Techniczne środki i systemy transportu bliskiego

Transport linowy osobowy i towarowy

- koleje linowe napowietrzne (osobowe kabinowe, gondolowe i krzesełkowe, tramwaje powietrzne, towarowe kubełkowe i czerpakowe)
- koleje linowe terenowe (linowo-szynowe, wyciągi narciarskie i dla miłośników snowboardu, tzw. sanie na torze śnieżnym)

Zarys rozwoju transportu linowego

- Początki transportu linowego sięgają starożytności: Japonia i Indie.
- Wiek XV - stosowany w fortyfikacjach miejskich Europy do przewożenia uzbrojenia i żywności
- rok 1834 (Francja) A. Bertgrat wynalazcą liny stalowej,
- rok 1865 (Anglia) - patent na kolej linową - (p. Robinnson)
- rok 1861(Niemcy) von Ducker buduje pierwszą na świecie kolej linową z podwieszonym wagonikiem
- rok 1934 (Szwajcaria - Davos) pierwszy wyciąg narciarski
- rok 1644 Gdańsk - pierwszy system transportu linowego do budowy fortyfikacji
- rok 1938 Kasprowy Wierch - pierwsza linowa kolej górska (długość ok. 4200 m)

Transport linowy: środek transportu, w którym pojazdy (kabiny, wagoniki, sanie, transportery, krzesełka, uchwyty dla narciarzy, itp..) są ciągnione przez linę napędową.

Podział klasyfikacyjny kolei i wyciągów linowych (wg. PN-M/46000:1997)

A) Ogólny z uwagi na usytuowanie liny i położenie pojazdu

- kolejki linowe napowietrzne (Kasprowy, (jednolinowe, dwulinowe
- kolejki linowe naziemne (tor szynowy - Gubałówka; tor śnieżny - wyciągi saniowe, narciarskie)
- specjalne (np. część trasy jako napowietrzne, a część trasy na szynach stałych; z własnym napędem, itp..)

B) ze względu na przeznaczenie

- towarowe (najdłuższa w Laponi Szwedzkiej - 96 km, 503 podpory, nad terenem bagnistym na palach żelbetowych; największy wznios/spadek - w Pirenejach o długości 1950 m i różnicy poziomów 1250 m stąd spadek 85% (max - 125%), max. zdolność przewozowa do 5000 [t/h]
- osobowe max. zdolność przewozowa do 7000 [osób/h]

C) pod względem rodzaju ruchu

- koleje o ruchu wahadłowym: standardowa graniczna prędkością jazdy wagoników jest v < 8 m/s - obawa przed spadnięciem wózka wagonika z liny w czasie oblodzeń; (przykład - kolej w Alpach z Chamonix na Aiguille de Midi: v=10,2 m/s)
- koleje o ruchu okrężnym
- koleje o ruchu przerywanym

D) pod względem rodzaju toru

- koleje z lina ruchomą
- koleje z liną nieruchomą
- koleje o torze szynowym
- koleje o torze śnieżnym

E) pod względem zdolności przewozowej

a) osobowe: ciężkie - np. w Davos , w Chamonix na Mont-Blanc
kabinowe (gondolowe) - np. Jaworzyna Krynicka
krzesełkowe koleje linowe (jednoosobowe, dwuosobowe , czteroosobowe)

b) towarowe: małe do 25t/h, duże ponad 500t/h

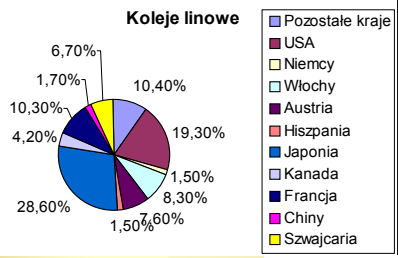
Podział klasyfikacyjny kolei i wyciągów linowych (wg. PN-M/46000:1997)

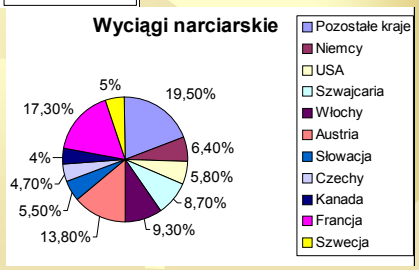
- Koleje Linowe
  - osobowe
  - towarowe
    - napowietrzne
      - jednolinowe
        - wyprzęgane
          - ruch okrężny
        - niewyprzęgane
          - ruch okrężny
          - ruch wahadłowy
          - ruch pulsacyjny
      - dwulinowe
        - ruch okrężny
        - ruch wahadłowy
        - ruch pulsacyjny
    - linowo-terenowe

Zalety systemów transportu linowego:

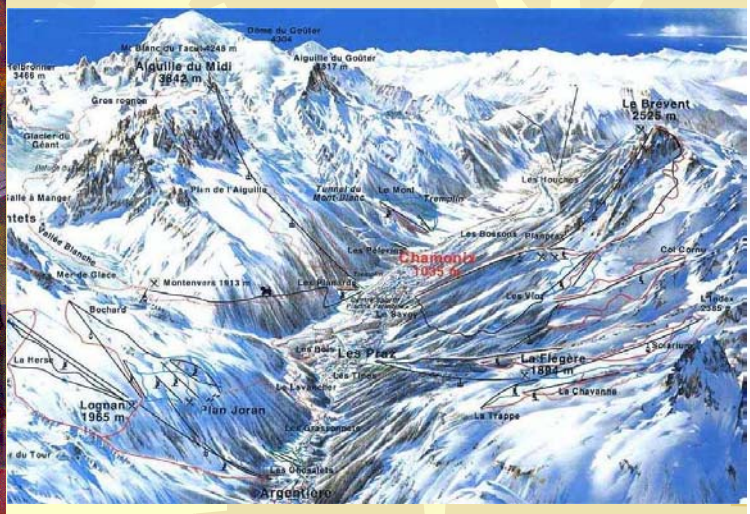
- możliwość pokonywania przeszkód terenowych i dużych różnic wzniesień;
- bezkolizyjność z innymi środkami transportu;
- scentralizowany napęd pozwala na łatwe doprowadzenie energii i konserwację;
- możliwość łatwej mechanizacji i automatyzacji;
- niskie koszty eksploatacyjne oraz inwestycyjne (w przypadku gdy na trasie transportu nie istnieją gotowe drogi komunikacyjne).

Ogólne dane statystyczne dotyczące udziału procentowego poszczególnych systemów kolei i wyciągów narciarskich w ogólnej liczbie oraz rozkład na poszczególne kraje (dane opublikowane za rok 2003)

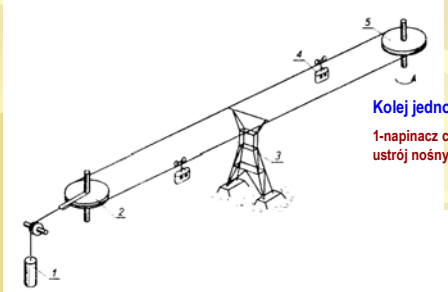




System transportu linowego – ALPY – rejon CHAMONIX (FRANCJA) szczyt: Aiguille du Midi – 3842 m n.p.m. wg Amst.



