

Napowietrzne koleje linowe

– zarys historyczny i współczesne rozwiązania techniczne

Mgr inż. Marta Knawa-Hawryszków, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Wroclawska

1. Wprowadzenie

Kolej linowa jest środkiem transportu przeznaczonym do przewozu ludzi lub materiałów za pomocą urządzeń jezdnych połączonych z systemem lin. Współczesny rozwój w dziedzinie tych konstrukcji jest związany głównie z aktualnymi potrzebami różnego rodzaju form ruchu turystycznego, a także coraz częściej z potrzebą alternatywnego środka komunikacji w obszarach śródmiejskich.

Zaletami transportu kolejną napowietrzną są przede wszystkim [1]:

- możliwość łatwego pokonywania przeszkód terenowych, odcinków o znacznych różnicach wysokości terenu i docierania do trudno dostępnych pod względem logistycznym miejsc,
- bezkolizyjność, pozwalająca na prowadzenie trasy kolei linowej na obszarze, gdzie ze względu na brak miejsca nie jest możliwe zastosowanie innego środka

transportu, lub gdzie istnieją już naziemne środki transportu, które są przeciążone,

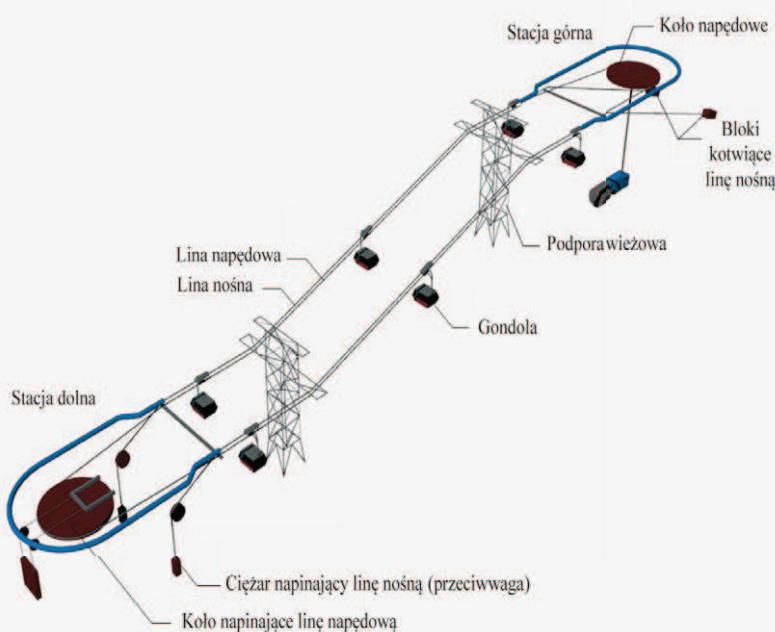
- łatwość utrzymania w sprawności trasy, zwłaszcza w warunkach zimowych,
- możliwość łatwej mechanizacji i automatyzacji ruchu,
- w przypadku, gdy nie ma gotowych dróg komunikacyjnych, konkurencyjne koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.

2. Ogólna charakterystyka napowietrznych kolei linowych

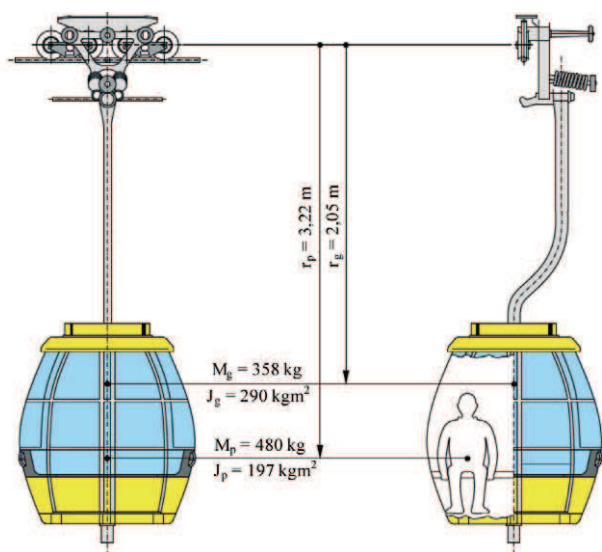
W skład każdej napowietrznej kolei linowej wchodzi następujące podstawowe elementy (rys. 1): stacja początkowa i końcowa (rzadko pośrednia), podpory pośrednie (trasowe), liny, układ napinający i napędowy, urządzenia jezdne (np. gondole – rys. 2), system bezpieczeństwa (ewakuacyjny) oraz urządzenia sterujące i kontrolujące.

Wśród napowietrznych kolei linowych można wyróżnić te o dużym nachyleniu trasy (w terenach górzystych, zimowych ośrodkach rekreacyjnych) oraz takie, których trasa jest prawie lub całkowicie pozioma (np. na terenach wystawowych lub w miastach) – rysunek 3.

