

Lesní lanovky – výpočet tažného lana

Ing. Martin Dvořák



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



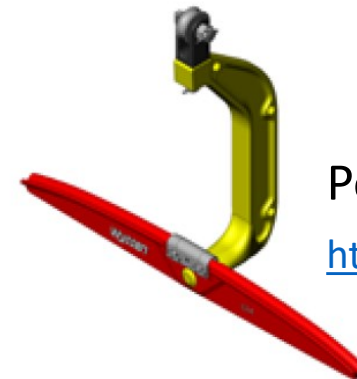
<https://www.mm-forsttechnik.at/en/syncrofalke/performance.php>



<https://www.slpkrtiny.cz/en/products-and-services/forest-machinery/>

Úvod

- Terény svažité, balvanité a neúnosné terény, vylučující kolovou techniku, jsou označovány jako **lanovkové terény** (v ČR cca 18 %)
- Lesní lanovka slouží k primární přepravě surového dříví, tedy přiblížení z místa těžby do určeného místa skládky (většinou na lesní cesty)
- Lanový vozík se pohybuje na lanech, zavěšených pomocí tzv. botek na stromech (ve výšce $6 \div 8$ m)
- Kyvadlová doprava, v jednom směru probíhá pojezd vozíku s nákladem, zpátky pak jen s volnými úvazky
- Efektivní a rychlé vytěžení špatně přístupného terénu / časově náročnější instalace zařízení
- Doprava nejen dříví, ale i jiných objektů na vzdálenosti přesahující 2000 m a při nosnosti ocelových lan až 16 t



Podpěrná botka

<https://www.wyssenseilbahnen.com/>

Úvod

- Lesní lanovka má dvě základní pracovní fáze – **fázi vyklizování**, při které se lanový vozík nepohybuje a probíhá boční přitahování dříví k trase lanovky, druhá fáze je následná jízda vozíku s nákladem



Doprava proti svahu



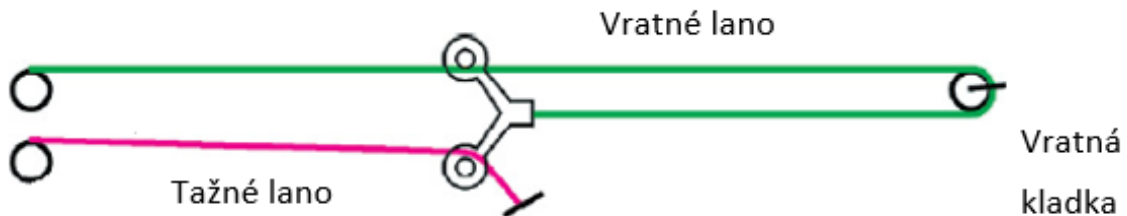
Doprava po svahu

Výhody lesních lanovek

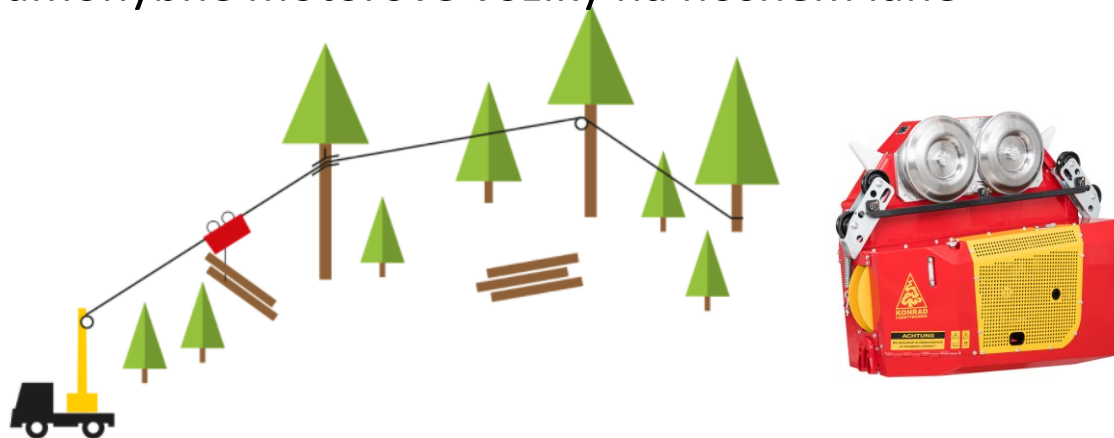
- Přibližovací vzdálenost odpovídá délce svahu
- Poměr hmotnosti traktoru a nákladu 1:1, hmotnost pohybujících částí lanovek nepřevyšuje 1/10 nákladu
- Téměř o polovinu nižší spotřeba pohonných hmot na 1 m³ vytěženého dřeva
- Nevyžaduje tak hustou lesní dopravní síť jako traktorové soustředování
- Pracovní ergonomie – operátor ovládá stroj z kabiny stojícího stroje, nebo dálkově
- Pohonná stanice lanovky stojí na místě, na pracoviště zajíždí jen lanový vozík – nižší opotřebení traktoru
- Rychlost soustředování dříví nezávisí na stavu povrchu terénu