Przykładowe struktury kolejek linowych napowietrznych



Kolej jednolinowa (o ruchu okrężnym)

1-napinacz ciężarowy, 2-koło przewojowe napinające, 3-ustrój nośny słupowy, 4-wagonik, 5-koło napędowe

Podstawowe zespoły składowe struktury konstrukcyjnej kolei linowych

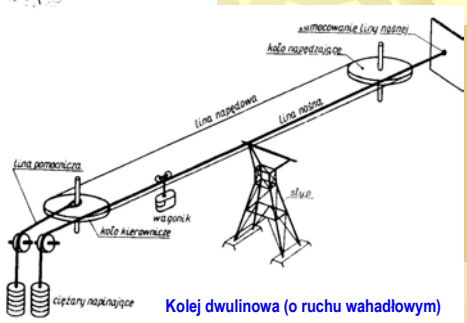
-liny, podpory

-stacje (napędowa i przewojowa)

- zespoły napędowe,

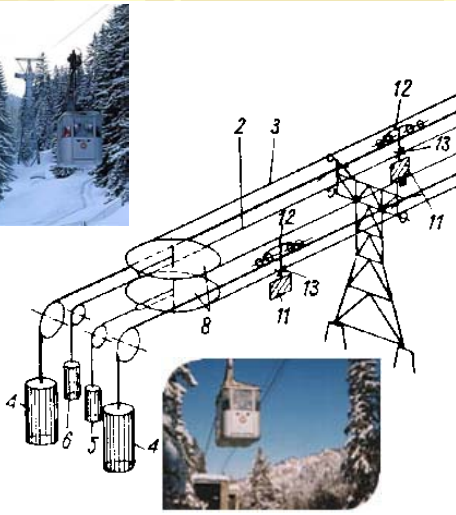
- urządzenia sygnalizacyjne i zabezpieczające

- pojazdy oraz wprzęgła



Kolej dwulinowa (o ruchu wahadłowym)

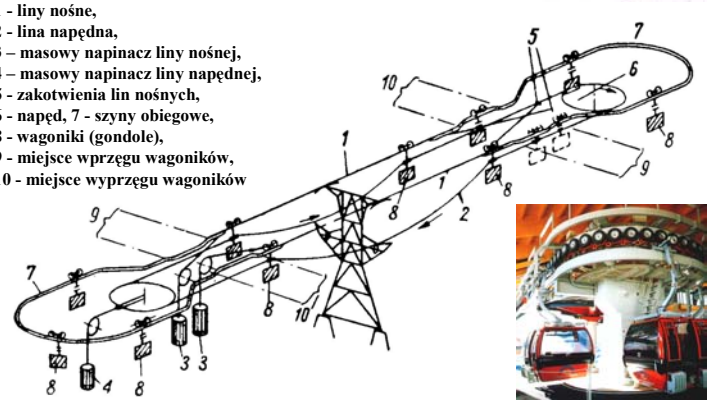
Schemat strukturalny kolei linowej systemu Bleichert-Zuegg
Kasprowy Wierch



1- liny nośne;
2 - lina napędna,
3 - lina pomocnicza,
4 - ciężary napinające liny nośne,
5- ciężar napinający linę napędna,
6 - ciężar napinający linę pomocniczą,
7 - zakotwienia lin nośnych,
8 - koła przewojowe,
9 - napęd główny,
10 - napęd pomocniczy,
11- wagoniki,
12 - wózki,
13 - wprzęgła

Schemat strukturalny współczesnej kolei dwulinowej o ruchu okrężnym i wyprzęganymi pojazdami na stacjach górnej i dolnej

1 - liny nośne,
2 - lina napędna,
3 – masowy napinacz liny nośnej,
4 – masowy napinacz liny napędnej,
5 - zakotwienia lin nośnych,
6 - napęd, 7 - szyny obiegowe,
8 - wagoniki (gondole),
9 - miejsce wprzęgu wagoników,
10 - miejsce wyprzęgu wagoników



Współczesne rozwiązania konstrukcyjne kolei jednolinowej o ruchu okrężnym

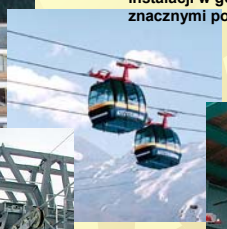
Konstrukcje jednolinowych kolei o ruchu okrężnym (z jedną lina nośno-napędową)

Współczesne rozwiązania konstrukcyjne kolei o ruchu okrężnym lub wahadłowym

Kolej jednolinowa przemieszczająca się po dwóch linach nośno-napędowych

system FUNITEL firma DOPPELMAYR– ruch okrężny

(bardzo korzystna stabilizacja położenia wagonika w kierunku poprzecznym do podstawowego kierunku ruchu (system antywahaniowy – system zalecany do instalacji w górach w strefach charakteryzujących się znacznymi porywami wiatru)



Współczesne rozwiązania konstrukcyjne kolei o ruchu okrężnym lub wahadłowym

Kolej dwulinowa z dwoma linami nośnymi i jedną lina napędną (ruch wahadłowy)

System firmy „Garaventa”

(korzystna stabilizacja położenia wagonika w kierunku poprzecznym do podstawowego kierunku ruchu (system antywahaniowy)

Prototypowe rozwiązanie kolei jednolinowej gondolowej z systemem dynamicznego tłumika wychyleń poprzecznych (aktywne tłumienie poprzecznych wychyleń)

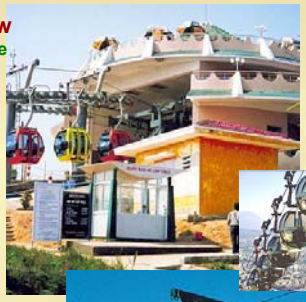
(tzw. aktywny system antywahaniowy)

Tłumik montowany na ramieniu zawieszenia
(ang. swing absorber)

autorem urządzenia jest prof. H.Matsuhisa z Kyoto University (Japonia)

Grupowe zawieszenie pojazdów

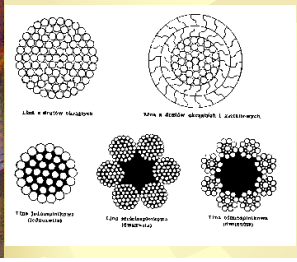
znane układy do 7 wagoników w grupie tzw. „pociągi gondolowe”