Nachylenie trasy kolei wieloprzelotowej zwykle scharakteryzowane jest przez różnicę rzędnych poziomów terenu, na których zlokalizowane są stacje dolna i górna. Podawana jest także często wartość procentowa tzw. średniego kąta nachylenia trasy, gdzie przyjmuje się, że 100% to kąt 45° . W przypadku konieczności prowadzenia trasy lin o dużym nachyleniu bardzo dobre rozwiązanie stanowią systemy kolei dwulinowych. Tylko w wyjątkowych sytuacjach, gdy trasa do pokonania jest bardzo długa lub gdy można wyróżnić odcinki, które znacznie różnią się nachyleniem, konstruowane



Rys. 1. Przykład kolei gondolowej dwulinowej o ruchu okrężnym z pojazdami wyprężanymi



Rys. 2. Schemat urządzenia jezdne (gondoli)

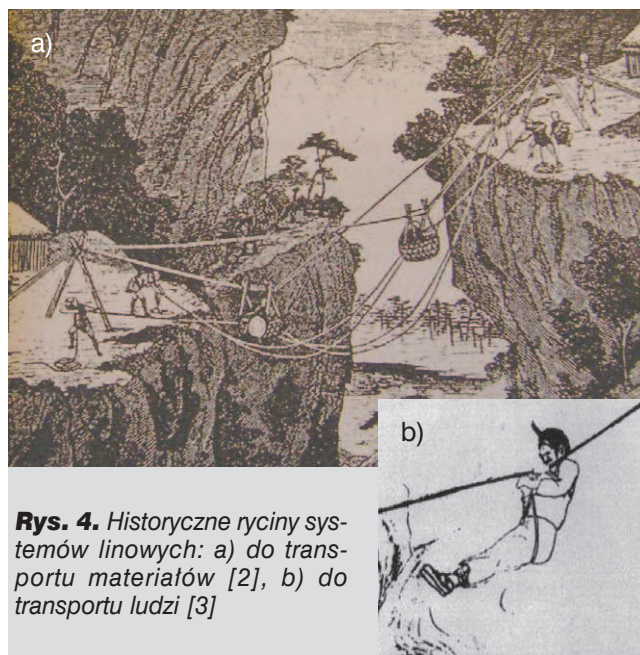


Rys. 3. Kolej linowa o trasie: a) nachylonej – „Titlis” w Engelberg w Szwajcarii (fot. M.K-H), b) poziomej – „Elka” w Parku Śląskim w Chorzowie (fot. T. Ibrom) [7]

są pośrednie stacje napinające. Służą one ograniczeniu dystansu, na którym realizowany jest naciąg liny nośnej oraz, jeśli jest to niezbędne, zbalansowaniu różnic w wartościach naciągu. Stacje pośrednie do wsiadania i wysiadania są obecnie rzadko stosowane (przykładem jest kolej linowa na Kasprowy Wierch).

3. Zarys historyczny i rozwój kolei linowych

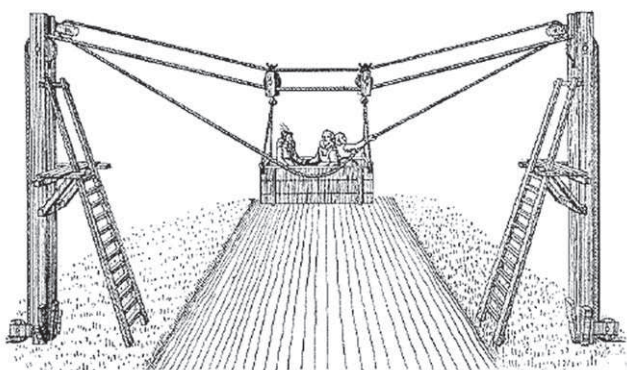
Koleje linowe są zaliczane do jednych z najstarszych środków transportu na świecie. Ich prototypy składały się z lin konopnych oraz słomianego kosza i początkowo służyły głównie do transportu materiałów oraz towarów u ludów kultur wschodu – Chińczyków, Japończyków, Hindusów oraz ludów południowoamerykańskich. Pierwsze ślady systemów linowych, za pomocą których



Rys. 4. Historyczne ryciny systemów linowych: a) do transportu materiałów [2], b) do transportu ludzi [3]

transportowano materiały do budowy fortyfikacji, można odnaleźć na pochodzących z około 400 lat p.n.e. chińskich rycinach (rys. 4a, [2]). Rozwiązania z zastosowaniem lin do transportu osób również sięgają daleko wstecz. Z obszarów Południowych Chin, datowane na około 250 lat p.n.e., pochodzą historyczne ilustracje pierwszych zastosowań lin do transportu ludzi (rys. 4b, [3]). Wnioskować można z tego, że służyły one jako w pełni uznane środki komunikacji na długo przed wynalezieniem innych środków transportu.