Nejčastější provedení lanových systémů

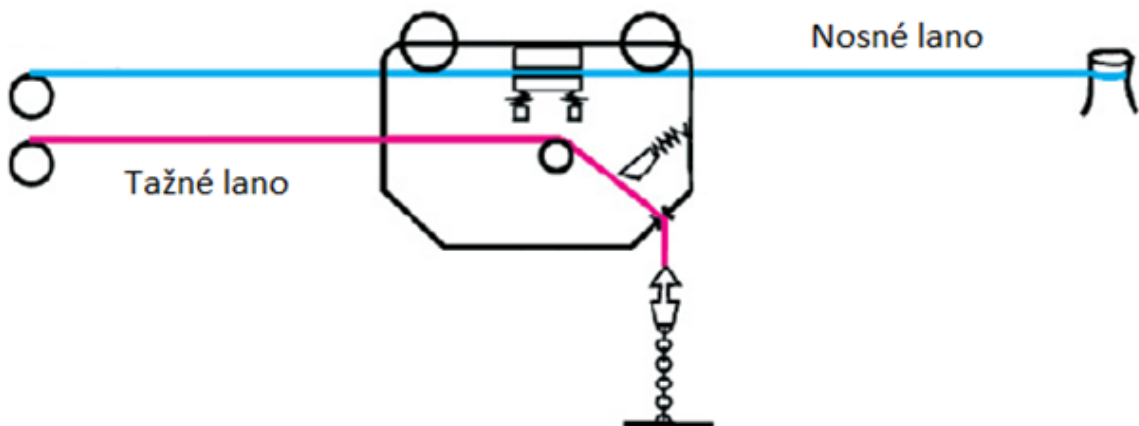
Dvoulánové systémy s tažným a vratným lanem



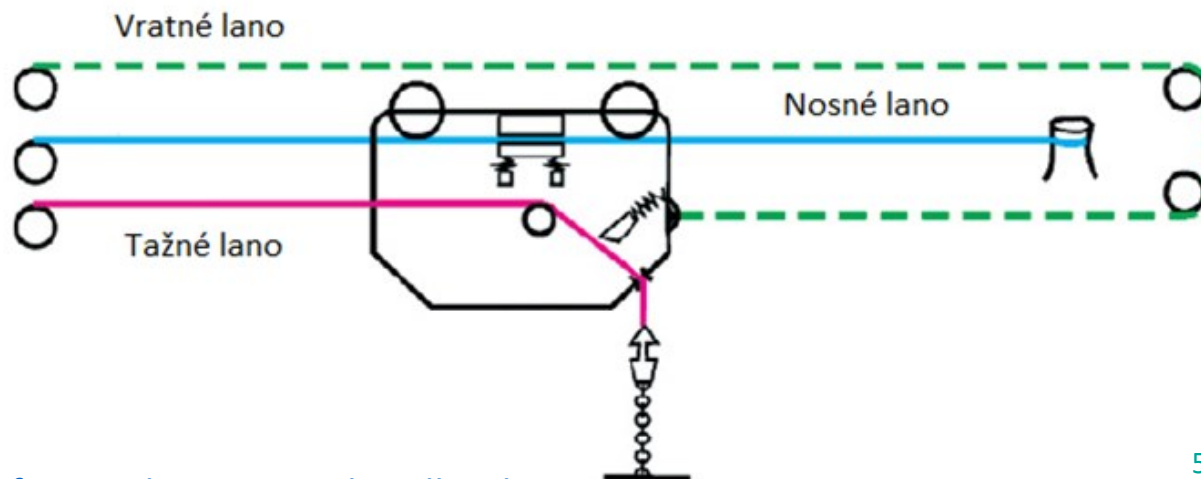
Samohybné motorové vozíky na nosném laně