Terminologia podstawowa: koleje linowe i wyciągi narciarskie wg. PN-M-46000

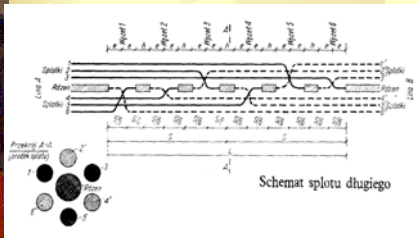
- **kolej linowa**: urządzenie do transportu osób lub ładunków w pojazdach poruszanych za pomocą lin
- **kolej jednolinowa**: napowietrzna kolej linowa, której pojazdy są połączone i ciągnione z liną (lub linami) nośno-napędowymi
- **kolej dwulinowa**: napowietrzna kolej linowa, której torem dla pojazdów jest lina (lub liny), a pojazdy poruszane są liną napędową
- **lina nośna**: lina stanowiąca napowietrzny tor pojazdów
- **lina nośno-napędowa**: lina tworząca obwód zamknięty, podtrzymująca pojazdy i przemieszczająca pojazdy połączone z nią
- **lina napinająca**: lina łącząca urządzenie napinające z zespołem napinanym
- **lina odciążna**: lina zamykająca obwód liny napędowej w kolejkach wahadłowych
- **lina awaryjna**: lina służąca w sytuacjach awaryjnych do sprowadzania pojazdów do stacji lub poruszania kabin ewakuacyjnych
- **napęd kolei linowej**: urządzenie służące do wprowadzenia w ruch lin napędowych względnie nośno-napędowych
- **urządzenie przewojowe**: urządzenie znajdujące się na stacji przeciwległej do napędu, służące do zmiany kierunku ruchu liny
- **urządzenie napinające**: urządzenie do nadania linom siły napinającej
- **wprzęgło**: urządzenie do połączenia pojazdu lub urządzenia holujące z liną w sposób stały lub rozłączny
- **podpora**: konstrukcja stalowa lub żelbetowa służąca do zawieszenia lin kolei lub wyciągów narciarskich nad terenem
- **stacja**: zespół urządzeń technologicznych znajdujących się na końcach lub trasie odcinka kolei linowej lub wyciągu narciarskiego

Zasadnicze elementy kolei linowej
Liny – konstrukcja lin napędowych, nośnych, napinających oraz podciągowych



Wybrane parametry konstrukcyjne:

- wytrzymałość nominalna drutu (stosowanego w budowie lin) na rozciąganie: od 1,76 [GPa] do 1,96 [GPa]
- sprawność lin: od 0,75 do 0.85 (oznacza, że siła rzeczywista nie jest mniejsza o podaną wartość od siły obliczeniowej zrywającej linę w całości)



Zasady wykonywania splotu długiego dla lin eksploatowanych w pętli:

- wytrzymałość splecenia winna osiągnąć całkowita wytrzymałość liny

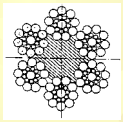
-konstrukcja splotu nie może powodować poluzowania splecenia nawet przy zmiennych obciążeniach zginających

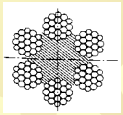
- długość splotu L dla liny sześciosplotkowej winna wynosić przy małych obciążeniach 800 średnic liny, przy dużych od 1000 - 1400 średnic liny (wg przepisów szwajcarskich: dla kolejek jednolinowych - 1300d, dla innych 1000 d)- przykładowe długości splotów: lina d=18mm to L=18m, S=9m, e=0,9m, h=1,2m

Liny – konstrukcja lin napędowych, nośnych, napinających oraz podciągowych

Konstrukcja lin: zaleca się aby stosować liny tzw. „współzwite", z uwagi na korzystniejszy znacznie współczynnik podatności poprzecznej w stosunku do lin tzw. „przeciwzwitych" (giętność), a także z uwagi na to że charakteryzują się liniowym stykiem drutów, przez co wzajemny styk pomiędzy drucikami, jak również drucików z powierzchnią czynną rowków kół linowych jest większa (druty w linie powinny posiadać styk liniowy, dzięki czemu eliminuje się powstawanie niebezpiecznych naprężeń punktowych, które znacznie obniżają jej trwałość).

Obecnie powszechnie stosuje się liny konstrukcji Seal (6x19), Warrington, Warrington – Seal (6x26, 6x31, 6x36). Na liny nośno–napędowe stosować można również konstrukcje Filler Wire (FW 6x21, 6x25,6x29), a także liny o powierzchniowym styku drutów [mat. Fatzer].



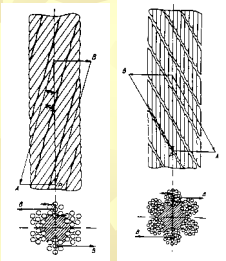


Liny o konstrukcji a) Seale oraz b) Warrington

Współczynnik bezpieczeństwa na rozciąganie liny nośno-napędowej:

wg EN oraz PN: wynosi 5,0

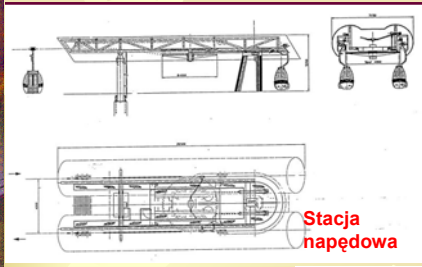
(określony do nominalnej siły zrywającej linę w całości)



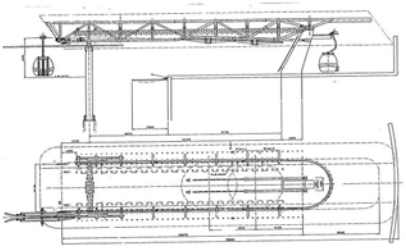
Konstrukcja i wygląd liny

a) współzwitej b) przeciwzwitej

Stacje kolei linowych: napędowe, napinające, napędowo-napinające, pośrednie, przewojowe



Stacja napędowa

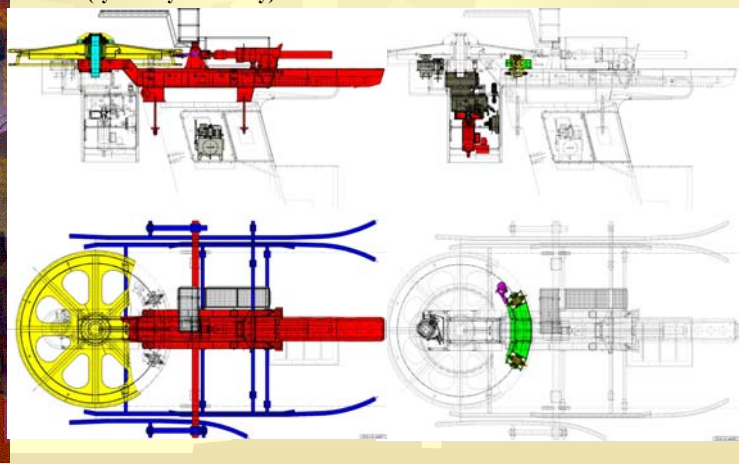


Stacja napinająco-przewojowa

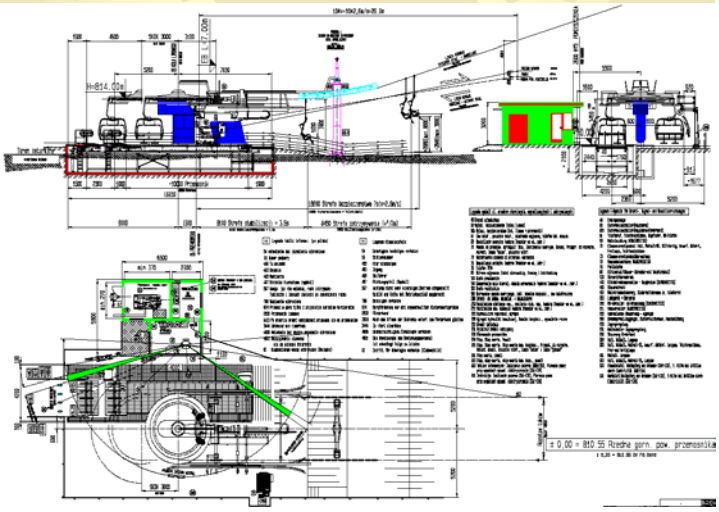
Wyciąg krzesełkowy firmy Doppelmayr - Garaventa