W 1616 roku Fausto Veranzio jako pierwszy zilustrował dwulinową kolej pasażerską (rys. 5), a w 1644 roku zbudowano pierwszy tego typu system kolei linowej [4]. W XIX wieku na terenie Europy i Ameryki dużą popularnością zaczęła cieszyć się turystyka górską, czego skutkiem był wzrost zapotrzebowania na systemy transportu w terenach górzystych. Sprzyjające takim wyzwaniom czasy Rewolucji Przemysłowej i wynalazek liny stalowej w 1834 roku w Niemczech umożliwiły budowanie różnych systemów kolei linowych. Pierwszą kolej wybudowano w Meran (Tyrol Południowy) i było to wydarzenie, które miało istotny wpływ na rozpowszechnienie kolei linowych do przewozu ludzi. Początkowo większość z nich była kolejami terenowymi, z pojazdami poruszającymi się po torach i ciągniętymi za pomocą lin (np. słynny tramwaj linowy w San Francisco wybudowany w 1872



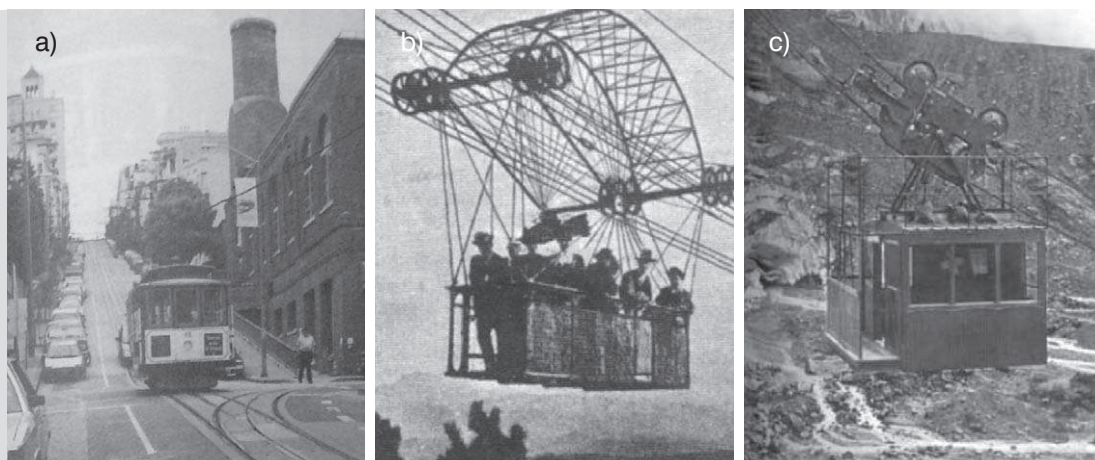
Rys. 5. Dwulinowy system z początku XVII wieku [4]

Liderem w rozwijaniu wczesnej technologii kolei linowych była Europa, w szczególności Niemcy i kraje alpejskie: Austria i Szwajcaria, do których później dołączyły Włochy oraz Francja. Intensywny rozwój transportu linowego rozpoczął się między 1955 a 1965 rokiem w Europie i w latach 1965-1975 w USA i Kanadzie, a później w Skandynawii oraz Japonii.

W ciągu kolejnych dziesięcioleci nastąpił znaczny rozwój kolei linowych na świecie, co doprowadziło do powstania wielu typów systemów. Ogólny trend rozwoju kolei i wyciągów narciarskich w latach 1975-1999 pod względem liczby obiektów przedstawiono na rysunku 7. Na rysunku 8 przedstawiono rozkład procentowy na kraje świata ogólnej liczby kolei linowych [5].

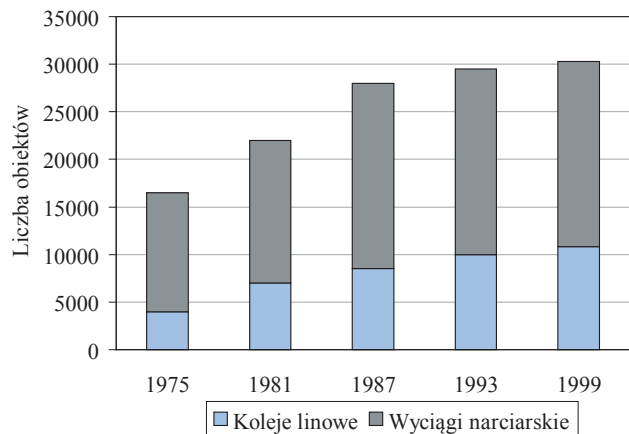
Znaczącym wynalazkiem w zakresie systemu linowego

Rys. 6. Przykłady pierwszych kolei linowych: a) kolej terenowa w San Francisco [5], b) kolej napowietrzna w San Sebastian [3], c) tramwaj „jigback” w Grindelwaldzie [2]

