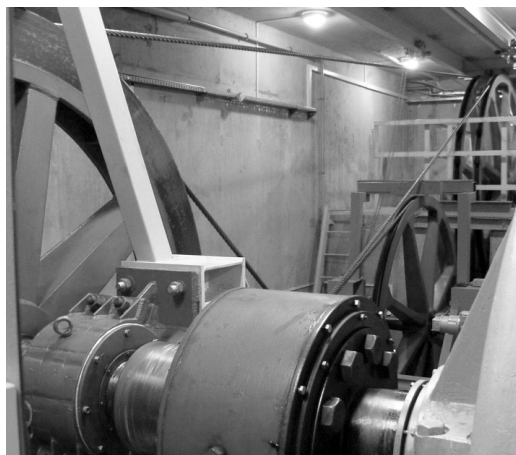
W podziemiach stacji górnej najczęściej zlokalizowana jest maszynownia. Nad nią na przedłużeniu trasy jest umiejscowiona sterownia, w której operator nadzoruje prawidłową pracę kolei. Może on w każdej chwili ją zatrzymać lub zmienić jej prędkość w zależności od panujących warunków. Na specjalnym panelu sterowniczym osoba nadzorująca pracę kolei ma podgląd na wszystkie ważniejsze parametry całego systemu (m.in. stan hamulców, prędkość kolei oraz na dokładną lokalizację wagonów na trasie).

Układ napędowy

Napęd kolei linowo-terenowej, w najczęściej stosowanych rozwiązaniach tych urządzeń, zainstalowany jest na stacji górnej. Składa się on z silnika (najczęściej asynchronicznego, przekładni (zębatej lub planetarnej) oraz koła napędowego (fot. 1).

¹ Mgr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Transportu Linowego, magiera@agh.edu.pl

² Mgr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Transportu Linowego, krzasa@agh.edu.pl



Fot. 1.
Układ napędowy
z kołami kierunko-
wymi (fot. Tomasz
Magiera)

Sterowanie układem napędowym prowadzone jest na drodze elektrycznej poprzez zmianę prędkości obrotowej wału silnika oraz mechanicznej za pomocą urządzenia hydraulicznego, które odpowiedzialne jest za hamowanie. Koleje linowo-terenowe posiadają dwa typy hamulców mechanicznych: ruchowy i główny, obydwa o działaniu pasywnym. Pierwszy z nich umieszczony jest na tarczy zamontowanej na wale szybkobieżnym silnika, drugi natomiast znajduje się przy kole napędowym. Siła hamulców wywierana na tarczy wynika z rozprężania się pakietów sprężyn talerzowych, które wcześniej ściskane są hydraulicznie (w razie zaniku ciśnienia hamulce zaciskają się).

W porównaniu do napowietrznych kolei linowych koło napędowe jest zdwojone i zamontowane w płaszczyźnie pionowej, a lina napędowa opasana przez dodatkowo zainstalowane koła. Rozwiązanie takie wpływa na podniesienie kąta opasania, co przekłada się na podniesienie sprzężenia ciernego (współczynnika udźwigu) pary kinematycznej lina-koło napędowe. Dodatkowo zamontowane w maszynowni są koła kierunkowe, które służą do prawidłowego wprowadzania i wyprowadzania liny z maszynowni na trasę. Lina napędowa z obydwu stron zakotwiona jest do wagonów na specjalnych bębnoch znajdujących się pod nimi.

Konstrukcja jezdna

Wagony poruszają się po szynach, które mogą być położone na specjalnie utwardzonym podłożu lub konstrukcjach stalowych. Pomiędzy szynami są zamontowane krążki jezdne, których zadaniem jest prowadzenie liny napędowej podczas jazdy. Dzięki ich zastosowaniu możliwe jest pokonywanie zakrętów na trasie (występuje wtedy zwiększona liczba krążków). Koleje linowo-terenowe zazwyczaj wyposażone są w jeden tor, po którym jeżdżą wagony, a ich mijanie następuje w samym środku trasy. Możliwe jest to dzięki specjalnemu ułożeniu trasy tzw. mijance, odchyleniu liny w tym miejscu w kierunku zewnętrznym oraz specjalnej konstrukcji kół wagonów od strony wewnętrznej.