Gravitační systémy s nosným a tažným lanem



Třílánové univerzální systémy



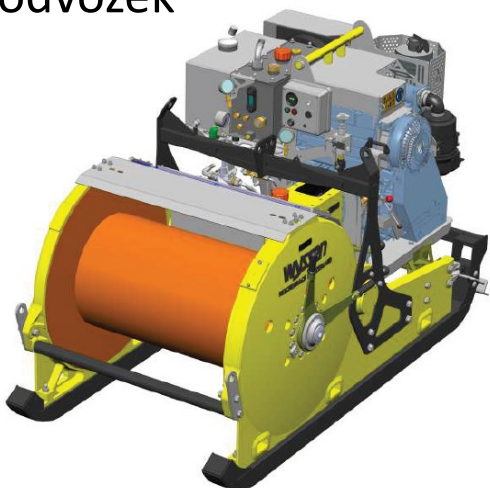
Pracovní lana

Druh lana	Koeficient bezpečnosti k_f	Charakteristika
Nosné lano	2,5 ÷ 3	Lano je nosným členem lanovky
Tažné lano	3 ÷ 4	Lano slouží k přitahování vozíku s nákladem ke stožáru
Vratné lano	3 ÷ 4	Lano slouží k opačnému pohybu, jako tažné
Oběžné lano	3 ÷ 4	Jedno lano, nahrazující tažné i vratné, úspora energie
Pomocné lano	3 ÷ 4	Vypomáhá tažnému lanu, ovládá zajištění nákladu
Kotevní lano	4	Slouží k ukotvení stožáru lanovky a kladek
Montážní lano	2 ÷ 3	Používá se při instalaci lanovky, k provlečení těžších lan