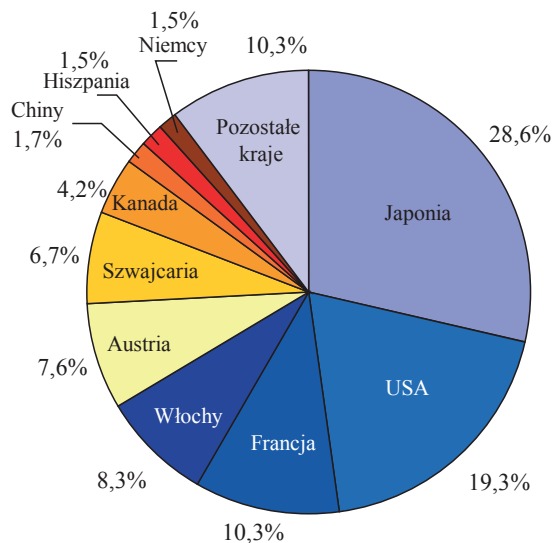


roku – rys. 6a). Rozwój kolei napowietrznych nastąpił nieco później, niedługo po 1900 roku. Znakomity przykład stanowi tutaj oddana do użytku w 1907 roku kolej linowa o ruchu wahadłowym w San Sebastian w Hiszpanii (rys. 6b). Rok później, w Grindelwaldzie (Szwajcaria) powstał jeden z pierwszych systemów typu „jigback” – tramwaj napowietrzny o dwóch równoległych linach nośnych, po których poruszały się dwa pojazdy w przeciwnych kierunkach (rys. 6c).

kolei o ruchu okrężnym był system ze zdwojoną liną nośno-napędową, tzw. DMC (Double Mono Cable), wymagający dwóch, w pełni zsynchronizowanych napędów i umożliwiający transport przy stosunkowo silnym bocznym wietrze. Pierwsza tego typu instalacja została zbudowana we Francji w ośrodku turystycznym Sierre Cheva-



Rys. 7. Rozwój ilościowy kolei linowych i wyciągów narciarskich w latach 1975-1999 na świecie [5]



Rys. 8. Rozkład procentowy na kraje świata ogólnej liczby kolei linowych [5]



Rys. 9. Systemy kolei linowych: a) „Funitel” w Val Thorens, Francja [7], b) „L'Olympique” w Val d'Isère, Francja [8], c) „Funifor” w Alagna, Włochy [8]

lier. W drugiej połowie lat osiemdziesiątych opracowany został system *DLM (Double Loop Monocable)*, w którym zastosowano tylko jeden układ napędowy. Częściowe połączenie obu tych systemów doprowadziło w efekcie do powstania nowoczesnej kolei linowej typu „*Funitel*”, której pierwsza realizacja datowana jest na 1990 rok (Val Thorens, Francja) – rysunek 9a.

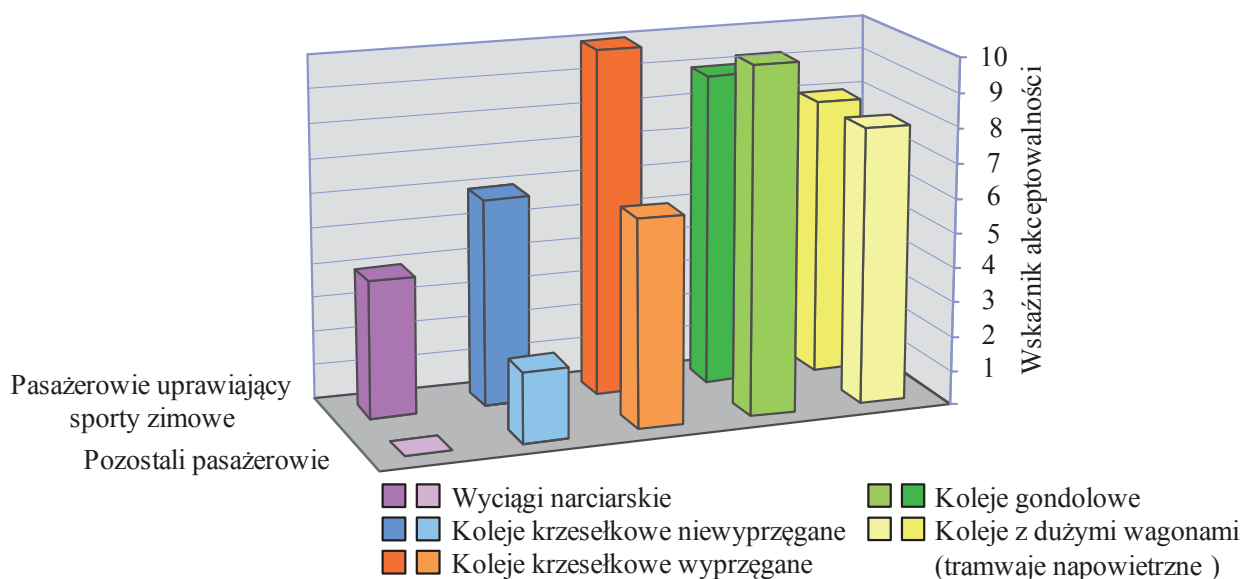
Dalsze modyfikacje systemów kolei linowych związane były głównie z różnymi sposobami zawieszania pojazdu na linii, wprzęgania i wyprzęgania oraz prowadzenia pojazdu w obrębie stacji, z wielkością i funkcjonalnością kabin, a także z udoskonalaniem urządzeń napędzających i sterujących. Stosunkowo nowymi systemami są koleje trójlinowe z dwiema linami nośnymi (rys. 9b) oraz opatentowany przez firmę Doppelmayr Garaventa Group system „*Funifor*” (rys. 9c).