Zespół napinacza lin (system hydrauliczny)

Zespół napędowy i hamulec

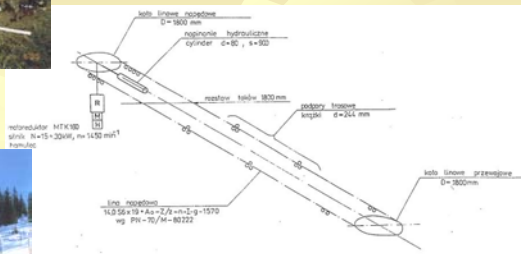


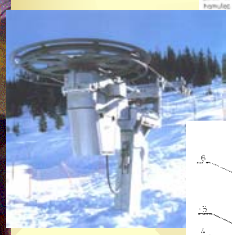
Wyciąg krzesełkowy firmy Doppelmayr - Garaventa

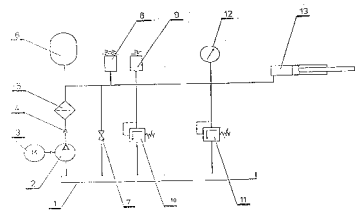


Przykładowe rozwiązanie stacji napędowo-napinającej w wyciągu narciarskim

napinacz hydrauliczny- firma Doppelmayr



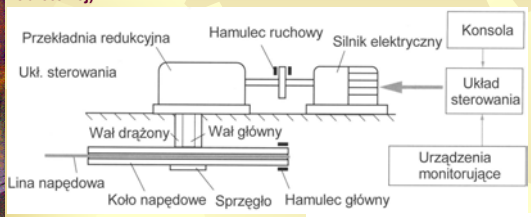


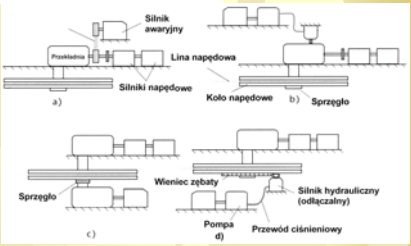


1-zbiornik oleju;
2-pompa zębata,
3-silnik elektryczny, 4-zawór zwrotny, 5-filtr oleju,
6-akumulator hydrauliczny,
7-zawór odcinający,
8-przekaźnik ciśnienia
9-przekaźnik ciśnienia (sygnalizator spadku siły napinającej), 10-zawór przelewowy (zawór bezpieczeństwa),
11-zawór przelewowy (ogranicznik siły napinającej),
12-manometr
13-cylinder hydrauliczny

Napędy: główny i awaryjny

(obecnie z silnika elektrycznego z możliwością realizacji płynnej zmiany prędkości obrotowej)

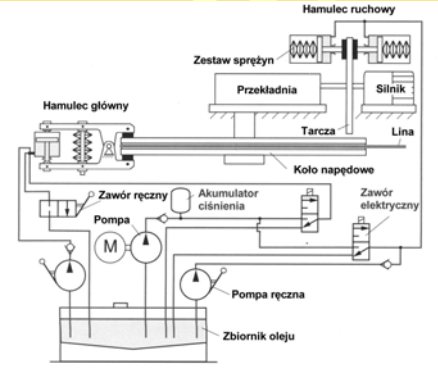




Schematy rozwiązań konstrukcyjnych przekazania napędu awaryjnego

- ✓ przekazujące napęd przez przekładnię redukcyjną [rys a); b);]
- ✓ z przekazaniem napędu bezpośrednio na koło napędowe [rys c, d)]

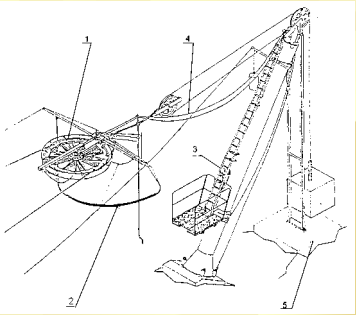
Hamulce: kolej linowa musi mieć dwa układy hamulcowe: główny i ruchowy



- ✓ hamulec główny – działający na koło napędowe,
- ✓ hamulec ruchowy – działający między silnikiem, a przekładnią (działający na wał szybkobieżny napędu).

Przykładowe rozwiązania stacji przewojowych stosowanych w małych wyciągach narciarskich

a) bez systemu napinacza, b) z napinaczem masowym

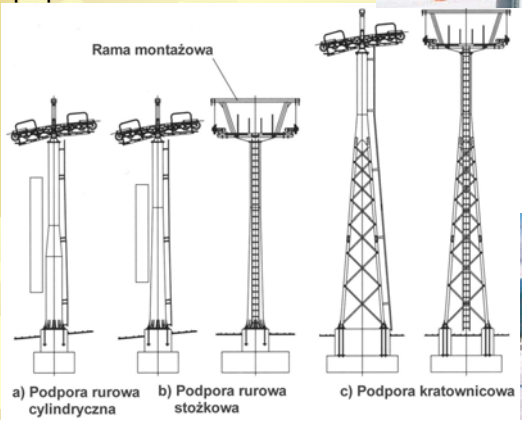


Stacja przewojowo-napinająca (napinanie obciążnikiem masowym)
1. koło przewojowe z ramieniem.
2. tłumik wychyleń urządzeń holujących
3. wciągnik linowy
4. lina zabezpieczająca
5. obciążnik napinający

Budowle trasowe - podpory

Podstawowe konstrukcje podpór:

- cylindryczna podpora rurowa
- stożkowa podpora rurowa
- podpora kratownicowa



Baterie krążków

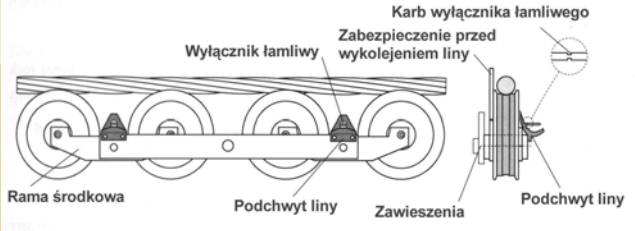
- najważniejszy element wyposażenia podpór, od którego w bardzo istotnym stopniu zależy zarówno bezpieczeństwo jak i komfort jazdy pasażerów są baterie krążków trasowych.