Tab. 1

Možnosti nástavby lesních lanovek

Sáňový podvozek



<https://www.wyssenseilbahnen.com/>
Nástavba na traktor



<http://tst-forestry.com/>

Plošiny nákladních automobilů



<https://www.kollergmbh.com/>

Přívěs



<https://www.kollergmbh.com/>

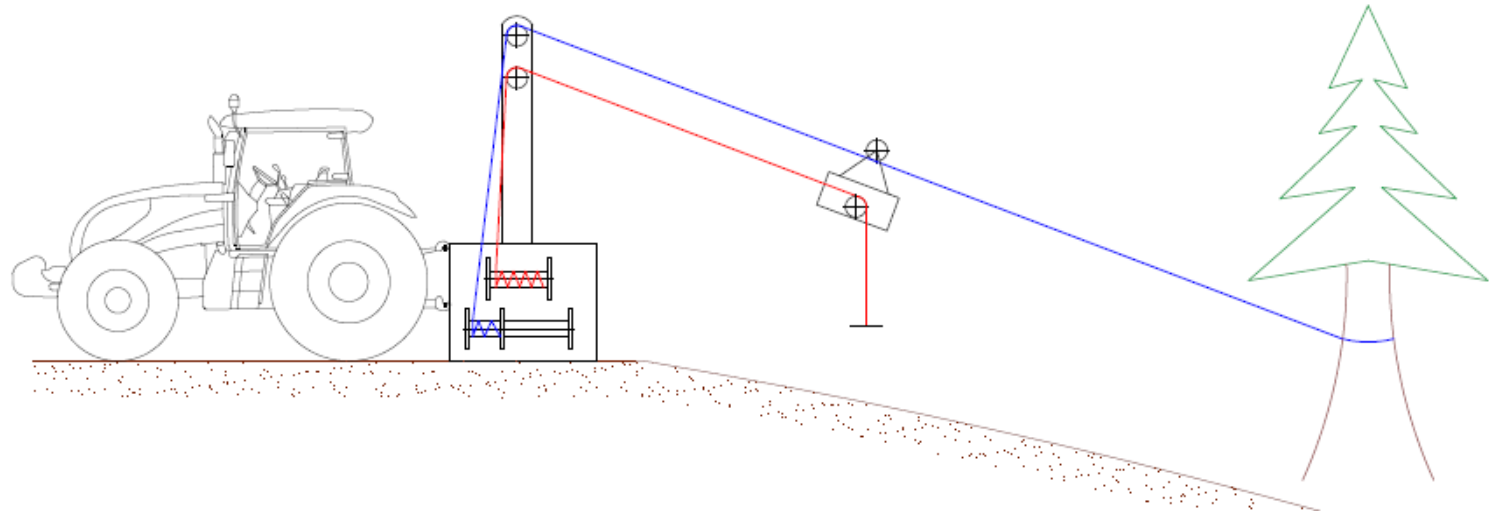
Rypadla



<https://www.kollergmbh.com/>

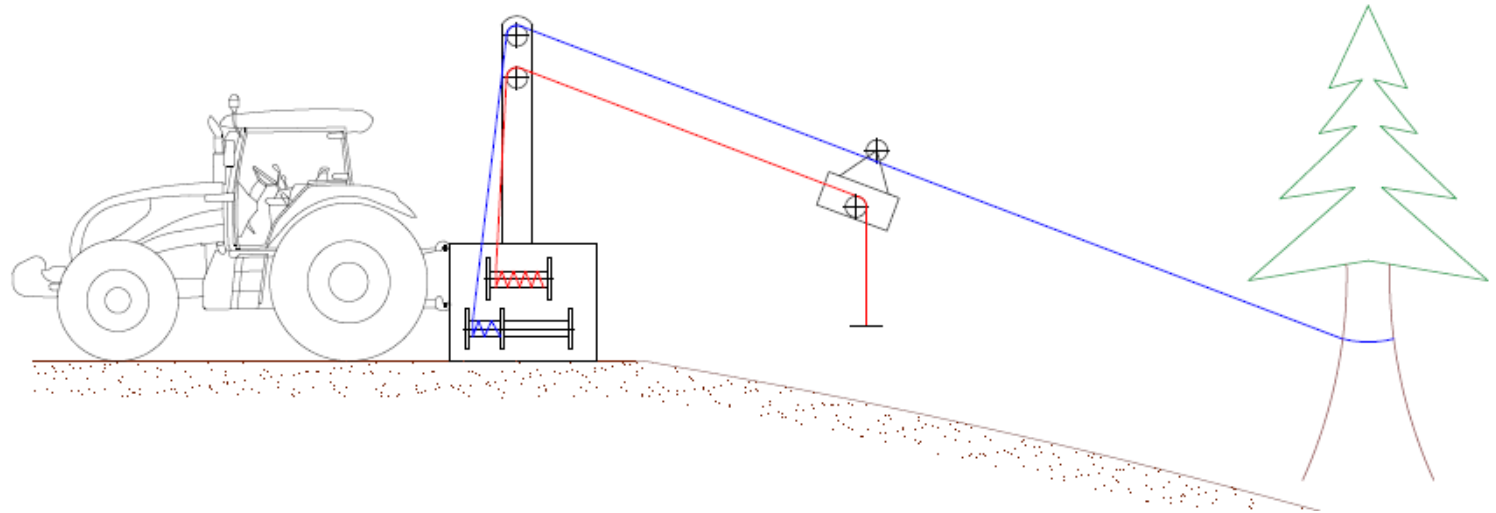
Příklad výpočtu tažného lana

- Výpočet a návrh tažného lana
 - Prosté vlečení
 - Vlečení v polozávěse
 - Vlečení v plném závěse
- Návrh rozměru bubnu
- Technologický výpočet bubnu
- Výpočet pohonu a volby traktoru



Zadání vzorového příkladu

- Maximální hmotnost břemene: $m_b = 1\,500\text{ kg}$
- Délka trasy lanovky: $L = 400\text{ m}$
- Hmotnost lanového vozíku (kočky): $m_v = 200\text{ kg}$
- Rychlost lanového vozíku (kočky): $v = 0 \div 3\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Povrch: suchá jílovitá půda (Tab. 2)
- Úhel svahu: $\alpha = 15^\circ$



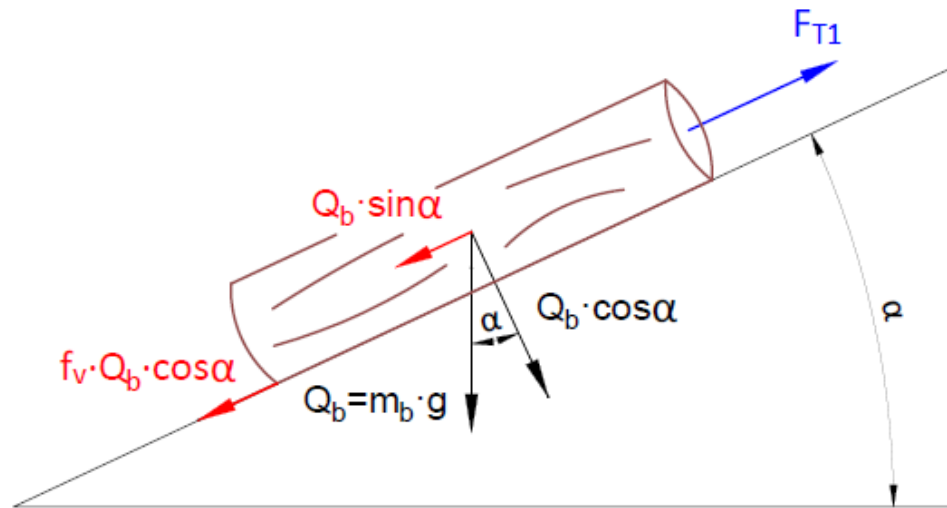
Koeficienty tření v lesnickém prostředí

Povrch	Prosté vlečení	Polozávěs
	f_v	f_t
Suchá jílovitá půda	0,80	0,65
Vlhká jílovitá půda	0,64	0,50
Suchá písčitá půda	0,70	0,55
Vlhká písčitá půda	0,72	0,57
Vlhká půda s humusem	0,76	0,61
Uježděný sníh	0,25	0,17

Tab. 2

Prosté vlečení

- Směr tahu lana je rovnoběžný s terénem, na kterém kláda spočívá celou svojí hmotností
- Dochází při přibližování dříví ze strany pod trasu lanovky, pohyb lanového vozíku se neuvažuje
- Potřebná tažná síla: $F_{T1} = f_v \cdot m_b \cdot g \cdot \cos\alpha + m_b \cdot g \cdot \sin\alpha = m_b \cdot g \cdot (f_v \cdot \cos\alpha + \sin\alpha)$ (1)
- $F_{T1} = 1\,500 \cdot 9,81 \cdot (0,80 \cdot \cos 15^\circ + \sin 15^\circ) \cong \mathbf{15,2\,kN}$