Trudno jest określić dokładnie ogólną liczbę kolei linowych na świecie, gdyż brak miarodajnych statystyk, a ponadto różne systemy są demontowane, przerabiane i przenoszone na inne miejsca. Zgodnie z danymi Międzynarodowej Organizacji Transportu Linowego O.I.T.A.F (Organisation Internationale Transport a Fune) szacunkowa liczba eksploatowanych kolei linowych na świecie prze-

kracza 30 000, z czego większość znajduje się w Europie. Spośród nich najczęściej stosowane systemy to jedno- i dwulinowa kolej gondolowa o ruchu okrężnym, kolej krzesłkowa (głównie w ośrodkach narciarskich), a także dwulinowa kolej o ruchu wahadłowym (tzw. tramwaj napowietrzny).

Obecnie koleje *gondolowe* i *krzesłkowe* zaliczają się do najczęściej stosowanych systemów. Jak wskazują statystyki podane przez firmę Doppelmayr Garaventa Group w raporcie zatytułowanym „*Trends in ropeway technology*” z 2004 roku [6], koleje gondolowe (w tym jedno- i dwulinowe) charakteryzują się drugim co do wielkości wskaźnikiem akceptowalności wśród pasażerów uprawiających sporty zimowe i najwyższym wśród reszty pasażerów (rys. 10).

O popularności stosowania kolei *gondolowych* stanowią m.in.: wysokie bezpieczeństwo i komfort jazdy, łatwość wsiadania i wysiadania dla narciarzy oraz turystów pieszych, duża przepustowość i ciągły przewóz pasażerów dzięki stałej prędkości operacyjnej, a co za tym idzie możliwa do osiągnięcia wysoka wydajność przewozowa na długich dystansach, ekonomia w zużyciu energii itp.



Rys. 10. Wskaźnik akceptowalności różnych systemów kolei linowych przez turystów [6]



Rys. 11.
Przykłady napowietrznych kolei liniowych do transportu: a) wapienia z kopalni w Piechcinie do zakładu produkcji cementu [7], b) samochodów osobowych w fabryce [8]

Najdłuższa na świecie pasażerska kolej linowa znajduje się w Armenii. Jej trasa o długości 5,7 km przebiega nad malowniczym kanionem rzeki Worotan i wiodzie do średniowiecznej twierdzy Tatew. Kolej otwarto w 2010 roku i jest ona dłuższa o 1,3 km od kolejki w amerykańskim stanie Nowy Meksyk, uchodzącej dotąd za najdłuższą (4,5 km).

4. Klasyfikacja systemów

Zasadniczym kryterium klasyfikacji kolei linowych jest ich przeznaczenie. Wyróżnia się koleje służące do transportu materiałów oraz koleje przeznaczone do przewozu osób. Jako przykład tych pierwszych można podać systemy stosowane w przemyśle wy-

dobyczym do przewozu urobku pomiędzy wyrobiskiem a zakładami przerobczymi (rys. 11a), w terenach o bardzo trudnych warunkach naturalnych (wysokich wzniesieniach, licznych rzekach, rozległych dolinach) do transportu surowców lub materiałów budowlanych, w lasach do transportu drewna, w fabrykach (rys. 11b) itp.