W zależności od kierunku obciążenia działającego na zestaw krążków rozróżnia się trzy typy baterii:

- bateria niosąca – rys. A
- bateria gniotąca – rys. B
- bateria niosąco-gniotąca (combi) – rys. C

Baterie krążków

- systemy zabezpieczania przed tzw. wypadnięciem liny z rowka koła linowego na podporach



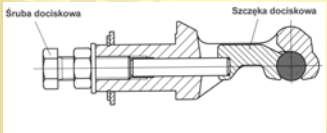
Wyłącznik łamliwy oraz magnetyczny czujnik położenia liny

Bateria niosąca z krążkami zabezpieczającymi

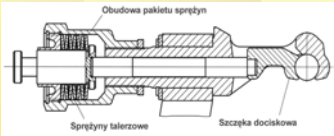
Wprzęgła linowe

- stałe: A1- zaciskowe, A2- mufowe oraz A3- wkładkowe
- samoczynne (automatyczne wprzęganie i wyprzęganie pojazdów z liny napędnej na stacjach:
  B1- grawitacyjne, B2- sprężynowe oraz B3- kombinowane

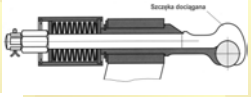
Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne wprzęgieł stałych



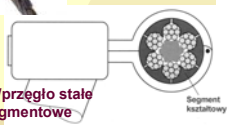
A1. Wprzęgło stałe ze śrubą dociskową



A1. Wprzęgło stałe sprężynowe ze szczęką dociskaną



A1. Wprzęgło stałe sprężynowe ze szczęką dociąganą

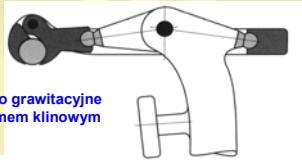


A2. Wprzęgło stałe segmentowe

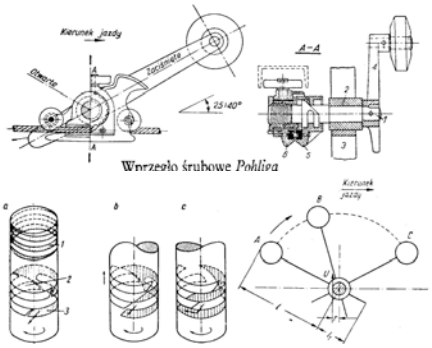
A3. Wprzęgło stałe wkładkowe (USA - firma Riblet)

Wprzęgła linowe

Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne wprzęgieł samoczynnych



B1. Wprzęgło grawitacyjne z mechanizmem klinowym



B1. Wprzęgło grawitacyjne z mechanizmem śrubowym typu Pohliga

Wykres przebiegu gwintów (rysunek poniżej)

a) trzpień wchodzi po gwincie o małym skoku

b) trzpień wchodzi po gwincie o dużym skoku

c) martwy bieg trzpienia

1 - gwint płaski

2 - gwint o dużym skoku sworznia

Ruch dźwigni wprzęgła

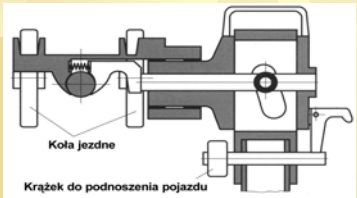
A - położenie dźwigni przy rozwartych szczękach

A-B droga docisku szczęk

C - położenie dźwigni zaciśniętych szczęk

Wprzęgła linowe

Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne wprzęgieł samoczynnych



B1. Wprzęgło grawitacyjne z mechanizmem kolankowym

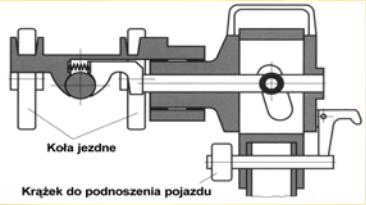
Zasada działania wprzęgła z mechanizmem kolankowym jest podobna jak dla wprzęgieł z mechanizmem grawitacyjnym – wykorzystywany jest w tym przypadku mechanizm kolankowy połączony ze szczęką zamontowaną obrotowo. Wartość siły zacisku na wprzęgle zależy od obciążenia pojazdu. Otwieranie wprzęgła odbywa się przez podniesienie samego pojazdu.

Wybrane wymagania techniczne dotyczące wprzęgieł (wszystkie konstrukcje)

- współczynnik pewności wynosić co najmniej 3,0 dla przypadków najniekorzystniejszych warunków eksploatacji.
- konstrukcja wprzęgła powinna uniemożliwiać niezamierzone otwarcie się wprzęgła, względnie niedopuszczalny spadek oporu przeciw przesunięciu.
- wprzęgła wyprzęgane mogą posiadać dwa niezależne źródła siły zaciskającej.
- współczynnik tarcia między szczęką wprzęgła a lina można przyjmować równy 0,13.
- pojazdy o pojemności powyżej dwu osób powinny być wyposażone w co najmniej dwa wprzęgła o ile największe pochylenie liny przekracza 40%.
- wprzęgła stałe powinny być łatwo przesuwalne.

Wprzęgła linowe

Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne wprzęgieł samoczynnych



B1. Wprzęgło grawitacyjne z mechanizmem kolankowym

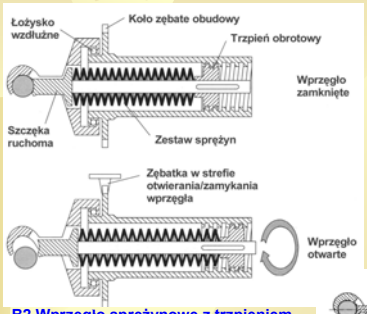
Zasada działania wprzęgła z mechanizmem kolankowym jest podobna jak dla wprzęgieł z mechanizmem grawitacyjnym – wykorzystywany jest w tym przypadku mechanizm kolankowy połączony ze szczęką zamontowaną obrotowo. Wartość siły zacisku na wprzęgle zależy od obciążenia pojazdu. Otwieranie wprzęgła odbywa się przez podniesienie samego pojazdu.

Wybrane wymagania techniczne dotyczące wprzęgieł (wszystkie konstrukcje)

- **współczynnik pewności wynosić co najmniej 3,0 dla przypadków najniekorzystniejszych warunków eksploatacji.**
- **konstrukcja wprzęgła powinna uniemożliwiać niezamierzone otwarcie się wprzęgła, względnie niedopuszczalny spadek oporu przeciw przesunięciu.**
- **wprzęgła wyprzęgane mogą posiadać dwa niezależne źródła siły zaciskającej.**
- **współczynnik tarcia między szczęką wprzęgła a lina można przyjmować równy 0,13.**
- **pojazdy o pojemności powyżej dwu osób powinny być wyposażone w co najmniej dwa wprzęgła o ile największe pochylenie liny przekracza 40%.**
- **wprzęgła stale powinny być łatwo przesuwalne.**

Wprzęgła linowe

Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne wprzęgieł samoczynnych



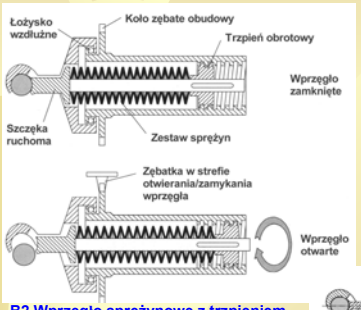
B2 Wprzęgło sprężynowe z trzpieniem obrotowym