Vlečení v polozávěse

- Náklad vlečený s jedním nadzvednutým koncem, vlečný odpor je snížen důsledkem zvednutí části kmene, na terén působí jen část hmotnosti nákladu
- Polozávěs je nejčastějším způsobem dopravy dříví na lanovkách
- Záleží na podílu hmotnosti nákladu zavěšeného na laně a hmotnosti, působící na povrch
- Podíl hmotnosti zavěšené na laně záleží na druhu dřevin, ale také na místě uvázání kmene a bodu dotyku s terénem, zpravidla se pohybuje kolem **60 %**
- Je třeba také uvažovat s vlastní hmotností vozíku, který se pohybuje s nákladem
- Vedle smýkání koncové části nákladu vzniká odpor v podobě valení kladek vozíku po nosném laně
- Součinitel valení kladek vozíku po nosném laně je $f_r = 0,05$

Vlečení v polozávěse

- Podíl tíhy nákladu Q_v působící na nosné lano:

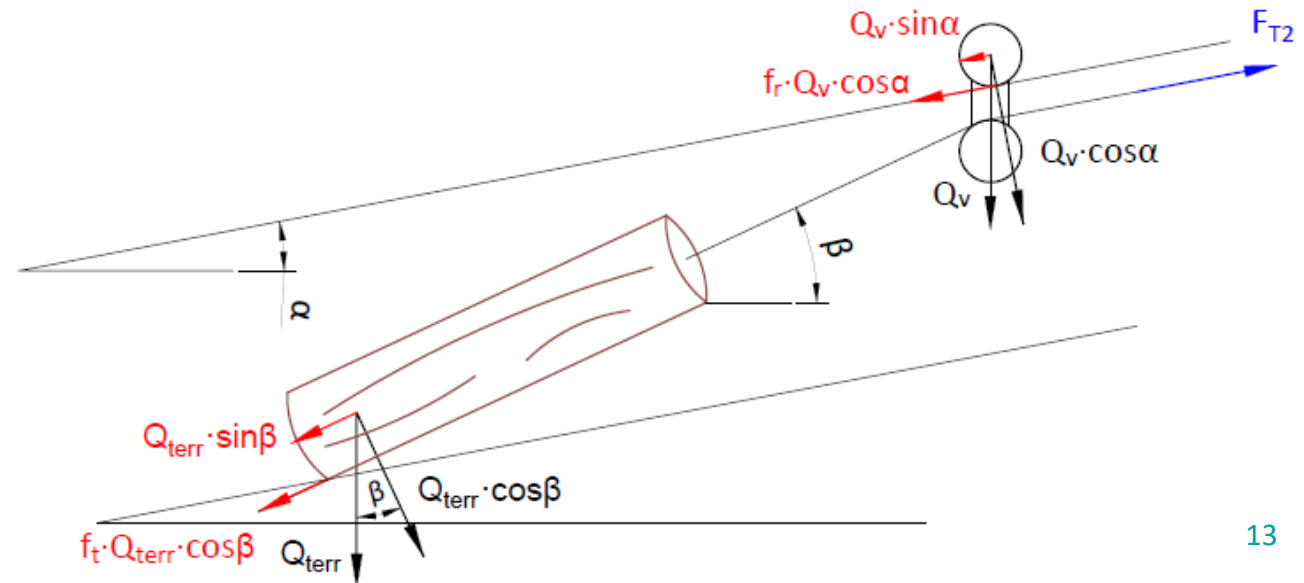
$$Q_v = m_v \cdot g + 0,6 \cdot m_b \cdot g = 200 \cdot 9,81 + 0,6 \cdot 1\,500 \cdot 9,81 = 10\,791\, N \quad (2)$$

- Tíha působící na lesní povrch: $Q_{terr} = 0,4 \cdot m_b \cdot g = 0,4 \cdot 1\,500 \cdot 9,81 = 5\,886\, N \quad (3)$

- Potřebná tažná síla: $F_{T2} = Q_v \cdot (f_r \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + Q_{terr} \cdot (f_t \cdot \cos\beta + \sin\beta) \quad (4)$

$$F_{T2} = 10\,791 \cdot (0,05 \cdot \cos 15^\circ + \sin 15^\circ) + 5\,886 \cdot (0,65 \cdot \cos 15^\circ + \sin 15^\circ) \cong \mathbf{8,5\, kN}$$