Grupę kolei linowych napowietrznych można usystematyzować według dwóch zasadniczych kryteriów. Pierwszym z nich jest liczba lin oraz ich funkcja w systemie linowym. Wyróżnia się trzy główne typy kolei:

- **kolej jednolinowa** – system linowy stanowi jedna lina nośno-napędowa, rozpięta pomiędzy kotłem napędowym i napinającym (obwód zamknięty), do której pojazdy są doczepiane za pomocą wprzęgieł (rys. 12a). Nietypowymi rozwiązaniami są tutaj koleje ze zdwojoną lina nośno-napędową, w której dwie biegnące równoległe liny nośno-napędowe tworzą tor kolei (tzw. system *DMC* z dwiema oddzielnymi linami lub systemy *DLM* i „*Funitel*” z jedną lina w podwójnej pętli – rysunek 9a);

- **kolej dwulinowa** – system linowy składa się z liny nośnej, po której porusza się pojazd oraz liny napędowej, za pomocą której pojazd jest ciągnięty. Funkcje lin są tutaj podzielone: pierwsza podtrzymuje, a druga napędza pojazd – rysunek 12b);

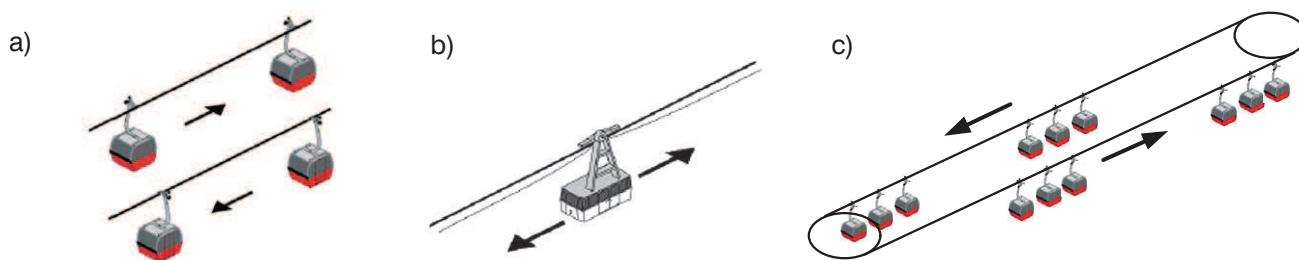
- **kolej samojezdna** – zawiera tylko lina nośną (jedną lub kilka), po której porusza się pojazd posiadający własny napęd. Z powodu pewnych ograniczeń dotyczących niewielkich kątów nachylenia trasy ten rodzaj kolei nie jest szeroko rozpowszechniony i jest stosowany prawie wyłącznie jako urządzenie systemu ewakuacyjnego.

Koleje dwulinowe charakteryzują się: lepszą odpornością na oddziaływanie wiatru, możliwością przewożenia znacznych ciężarów, możliwością pokonywania znacznych przewyższeń i dostosowania do warunków terenowych, np. w zakresie liczby i usytuowania podpór trasowych. W przypadku kolei dwulinowych jest możliwe pokonywanie długich tras przy użyciu mniejszej liczby podpór trasowych, a zatem przeloty mogą mieć duże rozpiętości. Dodatkowo można wyróżnić koleje nietypowe wielolinowe, w przypadku których w systemie linowym może być zarówno kilka lin nośnych, jak i napędowych – w zależności od rozwiązań konstrukcyjnych, np. rysunki 9b i 9c.

Drugim kryterium jest rodzaj ruchu pojazdów. Rozróżnia się:



Rys. 12. Przykłady gondolowych kolei napowietrznych: a) kolej jednolinowa w Funchal, Madera (fot.M.K-H), b) kolej dwulinowa na Mont Seuc w Ortisei, Włochy [9]



Rys. 13. Klasyfikacja kolei ze względu na rodzaj ruchu: a) ciągły okrężny, b) wahadłowy, c) pulsacyjny

• **koleje linowe o ruchu okrężnym ciągłym** – dla obydwu kierunków jazdy (w górę i w dół) istnieje oddzielny tor, który jest nazywany tokiem jazdy. Kierunek poruszania się pojazdów pomiędzy stacjami nie zmienia się w czasie normalnej pracy (jest okrężny) i odbywa się ze stałą prędkością liny napędowej lub nośno-napędowej. Pojazdy mogą być zamocowane do liny na stałe lub w sposób umożliwiający ich wyprzęgnięcie w obrębie stacji, rysunek 13a;

• **koleje linowe o ruchu wahadłowym** – pojazdy poruszają się po tym samym torze w obu kierunkach ruchem posuwisto-zwrotnym, rysunek 13b;

• **koleje linowe o ruchu pulsacyjnym** – lina napędowa porusza się w sposób przerywany albo z prędkością zmieniającą się okresowo w zależności od położenia pojazdu (np. pojazdy poruszają się wolniej w trakcie przejazdu przez podpory lub zbliżając się do stacji). Pojazdy są wtedy zwykle na stałe połączone z liną i mogą być zgrupowane po kilka w stałych odstępach, rysunek 13c.

W kolejach linowych o ruchu okrężnym najczęściej stosowane są takie typy pojazdów jak gondole zamknięte lub krzeselka (otwarte lub z osłoną), zaś w systemach o ruchu wahadłowym stosuje się większe pojazdy na-

zywane kabinami lub wagonami (tzw. tramwaje napowietrzne). Kolej linowa o ruchu pulsacyjnym są z reguły gondolowe, z gondolami zamkniętymi lub otwartymi (tylko dla pasażerów stojących).