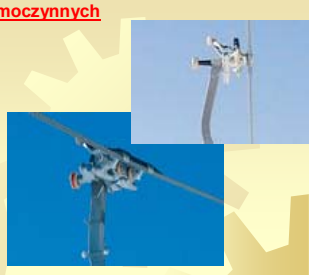
B2. Wprzęgło sprężynowe sterowane krzywkowo

B2. Wprzęgło sprężynowe sterowane krzywkowo

Wprzęgła linowe

Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne wprzęgieł samoczynnych





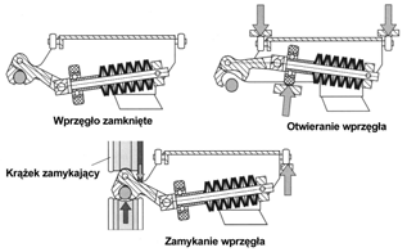
B2 Wprzęgło sprężynowe z trzpieniem obrotowym

B2. Wprzęgło sprężynowe sterowane krzywkowo

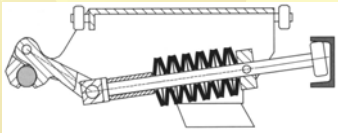
B2. Wprzęgło sprężynowe sterowane krzywkowo

Wprzęgła linowe

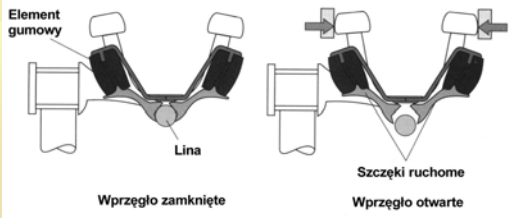
Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne wprzęgieł samoczynnych



B3. Wprzęgło sprężynowe z mechanizmem kolankowym



B3. Wprzęgło sprężynowe ze sprężynami skręcanymi



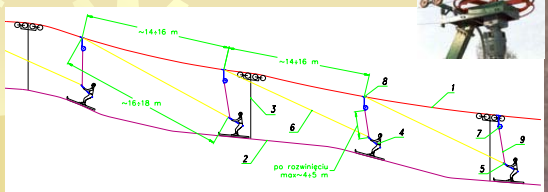
B3. Wprzęgło z gumowymi elementami sprężystymi

Pojazdy kabinowe i gondolowe

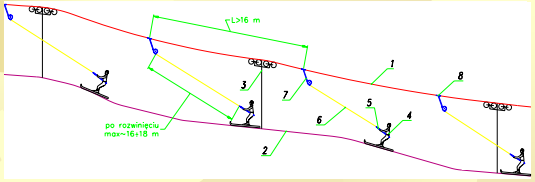
Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne

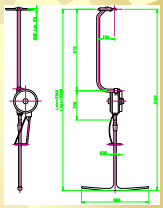
Pojazdy krzesełkowe, zaczepy orczykowe i talerzykowe

Wyciągi narciarskie



Wyciąg narciarski systemu Constama w wersji uproszczonej
1- lina nośno-napędowa, 2- profil terenu, 3- podpora, 4- narciarz, 5- uchwyt, 6- linka elastyczna, 7-zaczep, 8- wprzęgło, 9-linka stalowa

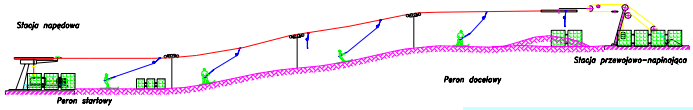


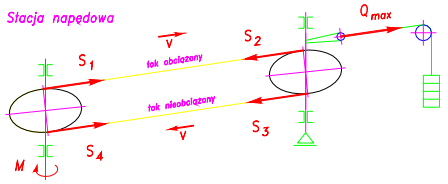


Zaczep orczykowy w wersji dla zmodyfikowanego wyciągu orczykowego

Zmodyfikowany wyciąg orczykowy systemu Constama (układ w wersji współczesnej):
1- lina nośno-napędowa, 2- profil terenu, 3- podpora, 4- narciarz, 5- uchwyt, 6- linka elastyczna, 7-zaczep, 8- wprzęgło stałe

Przykładowy schemat obciążeń działający na system linowy w typowym wyciągu narciarskim

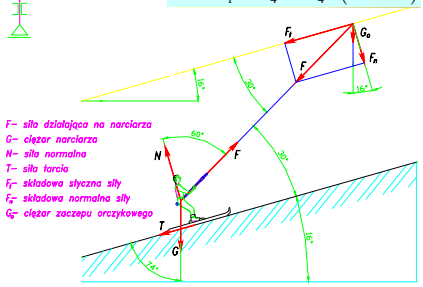




Siła obwodowa (wg. wzoru Eulera-Eytelweyna dla μ = const)

$$W = S_1 - S_4 = S_4 \cdot \left(e^{\mu \cdot \alpha} - 1\right)$$

Wielkości charakterystyczne	Jednostka	Wartość
Długość pozioma	m	451
Wysokość górnej stacji n.p.m.	m	480
Wysokość dolnej stacji n.p.m.	m	343.5
Różnica wysokości stacji	m	136.5
Długość trasy	m	482
Średni kąt nachylenia	(°)	16
Przepustowość	osób/h	800
Prędkość jazdy	m/s	2.5
Czas jazdy	s	193
Liczba uchwytów	szt.	42



F – siła działająca na narciarza
G – ciężar narciarza
N – siła normalna
T – siła tarcia
F_T – składowa styczna siły
F_n – składowa normalna siły
G_n – ciężar zaczepu orczykowego

Procedury obliczeniowe – algorytm postępowania projektowego dla konstrukcji kolei linowej osobowej/towarowej lub wyciągu narciarskiego

Wytyczne ogólne:

projektowania obiektów i urządzeń budownictwa specjalnego w zakresie komunikacji - koleje linowe do publicznego przewozu osób w celach turystyczno-sportowych WP-WD (zatwierdzone przez Transportowy Dozór Techniczny)

Współczynniki bezpieczeństwa (współczynnik pewności):

l. w odniesieniu do elementów ustroju nośnego systemu transportu linowego: wartości współczynnika pewności przyjmuje się w wysokości *n* = 5 lub *n* = 3,5, w zależności od przyjętego do obliczeń przypadku obciążeń, podstawowego *A*, bądź złożonego *B*,

- przy czym obciążenia podstawowe określa się jako sumę masy własnej pojazdu, masy użytkowego pojazdu oraz masy liny lub lin napędowych przypadającego na pojazd,
- a obciążenia złożone jako sumę geometryczną obciążenia podstawowego oraz obciążeń dodatkowych pochodzących od następujących sił:
  - wywołanych parciem wiatru działającego z najniekorzystniejszego kierunku,
  - występujących przy hamowaniu kolei lub pojazdu,
  - powstających na skutek działania tłumika wahań podłużnych pojazdu,
  - tarcia zawiesia lub kabiny o prowadnice,
  - wywołanych kołysaniem podłużnym i poprzecznym pojazdu oraz przejściem pojazdu nad podporami,
  - wywołanych skręcaniem kabiny podestu lub siedziska względem osi pionowej (np. przy uderzeniu o odbojnicę). Współczynniki pewności odnoszone są do wytrzymałości doraźnej materiału.