Wagony

Koleje linowo-terenowe działają zazwyczaj w ruchu wahadłowym, co wymusza stosowanie dużych wagonów w celu zapewnienia odpowiedniej zdolności przewozowej. Pojazdy najczęściej posiadają 120 miejsc. Podzielone są one na prze-

działy, które ze względu na nachylenie trasy położone są na różnych poziomach. Trasa musi być tak wyprofilowana, aby jej nachylenie było w przybliżeniu stałe na całej długości, tak żeby podróżujący nie odczuwali dyskomfortu z powodu zmian pochylenia wagonu.

Z jednej strony pojazdu (wcześniej z obydwu) znajduje się miejsce, z którego maszynista steruje pracą wagonu. Odpowiada on za otwieranie i zamykanie drzwi, potwierdza gotowość wagonu do ruszenia, może sterować prędkością kolei oraz w razie niebezpieczeństwa wyzwolić hamulec wagonowy. Jadąc w drugą stronę, maszynista obserwuje trasę na monitorze poprzez zainstalowaną na drugim końcu pojazdu kamerę.

Podwozie wagonu składa się z dwóch wózków jezdnych. Każdy z nich posiada z jednej strony koła przystosowane do jazdy po szynach, natomiast po drugiej (wewnętrzna strona wagonu podczas mijania się) stronie zastosowane zostały koła w kształcie walców. Pozwalają one na bezpieczny przejazd, zapobiegając zahaczeniu się cięgna o wagon w miejscu mijania się pojazdów.

Latem najbardziej popularna wśród polskich turystów jest kolej linowo-terenowa na Gubałówkę w Zakopanem, natomiast zimą narciarze najchętniej korzystają z urządzenia transportującego ich na Górę Żar w Międzybrodziu Żywieckim. Obydwie koleje należące do przedsiębiorstwa Polskie Koleje Linowe S.A. zbudowane zostały w oparciu o rozwiązania techniczne, które zostały opisane powyżej. Jednakże na świecie w wielu miastach z roku na rok powstają nowe koleje linowo-terenowe z innowacyjnymi rozwiązaniami.

Kolej linowo-terenowa w Innsbrucku – Hungerburgbahn [1]

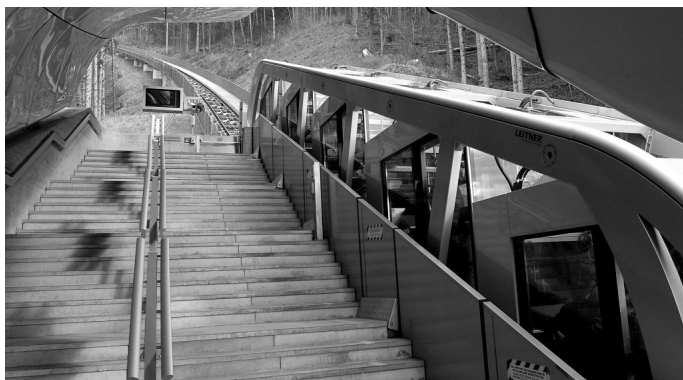
Kolej linowo-terenowa w Innsbrucku powstała w 2008 roku. Obecnie najbardziej znana na świecie jest nie z zastosowanych rozwiązań technicznych, ale z architektury budynków stacyjnych. W porównaniu do dużych gabarytów stacji innych kolei linowo-terenowych projekt architektoniczny, pod kierownictwem Zahy Hadid, cechuje się małymi wymiarami i dobrym wkomponowaniem w infrastrukturę miasta. Kolej nazwana Hungerburgbahn nie jest typowym publicznym środkiem transportu połączonym z systemem komunikacji miejskiej, aczkolwiek rozwiązania techniczne w niej wykorzystane mogą znaleźć zastosowanie w systemach transportu miejskiego

Kolej linowo-terenowa w Innsbrucku posiada cztery stacje, rozmieszczone symetrycznie na trasie, ze względu na ruch wahadłowy wykonywany przez to urządzenie (wagony są połączone jedną liną), co powoduje zatrzymywanie wagonów w tym samym czasie. Jednakże najciekawszym aspektem technicznym tego systemu jest to, że kolej ma swoją początkową stację pod jedną z ulic Innsbrucka, a końcową 288 metrów wyżej na szczycie jednej z gór. Po raz pierwszy zastosowano rozwiązanie pozwalające kolei linowo-terenowej na poruszanie się w zakresie nachylenia od 0 do maksymalnej dopuszczalnej wartości dla danego projektu, która w przypadku Hungerburgbahn wynosi około 49% (fot. 2).