Ze względu na rodzaj mechanizmu służącego do połączenia pojazdu z liną napędową lub nośno-napędową wyróżnia się pojazdy o wprzęgłach rozłącznych lub stałych. Zatem konsekwentnie występują dwa typy systemów kolei:

• **wyprzęgane** – pojazd jest wyprzęgany z liny w obrębie stacji i prowadzony po szynie, aż do momentu ponownego wprzęgnięcia do liny napędowej (nośno-napędowej),

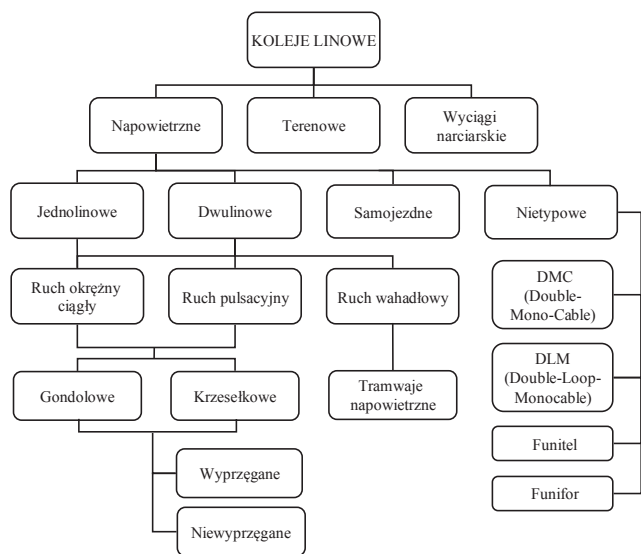
• **niewyprzęgane** – pojazd pozostaje w stałym położeniu na linii podczas ruchu kolei.

Kombinacja cech według wymienionych powyżej kryteriów klasyfikacji prowadzi do wyodrębnienia wielu różnych typów kolei linowych. Ogólny schemat przedstawiający klasyfikację pasażerskich kolei linowych został pokazany na rysunku. 14.

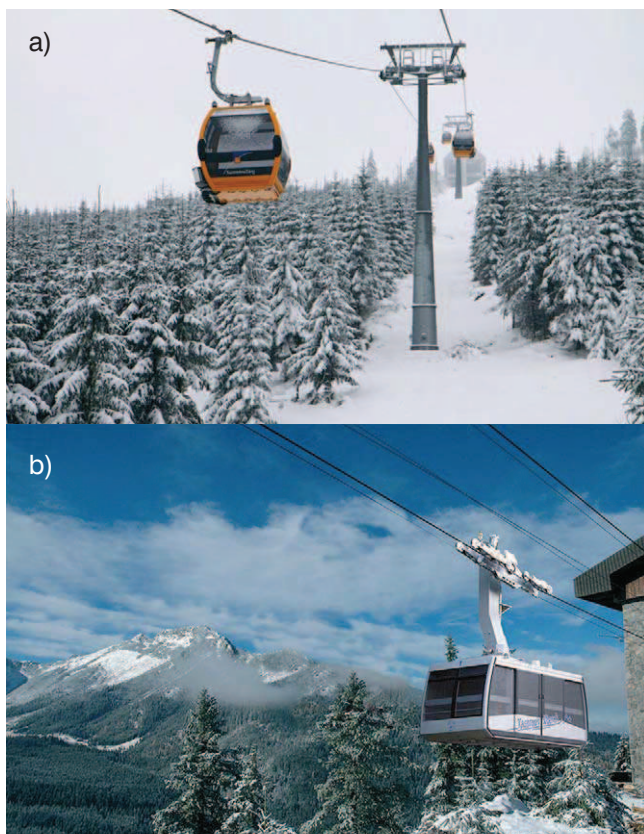
5. Podsumowanie

Obecnie w Polsce jest eksploatowanych ponad 50 kolei linowych (w tym gondolowych, krzeselkowych i terenowych), przy czym większość z nich powstała niedawno – jeszcze w 1999 roku funkcjonowały zaledwie 22 obiekty. Liczebność i stan wielu użytkowanych instalacji stawia nasz kraj na dość odległym miejscu w porównaniu do innych krajów europejskich. Jednak realizacja i modernizacja kilku obiektów, które odpowiadają współczesnym wymaganiom technicznym (np. kolej w Świeradowie Zdroju – rysunek 15a, kolej na Szyndzielnię, Jaworzynę Krynicką, Kasprowy Wierch – rysunek 15b) stanowią przykłady pozytywnych zmian.