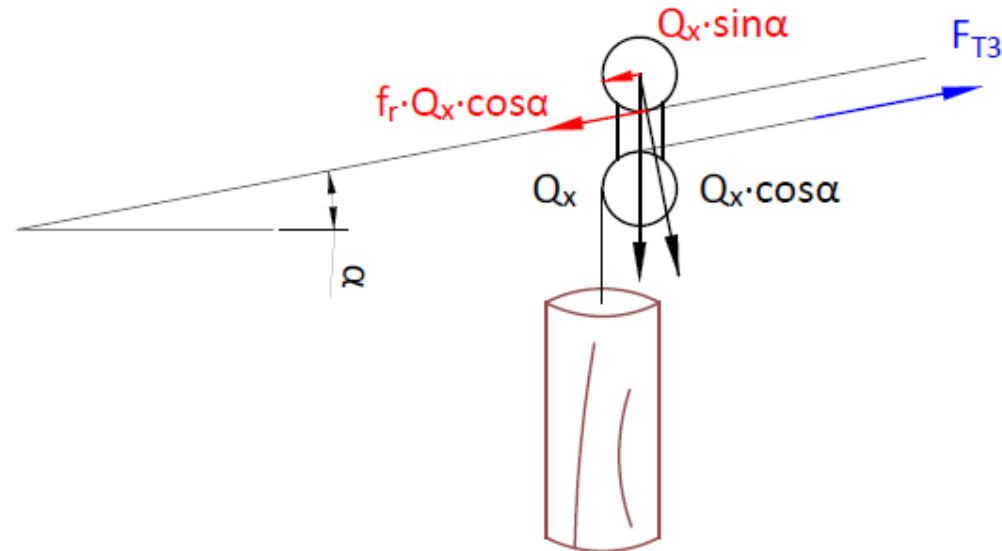
- Pro ulehčení výpočtu platí $\alpha \cong \beta$