Podstawowe parametry techniczno-eksploatacyjne

Wydajność kolei o ruchu okrężnym (wg PN) oblicza się na podstawie niżej podanego wyrażenia:

$$W_g = \frac{3600 \cdot Q \cdot v}{w}$$

gdzie:

W_g – wydajność kolei [(osób/godzinę)]
Q – ładowność pojazdu [osób] (zakłada się, że statystyczna osoba waży 75 kg)
v – prędkość liny nośno – napędowej [m/s]
w – odstęp między pojazdami [m]

Wydajność nowoczesnych kolei jednolinowych o ruchu okrężnym z pojazdami wyprzęganymi zawiera się w granicach od 600 osób/godzinę dla kolejek turystyczno widokowych do 6000 osób/godzinę (dla instalacji eksploatowanych w rejonach górskich tzw. wyciągi narciarskie).

Standardowe transportery wyciągów narciarskich mogą zabierać od 4+20 osób.

Prędkość liny nośno – napędowej jaką przewidują polskie przepisy WL-36 (PN) dla tego typu kolei (wyciągów narciarskich) wynosi 3 [m/s], natomiast projekt normy europejskiej z tego zakresu dopuszcza prędkość do 6 [m/s], w większości instalacji prędkość jazdy pojazdów wynosi 5 [m/s].

Minimalny odstęp między pojazdami wg WL-36 należy przyjmować jako równoważny 15-krotnej drodze hamowania, projekt europejski dopuszcza minimalny odstęp czasowy równy 5 [s].

Wymiarowanie lin

Współczynnik bezpieczeństwa na rozciąganie n_r dla liny nośno – napędowej wg przepisów WL-36 wynosi 5,0, natomiast wg projektu norm europejskich EN wynosi także 5,0, przy czym uwzględniana jest dynamika obciążeń w stosunku do nominalnej siły zrywającej w całości.
Istotnym parametrem przy wymiarowaniu liny jest *wskaźnik obciążenia poprzecznego*. Polskie przepisy wyróżniają współczynnik obciążenia poprzecznego $1/\eta$ oraz współczynnik obciążenia przekroju poprzecznego liny $1/F$.
Przepisy państw zachodnich określają współczynnik obciążenia poprzecznego jako stosunek największej siły rozciągającej do siły poprzecznie obciążającej linę. Zestawienie wartości współczynnika bezpieczeństwa oraz współczynnika obciążenia poprzecznego wg polskich i zachodnich przepisów przedstawiono w tabeli. Podane wartości dotyczą tylko kolei jednolinowej o ruchu okrężnym z pojazdami wyprzęganymi.

Państwo/organizacja		Austria	EN	Francja Włochy Niemcy	Polska
Współczynnik obciążenia poprzecznego		15	15	15	$\frac{1}{\eta}\cdot\frac{1}{F}\le 0{,}15$
Współczynnik bezpieczeństwa liny	min	4,0*	5,0* z dynam.	4,5**	5,0
	max	15	15	15	nie określono

* – w stosunku do nominalnej siły zrywającej linę w całości
** – w stosunku do rzeczywistej siły zrywającej linę

Doboru lin dokonuje się na podstawie maksymalnej siły rozciągającej występującej w linie S_{max}, na którą składają się:

- **podstawowa siła napinająca wywołana działaniem urządzenia napinającego;**
- **siła wywołana różnicą wysokości (składowa obciążenie od masy własnej liny);**
- **siła uciągu nominalnego obciążonych pojazdów;**
- **tarcie liny ruchomej na krążkach i kołach;**
- **przyrost siły rozciągającej linę, wywołany działaniem dynamicznym przy rozruchu względnie hamowaniu hamulcem ruchowym;**

Siłę w danym punkcie trasy oblicza się z zależności:

$$S_i = S_o \pm S_r \pm S_t \pm S_a$$

gdzie:
S_i – siła w linie na i-tej podporze [N]
S_o – siła naciągu w linie [N]
S_r – składowa obciążenia od masy własnej liny i obciążenia od pojazdów [N]
S_t – siła oporów (tarcia) liny na podporach [N]
S_a – siła dynamiczna w czasie rozruchu (hamowania) [N]

S_o - siła naciągu w linie [N]

$$S_o = (800 \div 1200) q \cdot g$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie [m/s²]
q – masa 1 m liny [kg]

S_r - składowa obciążenia od masy własnej liny i obciążenia od pojazdów [N]

$$S_r = q_z \cdot h$$

gdzie: h – różnica poziomów [m]
q_z – obciążenie zastępcze [N/m]

$$q_z = \begin{cases} q_p _ dla _ toku _ pustego \\ g_o _ dla _ toku _ obciazonego \end{cases}$$

dla toku pustego:

$$q_p = q + \frac{m_k}{w}$$

gdzie:
q – obciążenie obliczeniowe pochodzące od 1 metra liny nośno– napędowej [N/m]
m_k – obciążenie od masy pojazdu/kabiny [N]

dla toku pełnego:

$$q_o = q + \frac{m_k + Q \cdot m_{os}}{w}$$

gdzie:
m_{os} – obciążenie obliczeniowe od masy jednego pasażera [N]

S_t – siła oporów (tarcia) liny na podporach [N]

$$S_t = q_z \cdot f \cdot L_i$$

gdzie:
f – współczynnik oporów ruchu liny, f = 0,01÷0,04
L_i – odległość i-tej podpory od koła przewojowego w poziomie [m]

S_a – siła dynamiczna w czasie rozruchu (hamowania) [N]

$$S_a = q_z \cdot L_{si} \cdot a$$

L_{si} - długość po stoku pomiędzy i-tą podporą a kołem przewojowym [m]
a – przyspieszenie kolei [m/s²]

Prawidłowość doboru liny sprawdzamy z zależności:

$$n_r \ge \frac{S_r}{S_{\max}}$$

gdzie:
n_r – współczynnik bezpieczeństwa liny
S_r – rzeczywista siła zrywająca linę w całości [N]

$$S_r = S_{nom} \cdot \eta$$

gdzie:
S_{nom} – nominalna obliczeniowa siła zrywająca linę [N]
η - sprawność wytrzymałościowa liny, η=0,85

Strzałka zwisu liny i określenie reakcji na podporach

Maksymalną strzałkę zwisu oblicza się w połowie odległości między podporami, wartość jej wyznacza się ze wzoru:

$$f_m = \frac{q_z \cdot L^2{}_p}{8 \cdot H_a \cdot \cos\beta}$$

$$H_a = \left(\frac{S_i + S_{i-1}}{2}\right) \cdot \cos\beta$$

gdzie:
L_p – długość przelotu między podporami [m]
β - kąt nachylenia cięciwy przelotu do poziomu [°]
H_a – średni naciąg w linie [N]

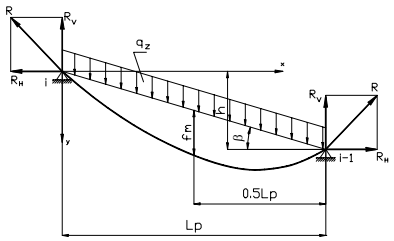
Przy obliczaniu zwisu, przyjmuje się obciążenie liny oraz pojazdów rozłożone równomiernie wzdłuż cięciwy.