Pierwsza inwestycja budowy kolei linowej do celów komunikacji w mieście została zrealizowana we Wrocławiu w 2013 roku (rys. 16). Kolej gondolowa, dwulinowa ruchu wahadłowym powstała na terenie Politechniki Wrocławskiej. Łączy kampus uczelni przy ul. Wybrzeże Wyspiańskiego oraz kompleks badawczy „Geocentrum” przy ul. Na Grobli, które są zlokalizowane na dwóch brzegach rzeki Odry. Na długości trasy równej 373 m (mierzonej w rzucie) znajdują się dwie słupowe podpory trasowe w rozstawie 268 m, o wysokości całkowitej

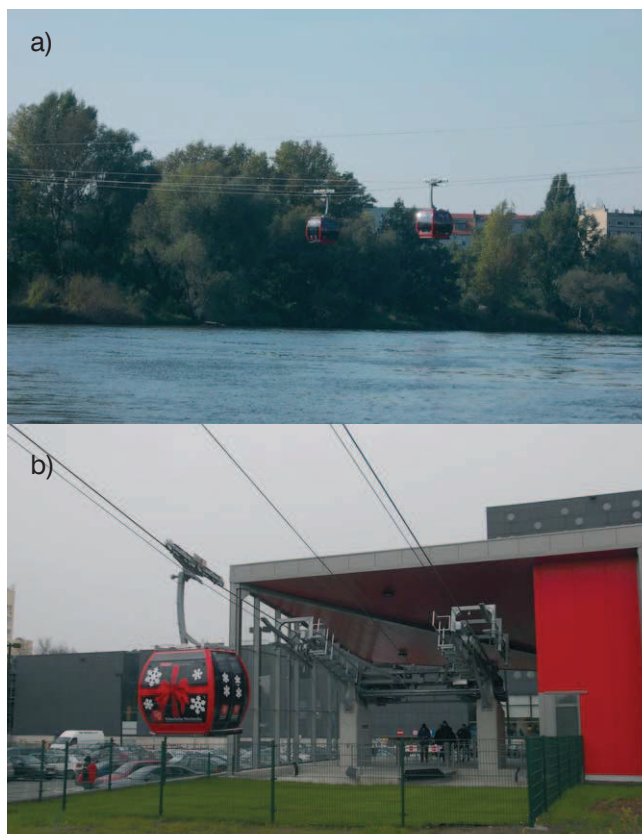


Rys. 14. Schemat przedstawiający klasyfikację pasażerskich kolei linowych



Rys. 15. Przykłady nowoczesnych napowietrznych kolei linowych w Polsce: a) jednolinowa w Swieradowie Zdroju [10], b) dwulinowa na Kasprovy Wierch [11]

22,0 m i 19,12 m (odpowiednio 17,60 m i 14,62 m licząc od poziomu terenu do zawiesia liny). Stacja „Na Grobli” jest stacją napędową o napędzie elektrycznym, a stacja „Wybrzeże Wyspiańskiego” przewojową. Podróż w dwóch 15-osobowych gondolach, z których każda startuje z przeciwległej stacji, odbywa się z prędkością 5 m/s w czasie niecałych 2 min. Przepustowość kolei w każdym kierunku wynosi 366 os/h. Kolej służy głównie jako środek transportu dla studentów i pracowników uczelni, a także jako lokalna atrakcja turystyczna miasta, gdyż w czasie przeprawy przez Odrę można podziwiać widok Ostrowa Tumskiego. Stanowi rozwiązanie alternatywne dla typowych realizacji służących skomunikowaniu terenów na dwóch brzegach rzeki, czyli kła-



Rys. 16. Gondolowa Kolej Linowa Politechniki Wrocławskiej „Polinka” na terenie kampusu (fot. M.K-H)

dek dla pieszych, a jednocześnie jest znakiem innowacyjnego miejskiego transportu zbiorowego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Stachurski J., Podnośniki i kolejki linowe, PWN, Warszawa 1972
- [2] Doppelmayr A., Warunki projektowania napowietrznych kolei jednolinowych o ruchu okrężnym, Wolfurt 1997, polskie wydanie opracowane przez AGH w Krakowie
- [3] Hoffmann K., Recent Developments in Cable-Drawn Urban Transport Systems, FME Transactions, vol. 34, nr 4, Belgrad, 2006, str. 205-212
- [4] Löhr M., Adams simulation for ropeway technology, Institute for Material Handling, Material Flow, Logistics, Technical University of Munich
- [5] Wójcik M., Koleje linowe w Europie i świecie, Zeszyty Naukowo-Techniczne Katedry Transportu Linowego AGH ; z. 20, 2000, str. 14-30
- [6] Doppelmayr Garaventa Group, Trends in ropeway technology, Raport firmowy, 2004
- [7] www.wikipedia.org
- [8] www.doppelmayr.com
- [9] www.lift-world.info
- [10] www.kolejgondolowa.pl
- [11] www.pkl.pl

www.przegladbudowlany.pl/archiwum



Archiwum od ręki
 archiwalne spisy treści
 na stronach www