Fot. 2. Konstrukcja jezdna z krążkami trasowymi (fot. Steven Dale)

Innowacja, która pozwala na tak dużą zmianę w tym systemie i umożliwia stosowanie go w miastach, została wprowadzona dzięki nowej konstrukcji wagonu (fot. 3). Pojazd składa się, jak typowe rozwiązania, z dwóch wózków jezdnych i ramy, w której każdy przedział został zamontowany osobno na specjalnych zawieszach. Zawieszenie przedziałów umożliwia im ustawianie się w pozycji poziomej pod wpływem siły grawitacji, niezależnie od zmieniającego się kąta nachylenia trasy. Pasażerowie podróżujący koleją nie odczuwają żadnych zmian w przedziale, a samo jego położenie zmienia się jedynie względem ramy całego wagonu.



Fot. 3. Wagon na stacji pośredniej (fot. Steven Dale)

Obecnie to rozwiązanie, nazywane koleją linowo-terenową hybrydową, zostało zastosowane jedynie w Innsbrucku. Jednakże istnieje duże prawdopodobieństwo, że stosowanie tego typu rozwiązań w miejscach o podobnym ukształtowaniu terenu lub w miastach, w których występuje potrzeba transportu na trasach o nachyleniu powyżej 10%, będzie coraz popularniejsze.

Kolej linowo-terenowa w Bilbao [3,4]

W chwili obecnej na terenie Aglomeracji Bilbao działają dwie linie metra, docierające z dzielnicy Basauri do stacji Plentzia na prawym brzegu i Santurtzi na lewym brzegu rzeki Narvion. W najbliższych latach planowana jest rozbudowa sieci o trzy nowe linie, dzięki czemu łączna długość

tras metra zwiększy się z 40,6 km do 68,3 km. Linie, które wówczas powstaną, będą łączyć centrum miasta z lotniskiem i dzielnicami San Antonio oraz Rekalde. Z pewnością przyczyni się to do jeszcze lepszej organizacji całego systemu komunikacji miejskiej, a pasażerowie będą mogli szybciej i wygodniej przemieszczać się po całej aglomeracji.

Inwestycje spółki zarządzającej metrem w Bilbao nie ograniczają się jedynie do rozbudowy tradycyjnych linii metra. Na początku września 2010 roku oddano do użytku kolej linowo-terenową łączącą stację metra Santurtzi z wyżej położoną dzielnicą Mamariga (fot. 4). Santurtzi to miasto portowe położone 17 km na północ od centrum Bilbao. Mamariga to zamieszkała przez około 6 tys. osób dzielnica położona u stóp góry Serantes. Nachylenie terenu w tej okolicy, dochodzące maksymalnie do 20%, było powodem podjęcia decyzji o wykorzystaniu kolei linowo-terenowej do połączenia tego gęsto zaludnionego obszaru z linią metra.



Fot. 4. Pojazdy kolei linowo-terenowej Santurtzi–Mamariga mijające się w tunelu (fot. Andreas Jenny)

Trasa kolei przebiega w całości w tunelu, wybudowanym specjalnie na potrzeby tej inwestycji. Pozwoliło to uniknąć problemów z rozmieszczeniem konstrukcji jezdnej w miejskim terenie, a także zredukować emisję hałasu do bardzo niskiego poziomu. W celu zapewnienia większej zdolności przewozowej zastosowano dwa równoległe tory. Długość trasy po stoku wynosi 353 m, a różnica poziomów pomiędzy stacjami 44 m.



Fot. 5. Układy napędowe kolei wraz z kołami kierunkowymi znajdujące się w stacji górnej (fot. Andreas Jenny)

W tunelu pracują dwie niezależnie działające koleje linowo-terenowe. Napędy obu pojazdów, umieszczone w stacji górnej, są sterowane indywidualnie, co umożliwia lepsze wykorzystanie możliwości przewozowych (fot. 5, 6). Każdy z nich posiada własną linię napędową, która jest napinana w stacji dolnej za pomocą urządzenia napinającego z ciężarem. Przewagą tego systemu jest możliwość poruszania się obu pojazdów w tym samym kierunku, jeśli zajdzie taka konieczność. Tradycyjne koleje linowo-terenowe poruszają się ruchem wahadłowym, a przez to nie umożliwiają tak dobrego dopasowania rozkładu jazdy do zapotrzebowania.

W przypadku awarii zasilania lub napędu głównego uruchamiany jest napęd awaryjny zasilany z akumulatorów umieszczonych w stacji górnej.



Fot. 6. Układ napinający linii napędowej zlokalizowany w stacji dolnej (fot. Andreas Jenny)

Zastosowanie nowoczesnych 45-osobowych pojazdów poruszających się z prędkością 6 m/s umożliwiło osiągnięcie zdolności przewozowej 550 os./h. Czas przejazdu pomiędzy stacjami wynosi 2 minuty. Aby zmniejszyć ciężar pojazdów, a tym samym zapotrzebowanie na energię, zastosowano wózki jezdne z pojedynczymi kołami. Każdy z wagonów ma długość 6,8 m, szerokość 2,1 m i masę 8 tys. kg. Budowa pojazdów sprawia, że tylko 10% pasażerów może podróżować w pozycji siedzącej. Ograniczenie liczby miejsc siedzących pozwala na zmniejszenie gabarytów i masy pojazdów przy zachowaniu wysokiej zdolności przewozowej. Czas jazdy kolei jest na tyle krótki, że pasażerowie nie powinni odczuwać tego powodu dyskomfortu. Automatyzacja ruchu kolei sprawiła, że nie jest konieczne zatrudnianie obsługi pracującej w wagonach, a przestrzeń pojazdu jest w całości przeznaczona dla pasażerów.

Perony wyposażone są w przezroczyste, przesuwne, automatycznie sterowane drzwi zabezpieczające oczekujących na pojazd pasażerów przed upadkiem na konstrukcję jezdnią. Górna stacja Mamariga, zlokalizowana w pobliżu Plaža Virgen del Mar, wyposażona została w charakterystyczne dla całej sieci metra w Bilbao futurystyczne wejście, zbudowane ze szkła i stali (fot. 7).



Fot. 7. Wejście do stacji górnej zaprojektowane przez słynnego architekta Normana Foster'a (fot. Andreas Jenny)

Częstotliwość kursowania kolei jest na bieżąco dostosowywana do zapotrzebowania. Wagony odjeżdżają według ustalonych rozkładów jazdy, ale jeśli zapełnią się przed planowanym czasem odjazdu, kolej odjeżdża wcześniej. Pozwala to na uniknięcie nadmiernego tłoku w pojazdach, a także racjonalne wykorzystanie kolei w czasie mniejszego natężenia ruchu. Częstotliwość odjazdów wagonów w okresie zimowym wynosi od 2,5 do 3 minut w godzinach 7:30 do 20:30.

Podsumowanie

Koleje linowo-terenowe, jak większość rozwiązań transportu linowego, z roku na rok instalowane są w coraz większej liczbie miast. Nie służą już wyłącznie w ruchu turystycznym jako środek transportu na szczyty gór, ale dodatkowo stają się częścią systemu komunikacji miejskiej. Cena systemu niestety jest wciąż bardzo wysoka w stosunku do długości trasy, jaką mogą one obsługiwać. Jednakże w niektórych przypadkach, w związku z ukształtowaniem terenu, mogą być jedynym środkiem transportu możliwym do zastosowania. Dzięki nowym osiągnięciom technicznym możliwe stało się budowanie kolei linowo-terenowych w miejscach, które dotychczas były trudne do zagospodarowania. Są one idealnym rozwiązaniem transportu miejskiego na terenach górzystych o zmiennym nachyleniu trasy, możliwe jest zastosowanie ich w tunelach, co zapewnia bezkolizyjny przejazd, szczególnie ważny w miejscach o dużym natężeniu ruchu drogowego. Niska emisja hałasu i umieszczenie napędów w stacjach, a nie w pojazdach, sprawia, że są bardzo ekologicznym środkiem transportu, co umożliwia stosowanie ich również w obszarach chronionej przyrody (np. w sąsiedztwie parków narodowych, w miejscowościach uzdrowiskowych).

Literatura

1. www.gondolaproject.com
2. www.funimag.com
3. *Metro w Bilbao: Częstotliwośćjazd w zależności od potrzeb*, „Magazyn dla Klientów i Współpracowników firmy Doppelmayr WIR”, 2010, nr 182.
4. www.andys-travels.com