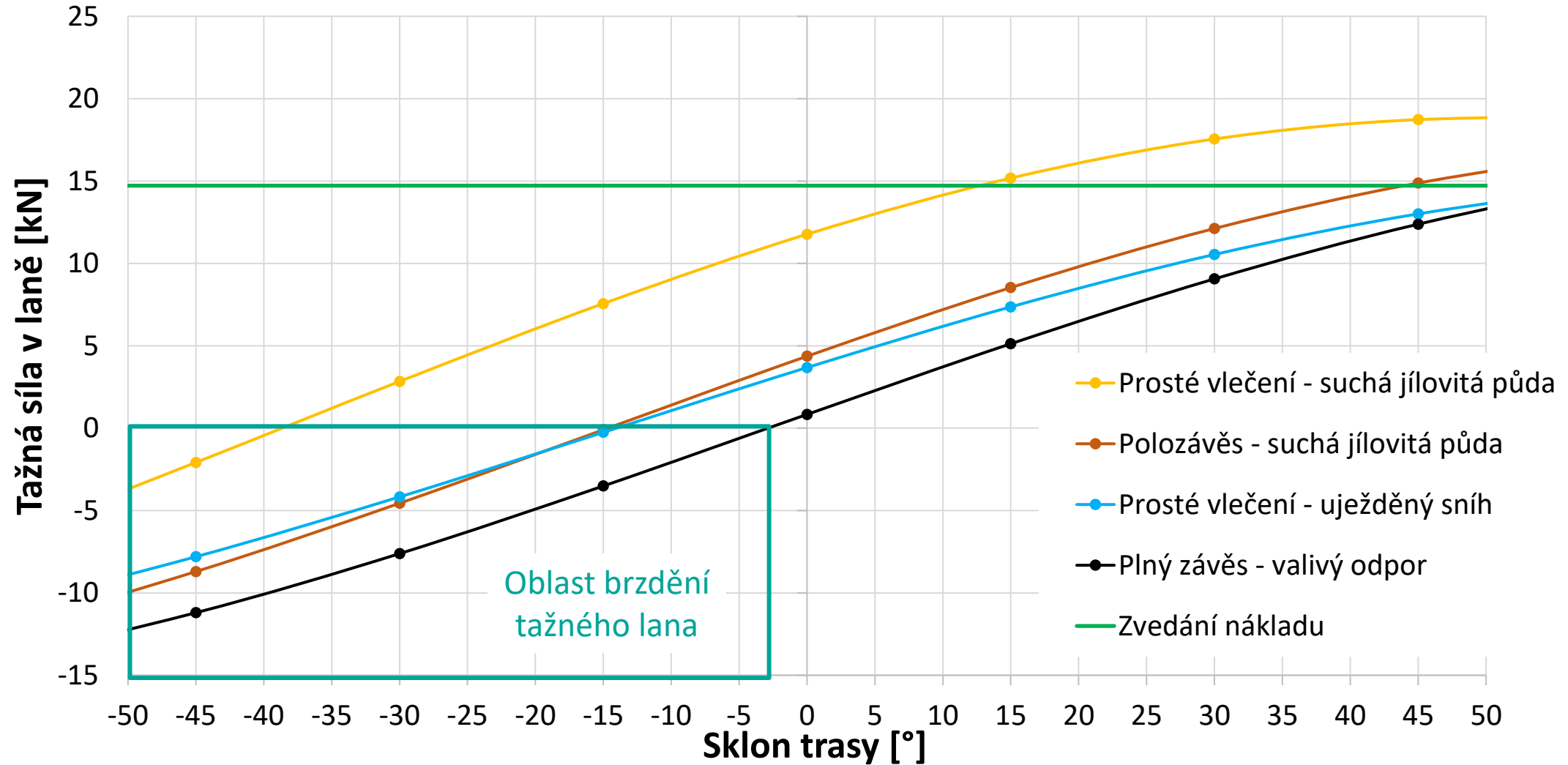
Vlečení v plném závěse

- Vlečný odpor nulový a zůstává pouze valivý odpor pojezdových kladek vozíku po nosném laně
- Tíha nákladu a vozíku: $Q_x = (m_b + m_n) \cdot g = (1500 + 200) \cdot 9,81 = 16\,677\text{ N}$ (5)
- Potřebná tažná síla: $F_{T3} = Q_x \cdot (f_r \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) = F_{T3} = 16\,677 \cdot (0,05 \cdot \cos 15^\circ + \sin 15^\circ) \cong \mathbf{5,1\text{ kN}}$ (6)
- Pro dopravu materiálu je potřeba náklad zvednout, při zvedání nákladu bude v tažném laně působit síla:

$$Q_b = m_b \cdot g = 1\,500 \cdot 9,81 \cong \mathbf{14,7\text{ kN}} \quad (7)$$



Vývoj tažných sil pro různé sklony a lesní povrchy

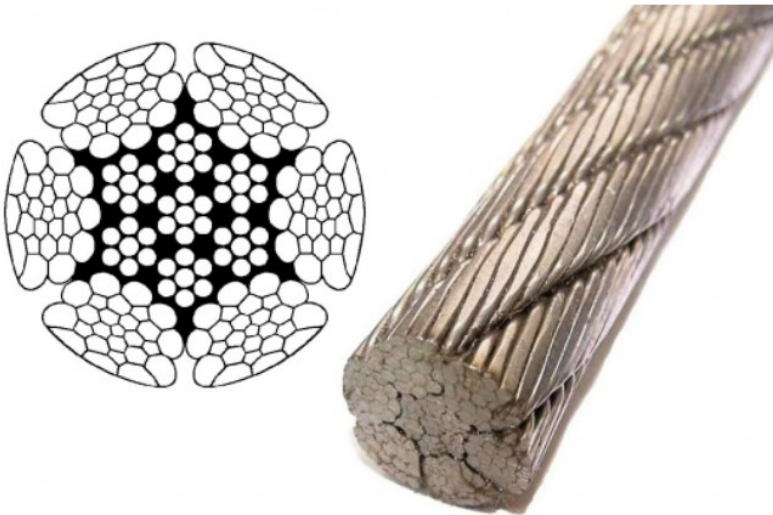


Návrh tažného lana

- Největší tažná síla byla vypočtena v případě prostého vlečení, odtud se vypočte minimální pevnost lana
- Koeficient bezpečnosti lana k_l je z Tab. 1
- Minimální pevnost tažného lana: $F'_{Tjm} = F_{T1} \cdot k_l = 15,2 \cdot 4 = \mathbf{60,7\ kN}$ (8)
- **Tažné lano zvolím na základě nejvyšší blízké hodnotě**

Volba tažného lana

- Je vhodné volit válcované lana s ocelovou duší, vyznačují se vysokou únosností, odolností vůči stlačení, oděru a dlouhou životností, díky výborné ohebnosti je s tímto lanem lepší manipulace, používají se zásadně lana protisměrná, jelikož netvoří smyčky



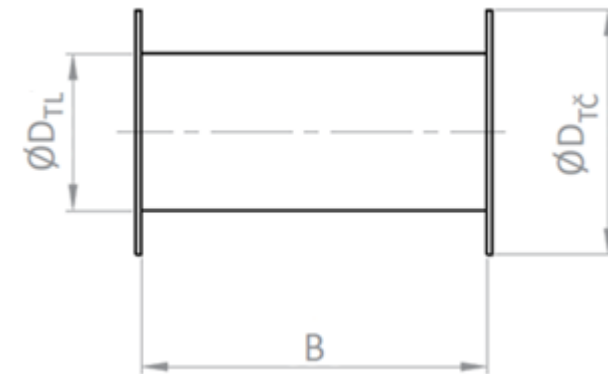
<https://www.interforst.cz/>

6x26WS-IWRC			
Průměr lana	d_T	8	$[mm]$
Jmenovitá pevnost	F_{Tjm}	67,4	$[kN]$
Počet drátků	n_d	156	$[-]$
Pevnost drátků	σ	1 960	$[MPa]$
Měrná hmotnost	m_{TL}	0,332	$[kg \cdot m^{-1}]$