Reakcje na podporach (rys. obok) działające w punktach *i* oraz w *i-1* można określić z następujących równań, przy czym znak (+) odnosi się tu do podpory położonej wyżej, a znak (-) do niżej położonej podpory

$$R_H = \frac{q_z \cdot L_p{}^2}{8 \cdot f_m \cdot \cos\beta}$$

$$R_V = \frac{q_z \cdot L_p}{2 \cdot \cos\beta} \pm R_H \cdot \mathrm{tg}\,\beta$$

$$R = \sqrt{R_V^2 + R_H^2}$$



Warunek sprzężenia ciernego

Siła tarcia, która przeciwdziała przesunięciom liny względem koła linowego, spowodowana jest działaniem sił normalnych na bieżni koła opasanego cięgnem obciążonym na obu końcach siłami *S1* i *S2*. Jeśli rozpatrzymy równowagę elementarnego łuku cięgna *Rdφ*, przy założeniu, że *S1>S2*, to w końcowych przekrojach łuku *dφ*, będą występowały siły wewnętrzne o wielkości odpowiednio: *S + dS* oraz *S*

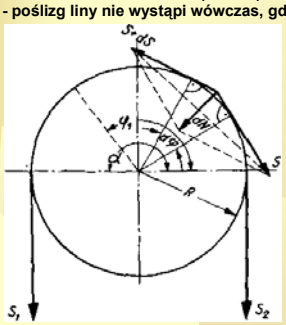
Aby zachowany był warunek równowagi, elementarna siła normalna musi być równa:

$$dN = (S + dS)*\sin(d\phi/2) + S*\sin(d\phi/2) \approx S*d\phi$$

-wywołuje wystąpienie granicznej siły przyczepności (siły stycznej)

$$dT = \mu*dN = \mu*S*d\phi$$

- poślizg liny nie wystąpi wówczas, gdy: dS<dT .



Ponieważ elementarna siła tarcia równa się:

$$dT = \mu*dN,$$

gdzie μ — współczynnik tarcia między bieżnią koła a liną, otrzymamy nierówność:

$$dS \le \mu*S*d\varphi$$

$$\int_{S2}^{S1} \frac{dS}{S} \le \mu \int_0^{\alpha} d\varphi$$

Równowaga elementarnego łuku cięgna

rozwiązanie stanowi wyrażenie:

$$\ln\frac{S1}{S2} < \mu\alpha$$

stąd otrzymujemy:

$$\frac{S1}{S2} \le e^{\mu \cdot \alpha}$$

gdzie:
e- podstawa logarytmów naturalnych (2,718)
α - kąt opasania koła w mierze łukowej (w radianach)

Nierówność wyznacza największy możliwy stosunek sił obciążających końce liny opasującej koło, przy którym nie wystąpi poślizg.
W czasie pracy kolei linowej w każdych warunkach ruchowych musi być zapewnione sprzężenie cierne pomiędzy liną a kołem napędowym.
Wobec powyższego, warunek sprzężenia ciernego według przepisów polskich sprawdzamy z zależności:

$$\frac{S_{\min} + 1{,}3 \cdot U_{dyn}}{S_{\min}} \le e^{\mu \cdot \alpha}$$

gdzie:

α - kąt opasania koła linowego w radianach [°]
μ - współczynnik tarcia pomiędzy liną a wykładziną koła napędowego, μ=0,22

***U_{dyn}* – maksymalna siła obwodowa [N],**

$$U_{dyn} = S_{max} - S_{min}$$

S_{min} – minimalna rozciągająca w linie [N]
S_{max} – maksymalna siła rozciągająca w linie [N]

Natomiast według przepisów austriackich warunek sprzężenia ciernego sprawdzamy według następujących zależności:

$$\frac{S_{\min} + 1{,}25 \cdot U}{S_{\min}} \le e^{\mu \cdot \alpha}$$

przy czym wartość współczynnika sprzężenia ciernego μ pomiędzy kołem napędowym a liną oblicza się ze wzoru:

$$\mu = 0{,}28 - \frac{p}{50}$$

gdzie:
p – wartość nacisków powierzchniowych na kole napędowym w [MPa] obliczona ze wzoru:

$$p = \frac{2 \cdot S_m}{d \cdot D}$$

gdzie:
d – średnica liny [mm]
D – średnica koła napędowego [mm]
S_m – minimalna siła nacisku liny na koło napędowe [N]

$$S_m = \frac{2 \cdot S_{\min} + U}{2}$$

Moc silnika elektrycznego kolei linowej, potrzebną do rozruchu obliczamy ze wzoru:

$$P = \frac{U_{\max} \cdot v}{1000 \cdot \eta_n}$$

gdzie:
P – moc silnika elektrycznego [kW]
v – ustalona prędkość jazdy [m/s]
η_n – sprawność mechaniczna napędu
U_{max} – maksymalna siła obwodowa [N]

Siły parcia wiatru działające w poprzek osi kolei

Siła parcia wiatru na linę nośno – napędową $W_{FS} = d_1 \cdot c_{FS} \cdot q \cdot (l_i^* + l_{i+1}^*)$

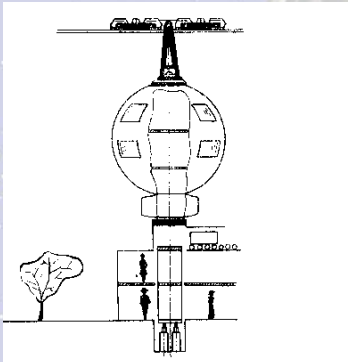
gdzie:
d_1 – średnica liny nośno – napędowej [m]
c_{FS} = 1,2 – współczynnik kształtu liny
q – ciśnienie powietrza [N/m²]
l^* - długość liny w przelocie [m]

Siła parcia wiatru na pojazdy

$$W_{FB} = \frac{A}{w} \cdot c_{FB} \cdot q \cdot (l_i^* + l_{i+1}^*)$$

gdzie:
A – powierzchnia boczna pojazdu [m²]
w – odstęp pomiędzy pojazdami na linie [m]
c_{FB}= 1,2…1,5 – współczynnik kształtu pojazdu

Projekt kabinowej kolei linowej na Mount Everest (Himalaje)



- koncepcja: od wysokości 6000 m n.p.m. do szczytu 8884 m n.p.m. wagonik z 40 pasażerami, v_j = 10 m/s
- średnica kabiny ok. 6,4 m (kształt kulisty), dwa poziomy pasażerskie, specjalny wyciąg szybowy, wyjście i wejście przez specjalne śluzy
- wagonik-kabina: hermetycznie uszczelniony, panoramiczny, z klimatyzacją
- wagonik specjalnie ukształtowany z uwagi na opór powietrza, porywy wiatru (z osłonami aerodynamicznymi)
- materiały konstrukcyjne kabiny: kompozyty, tworzywa sztuczne, stal stopowa o wysokiej wytrzymałości