Tab. 3

Návrh rozměru bubnu

- Je vhodné volit větší průměr bubnu tažného lana, důvodem je snaha snížení počtu vrstev navinutých na bubnu, tím dojde k menšímu kolísání tažné síly a obvodové rychlosti lana, proto volíme $D_{TL} = 300 \text{ mm}$
- Musí být splněna podmínka: $D_{TL} = 300 \text{ mm} > 15 \cdot d_T = 15 \cdot 11 = 165 \text{ mm}$ (9)
- Vhodně zvolíme šířku bubnu: $B = 650 \text{ mm}$
- Průměr po navinutí celé délky lana L : $D_{Tn} = \sqrt{\frac{d_T^2 \cdot L}{0,785 \cdot B} + D_{TL}^2} = \sqrt{\frac{8^2 \cdot 400 \cdot 1\,000}{0,785 \cdot 650} + 300^2} \cong 374 \text{ mm}$ (10)
- Průměr bočnic: $D_{Tč} = D_{Tn} + 3 \cdot d_T = 374 + 3 \cdot 8 = 398 \text{ mm}$ (11)



Technologický výpočet bubnu

- Maximální dovolená síla v tažném laně: $F_{T \max} = \frac{F_{T \text{ jm}}}{k_l} = \frac{67,4}{4} = \mathbf{16,9 \text{ kN}}$ (12)
- Maximální rychlost navíjení $v_{T \max} = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (od zadané rychlosti lanového vozíku) bude dosaženo na největším průměru návínu, odtud se vypočtou otáčky bubnu:

$$n_T = \frac{60 \cdot 1\,000 \cdot v_{T \max}}{\pi \cdot (D_{Tn} - d_T)} = \frac{60 \cdot 1\,000 \cdot 3}{\pi \cdot (435 - 8)} = \mathbf{156,4 \text{ min}^{-1}}$$
 (13)

- Vlivem poměrně velké délky tažného lana hodnoty obvodové rychlosti a tažné síly značně kolísají
- Nejnižší rychlost při navíjení: $v_{T \min} = \pi \cdot \frac{(D_{TL} + d_T)}{1\,000} \cdot \frac{n_T}{60} = \pi \cdot \frac{(300 + 8)}{1\,000} \cdot \frac{156,4}{60} = \mathbf{2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$ (14)

Výpočet pohonu a volby traktoru

- Otáčky vývodové hřídele traktoru jsou normalizovány: $n_{TR} = 540 \text{ min}^{-1}$
- Potřebný převodový poměr: $i_T = \frac{n_{TR}}{n_T} = \frac{540}{156,4} = \mathbf{3,5}$ (15)
- Tento převodový poměr bývá nejčastěji realizován řetězovým převodem
- Požadovaný výkon traktoru: $P_T = \frac{F_{T \max} \cdot v_{T \min}}{\eta} = \frac{16,9 \cdot 2,5}{0,9} = \mathbf{47,2 \text{ kW}}$ (16)
- Předpoklad celkové účinnosti pohonu je $\eta = 0,9$

Zdroje

- [1] HOREK, P. *Lesní lanovky*. Lesnická práce, s.r.o, 2007. ISBN 978-80-87154-10-6.
- [2] ROŠKO, P. *Lesní vývozní lanovky*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1964.
- [3] NERUDA, J. a V. SIMANOV. *Technika a technologie v lesnictví*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-7157-988-2.
- [4] DRESSLER, M. a I. ADÁMEK. *Vyklizovací lanovky*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1960.
- [5] Ackerman S., Immelman A., McEwan A., Naidoo S., Upfold S. *South African Cable Yarding Safety and Operating Handbook*. South Africa 2017. ISBN 978-0-620-72925-3. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.icfr.ukzn.ac.za/publications/south-african-cable-yarding-safety-and-operating-handbook>
- [6] KONRAD. *Forsttechnik* [online]. 2021 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.forsttechnik.at/>
- [7] KOLLER FORSTTECHNIK. *Yarder* [online]. 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.kollergmbh.com/>
- [8] TST FORESTRY. *Seilbahntechnik aus Österreich* [online]. 2021 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <http://tst-forestry.com/>
- [9] FOREST MACHINERY. *Výzkumná stanice ŠLP Křtiny* [online]. 2021 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.forest-machinery.cz/>
- [10] INTERFORST. *Váš partner pro les, dílnu a zahradu* [online]. 2022 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.interforst.cz/>

Děkuji za pozornost

Ing. Martin Dvořák
martin.dvorak@vsb.cz

Toto dílo je licencováno pod [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY