

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Využití lan v praxi**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Bc. Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Autor práce: Lukáš Mach

Praha 2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Mach

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Využití lan v praxi

Název anglicky

Use of ropes in practice

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je shromáždit a analyzovat aktuální poznatky o lanech a jejich využití v praxi. Na základě závěrů z literárního rozboru předmětné problematiky stanoví bakalář přínos práce.

### Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Cíle práce a metody jejího vypracování.

Přínos a závěry práce.

**Doporučený rozsah práce**

cca 30 stran

**Klíčová slova**

Lano, drát, vlákno, vlek, životnost

**Doporučené zdroje informací**

BOROŠKA, J., HULÍN, J., LESŇÁK, O.: Ocelová lana. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1982. 479 s.

Časopisy, firemní literatura, katalogy, prospekty, normy.

FLEMMING, M., ZIEGMANN, G., Roth, S.: Faserverbundbauweisen : Fasern und Matrizes. German, Berlin : Springer-Verlag, 1995.

MALLICK, P.: Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design. Londýn, 2008, 638 s.

Vědecká literatura: Agricultural Engineering, Journal of Materials Processing Technology, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojírenská technologie, Journal of materials science, Journal of material processing technology, Manufacturing technology.

**Předběžný termín obhajoby**

2020/2021 LS – TF

**Vedoucí práce**

Bc. Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 22. 1. 2020

**prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 12. 05. 2021

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Využití lan v praxi“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 12. 5. 2021

---

Lukáš Mach

## Poděkování

Rád bych poděkoval Bc. Ing. Petru Hraběti, Ph.D. za vedení bakalářské práce a za jeho velkou trpělivost, podporu a diskuze při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Jeronýmu Holému za zapůjčení dokumentace lyžařského vleku v obci Nový Hrádek.

**Abstrakt:** Bakalářská práce se zabývá využitím lan v praxi, konkrétně jeho použití na lyžařském vleku. Cílem je výběr dopravního lana po technické stránce nejvýhodnější pro lyžařský vlek v obci Nový Hrádek. Lana disponují bohatou historií, během které vznikala řada inovací a druhů lan. V dnešní době je široký sortiment lan nejen podle použitým materiálů, kde jsou lana rozdělena na lana z přírodních materiálů a lana ze syntetických materiálů, také dle technologie jejich výroby, rozdělených na lana kroucená, oplétaná a splétaná. Velkou skupinou lan jsou lana ocelová dělicí se do mnoha druhů, co do konstrukce, způsobu vinutí, pevnostní třídy drátů, způsobu výroby, z hlediska použití. Dle těchto specifík jsou značena. Obsahem návrhu dopravního lana pro lyžařský vlek jsou výpočty zohledňující účinky působící na dopravní lano během provozu, které mají negativní vliv na životnost (dobu v provozu). Životnost je hlavním hlediskem při výběru správného lana. Dopravní lano v průběhu provozu podléhá pravidelným kontrolám a servisům.

**Klíčová slova:** lano, drát, vlákno, vlek, životnost

## Use of Ropes in Practice

**Abstract:** The Bachelor thesis deals with the use of ropes in practice, specifically its use in ski lift. The objective is to choose the best finishing rope the technical aspects of which will be the most convenient for a ski lift in Nový Hrádek. Ropes have rich history, during which a number of innovations and types of ropes were developed. These days, there is a great range of ropes not only regarding the materials used, where there are natural material ropes as well as synthetic material ropes, but also the manufacturing technologies employed — divided to twisted, braided and twined ropes. A large group of ropes are steel ropes divided into many types according to construction, way of winding, wire firmness class, way of production, and aspect of use. They are marked according to these specifics. Calculations taking into account the effects acting on finishing rope during service which have negative influence on service life (time of service) form the content of the design of a finishing rope for the ski lift. The service life is the major aspect in selecting the right rope. Finishing rope is subject to regular inspection and service during its operation.

**Keyword:** rope, wire, fiber, lift, service life

# Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl a metodika .....	2
3 Charakteristika lan .....	3
3.1 Historie lan.....	3
3.2 Druhy lan podle materiálu.....	4
3.2.1 Lana z přírodních materiálů .....	4
3.2.2 Lana ze syntetických materiálů .....	4
3.3 Výroba lan.....	5
3.3.1 Metoda stáčecí.....	5
3.3.2 Metoda oplétání jádra.....	6
3.3.3 Metoda splétací .....	6
3.4 Typy lan .....	6
4 Charakteristika ocelových lan.....	7
4.1 Výroba ocelových lan .....	8
4.1.1 Výroba ocelového drátu .....	9
4.1.2 Výroba vložky ocelového lana.....	9
4.1.3 Výroba ocelového lana.....	10
4.2 Rozdělení dle jednotlivých hledisek .....	11
4.3 Rozdělení z hlediska použití ocelových lan .....	13
4.4 Značení ocelových lan.....	13
5 Návrh dopravního lana pro lyžařský vlek .....	15
5.1 Parametry lyžařského vleku .....	15
5.2 Výpočet přepravních parametrů lyžařského vleku.....	15
5.2.1 Výpočet přepravní kapacity lyžařského vleku .....	16
5.2.2 Výpočet doby jízdy .....	16
5.2.3 Výpočet počtu osob na lyžařském vleku.....	16
5.3 Výpočet sil působících v laně .....	16
5.3.1 Výpočet tahové síly v laně .....	17

5.3.2 Výpočet minimální dovolené nosnosti lana .....	18
5.4 Volba lana .....	19
5.4.1 Výpočet koeficientu výběru průměru lana .....	20
5.4.2 Výpočet průměru lana .....	20
5.4.3 Výpočet minimální síly na přetržení lana .....	21
5.4.4 Výpočet parametrů lana .....	21
5.4.5 Tolerance lana .....	22
5.5 Kontrola ocelového lana .....	22
5.5.1 Bezpečnost .....	22
5.5.2 Poměr průměrů .....	23
5.5.3 Tlak lana na lanový kotouč .....	23
5.5.4 Výpočet maximální síly .....	24
5.5.5 Zhodnocení kontroly .....	26
5.6 Prodloužení lana .....	26
5.7 Celková délka lana .....	26
5.8 Tabulka vyhovujících lan .....	27
6 Kontrola lana v provozu .....	30
7 Závěr .....	31
8 Použité zdroje .....	34
9 Seznam použitých značek a symbolů .....	36
10 Seznam tabulek .....	39
11 Seznam příloh .....	40



## 1 Úvod

Bakalářská práce „Využití lan v praxi“ pojednává o návrhu dopravního lana pro lyžařský vlek.

V teoretické části bakalářské práce jsou charakterizovány jednotlivé druhy lan, jejich výroba, rozdělení lan dle jednotlivých konstrukcí a materiálů používaných na jejich výrobu. Lana jsou známá už od pravěku, kdy byla vyráběna z popínavých rostlin. Dnes jsou již lana vyráběna z nejrůznějších materiálů jak syntetických, tak přírodních. Základním materiálem jsou vlákna, nebo ocelové dráty. Existuje velký sortiment lan, každé lano má své specifické využití. Lana jsou používány ve strojírenství, stavebnictví, sportu, v domácnostech jako dekorace, ve zdravotnictví, atd. Lana jsou vyráběna mnoha metodami - např. stáčení, oplétání jádra, splétání, slaňování aj. Dříve byla vyráběna ručně (na koleni) a od 50. let 20. století bylo započato se strojní výrobou lan.

Praktická část se zabývá návrhem dopravního lana pro lyžařský vlek. Zde se využívají jak lana vyrobená z přírodních a syntetických vláken, tak i lana z drátů, o kterých bude v bakalářské práci pojednáváno. Při návrhu správného dopravního lana pro daný lyžařský vlek se musí zohlednit řada faktorů působících na lano během provozu, jako např. hmotnosti lyžařů na vleku, hmotnosti unašečů, samotného lana, napínacího závaží a sil, tlaků z nich vzniklých. Dále se musí počítat s vlivy okolního prostředí na lano. Lano podléhá korozní únavě a proti tomuto je nutné lano chránit mazáním, povrchovou úpravou drátů, atd. Na lano působí také tření vně (mezi lanem a kotoučem, kladkou) i uvnitř lana, vzniká opotřebení. Správným výpočtem a návrhem lana lze docílit jeho dlouhé životnosti. V praxi jsou prováděny i provozní zkoušky, které ověřují teoretické výpočty a bezpečně stanoví správný typ dopravního lana pro vlek. Lano v provozu podléhá kontrolám a servisu, který odhalí případné porušení lana - přetržené dráty, špatně provedený záplet, apod. Servis a pravidelná údržba lana prodlužuje jeho životnost (dobu v provozu).

## 2 Cíl a metodika

Hlavním cílem je navrhnout takových opatření, která povedou k výběru dopravního lana po technické stránce nejvýhodnější. Lana o různých průměrech a konstrukcích jsou podrobena výpočtům, tj. účinků působících na lano během provozu, které nejvíce ovlivňují životnost lana (dobu lana v provozu). Výsledky provedených výpočtů jsou uvedeny v Příloze 4. Následně je vybráno lano s nejvýhodnějšími parametry a toto lano je v závěru práce porovnáno s lanem v současnosti provozovaným na lyžařském vleku Nový Hrádek.

Metodika bakalářské práce se zabývá sledováním vlivů působících na dopravní lano v průběhu jeho provozu a stanovuje základní výpočty pro výběr dopravního lana vyhovujících parametrů. Hlavním hlediskem při výběru dopravního lana pro lyžařský vlek, je lano s co nejdelší životností (dobou v provozu). Jako konkrétní případ byl zvolen návrh dopravního lana pro lyžařský vlek v obci Nový Hrádek. K vybranému lyžařskému vleku typu TLV – 12 (teleskopický lyžařský vlek s pevnými jednomístnými unášeci) byla k dispozici podrobná dokumentace [7] na základě, které byly provedeny výpočty pro dopravní lano lyžařského vleku.

Do výpočtů byl zahrnut výpočet základních sil (statická, dynamická, třecí síla) působících na dopravní lano, kde hlavní síla působící na lano (součet základních sil) byla tahová. Podle tahové síly byl vypočten rozsah vyhovujících průměrů lana pro jednotlivé konstrukce.

Pro lana byly spočteny parametry, jako minimální síla na přetržení, jmenovitý kovový průměr, hmotnost, jmenovitý průměr vnějších drátů. Následovaly kontrolní výpočty, kde byla lana zkoušena, zda vyhovují z hlediska bezpečnosti, poměru průměrů lana a lanového kotouče, tlaku lana na lanový kotouč. Poté byla pro jednotlivá lana vypočtena maximální síla působící na lano, do této síly byla zahrnuta kromě tahové síly i ohybová síla v lanech. Dále byly provedeny výpočty prodloužení lana a celková délka lana. Výpočty byly prováděny pro lana stanovená normami [10, 11]. Na základě provedených výpočtů jednotlivých lan shrnutých v Příloze 4 byla vybrána lana vyhovující kontrolním výpočtům. Z těchto lan byla vybrána lana s největším průměrem vnějších drátů a z nich poté podle shrnutých výhod a nevýhod vybraných lan bylo vybráno lano s předpokládanou nejdelší životností (provozní dobou).

### 3 Charakteristika lan

Lano je pevný svazek vytvořený stočením (spletením) vláken (např. konopných, polyamidových) a ocelových drátů vinutých do pramenů a následně z hotových pramenů v lano. Lana mají široké spektrum využití jak v průmyslových odvětvích, zemědělství, tak i domácnostech nebo sportu.

#### 3.1 Historie lan

Lana se používala již od pravěku, o čemž pojednává článek [16], kde se hovoří o objevu nástroje na výrobu lana. Z této doby se zachovaly už jen otisky lan ve vypálené hlíně. Pro pravěkého člověka byla lana důležitou technickou součástí, jak pro lovce, tak i pro sběrače. K výrobě prvních „lan“ byly používány různé popínavé rostliny a tato „lana“ sloužila pro výrobu zbraní, košíků, atd. V článku „A Short History of Wire Rope“ je uvedeno, že zbytky lan objevených ve Finsku jsou pravděpodobně z Mezolitického období (9000 – 3000 př. n. l.), další byly objeveny v Egyptě a vyrobeny z velbloudích chlupů více než před 4000 lety. Různé nástěnné malby v Egyptě (2000 př. n. l.) popisují výrobu lan vyrobených z papyrusu, kůže nebo palmových vláken [20]. Důkazem jsou nástěnné malby s popisem jejich výroby. Zvolené postupy byly používány řemeslníky do poloviny 19. století. V době bronzové se lana vyráběla nejen z přírodních vláken, začala se vyrábět i z bronzových drátů. Ve středověku přibyla lana z měděných nebo mosazných drátů. V 19. století se rozvíjela výroba ocelových lan. Do 50. let 20. stol. byla splétaná lana výhradně vyráběna z přírodních vláken. Představitelem, který vytvořil první polosyntetické vlákno, byl v 80. letech 19. století Sir Joseph Wilson Swan, anglický fyzik, chemik a vynálezce. V roce 1928 americký chemik Wallace Carothers vynalezl polyamidové (syntetické) vlákno. Roku 1941 přišlo na svět vlákno ze syntetického polyesteru a za ním následovala řada dalších syntetických vláken. Od 50. let 20. století se tato vlákna začala používat na výrobu umělých lan.

Výrobou lan se zabývali v minulosti tzv. provazníci, toto řemeslo se v dnešní době pokládá za již skoro zaniklé. Provazníci se shromažďovali do cechů. „Nejstarší zprávy o vytvoření cechů v některých německých městech pocházejí z 12. století. Týkaly se hlavně rybářů a obuvníků. Cechy vznikaly postupně i v našich zemích a ve 14. století dosáhly značného vlivu a vážnosti“ [17].

Ve druhé polovině 19. století byla zahájena strojní výroba lan, která se postupem času zdokonalovala. V dnešní době se rozšiřuje a zrychluje rozvoj výrobních technologií lan. Mezi výrobce lan v České republice, patří firmy Lanex a.s., LANOCEL spol. s r.o., ELIS spol. s r.o., LANA VAMBERK s.r.o. a také provaznictví společnost ROMAK Group s.r.o..

### **3.2 Druhy lan podle materiálu**

Lana se rozdělují podle druhu materiálu použitého na lana přírodní a lana umělá. Lana přírodní jsou vyráběna z vláken přírodního původu. Pro lana umělá jsou využívána vlákna syntetického původu.

#### **3.2.1 Lana z přírodních materiálů**

Lana z přírodních materiálů se vyráběla až do 2. světové války převážně z konopí, bavlny, kokosového vlákna, lnu a sisalu. Většina přírodních lan je vinuta v konstrukci se třemi prameny v pravém směru vinutí lana. Vinutí lana v levém směru není tak běžné a lano je výhradně uspořádáno ze čtyř pramenů. Existují i varianty se šesti prameny v laně vyráběné ve Francii, tyto varianty jsou vyráběny s prázdným jádrem, které je vyplňováno levnějším materiálem. Lana z přírodních materiálů mají své výhody a nevýhody. Hlavní nevýhodou lan z přírodních materiálů je, že „mokrā bobtnají, což ztěžuje rozvazování uzlů, a jsou také křehčí. Přírodní lana poškozují i ostré světlo a chemikálie“ [3]. Podrobnější informace jsou uvedeny v Příloze 1.

#### **3.2.2 Lana ze syntetických materiálů**

Syntetická lana se začala vyrábět během 2. světové války a od té doby přibýlo mnoho typů těchto lan. V současné době z důvodu pevnosti umělá lana nahrazují lana přírodní, neboť „syntetická lana jsou naopak vyrobena právě z nedělených „nekonečných“ vláken“ [3]. Dalšími výhodami umělých lan je jejich hmotnost, jsou lehčí, netrouchnivější, neplesniví, neleptá je slaná voda, jsou odolná vůči chemikáliím, naftě, benzínu, většinou rozpouštědel.

Nevýhodou syntetických lan je nesoudržnost některých vázaných uzlů, které je nutné zajistit tzv. pojišťovacím uzlem. Tuto nevýhodu lze vyřešit vyrobením syntetického lana technikou

výroby přírodních lan (viz kapitola 3.3.1). Umělá vlákna se nasekají na kratší části a z nich se stočí lano, tím vznikne tzv. kroucené lano. Další nevýhodou syntetických lan je tavení lana při zvýšené teplotě, tj. tření lana o lano, teplota vyvolaná třením způsobí zatavení lana v uzlu a uzel pak nelze rozvázat. Podrobnější informace jsou uvedeny v Příloze 2.

### **3.3 Výroba lan**

Provoznické řemeslo a s ní i spojená výroba lan z přírodních materiálů patří ke starým a v dnešní době skoro zaniklým řemeslům. Lana jsou vyráběna strojní výrobou, technologií stáčecí, splétací nebo oplétáním jádra.

#### **3.3.1 Metoda stáčecí**

Lana vyráběná takzvanou „stáčecí technologií“, se nazývají kroucená lana. Výroba lan metodou stáčecí z přírodních vláken je popsána v článku Provoznictví na Žďársku, kde Jitka Staňková popisuje ruční způsob jejich výroby [6]. Autorka [6] uvádí, že se používal len, ze kterého si hospodáři vyráběli provazy a lana. Základní surovinou byl podřadný len nazývaný „háčky“, který se třel na dřevěných mēdicích, což byly dvě desky, mezi nimiž zapadala shora třetí s ostrou hranou (nůž). Háčky byly položeny na dvě desky a třetí prostřední deskou (nožem) se háčky zatlačili do mezery, docházelo k lámání lnu a tím se vlákna oddělovala od stonků rostliny. Poté byl len přetřásán a vyčesáván. Z čistě vyčesaných vláken byla předena nit pomocí kužele na třech nožkách. Z těchto přízí pak hospodáři pletli lana pomocí nástrojů zvaných „provaznické vozejky“. Provaznické vozejky byly dva stojany. První stojan (nepohyblivý) měl tři otvory, ve kterých byly dřevěné kličky, zajištěné dřevěnými kolíčky na jedné straně a velkou deskou s otvory (klikou) na druhé straně. Otáčením klikou byly otáčeny i dřevěné kličky. Na druhém stojanu s kolečky „vozíku“ byla upevněna hřídel s klikou a konec byl zajištěn kolíčkem. Mezi vozíky byly napínány upředené nitě a pomocí kliky na prvním stojanu byly skrucovány do jednotlivých pramenů. Po dostatečném stočení pramenů bylo zahájeno otáčení hřídelí s klikou druhého vozíku, z pramenů se stáčelo lano. Mezi prameny byl vložen nástroj zvaný „vlk“, polínko se zářezy pro každý pramen lana. Vlk zapříčinil brzdění rychlosti skrucování lana a zvyšoval počet otáček na laně. Po dokončení se z provazu odstranily vylézající vlákna „pazdeře“ a lano se na koncích svázalo, aby se neroztáčelo.

Motouzy a slabá lana se v domácnostech vyráběla za použití kolovrátku, nebo bez použití nástrojů „na koleně“, nebo pomocí kola, kde převod přenášel pohyb řemene na vřeteno nazývané „hák“, od kterého se předl provaz nebo pramen. Vložením více háků se stáčely prameny do provazů.

Ke změně došlo v 50. let 20. století, kdy byla zavedena strojní výroba. Kromě přírodního materiálu byly používány syntetické materiály. Ke strojnímu způsobu byla využívána licnovačka, která vlákna přeze kroutila v pramen „licna“. Z licen se stáčelo stáčecím strojem lano. K této výrobě byly využívány MU stroje. „Jednalo se o stroj, od kterého bylo možno příst prameny i stáčet hotové provazy do průměru 20 mm“ [17].

### **3.3.2 Metoda oplétání jádra**

Technologie oplétání jádra je vyznačována zejména hladkou strukturou povrchu a kruhovým průřezem lana. Oplétané lano má obal složený ze šestnácti nebo více pramenů obklopujících vnitřní duté opletené jádro lana nebo pevné jádro rovnoběžných nebo pouze volně kroucených vláken. „Oplétaná lana jsou většinou ze syntetických materiálů, přírodní oplétaná lana jsou vzácná“ [19].

### **3.3.3 Metoda splétací**

Splétaná lana jsou vyráběna pomocí splétacích strojů. Tyto stroje jsou tvořeny jednou nebo několika soustavami nití. Při splétání těchto soustav dochází k jejich provázání, podobně jako u tkání. Jako materiál na výrobu těchto lan se obvykle používají syntetická vlákna - např. nylon, polyester, polypropylen a další. Lana se obvykle skládají z osmi nebo dvanácti pramenů. Splétací technologií dostanou lana vysokou pevnost a odolnost proti opotřebení.

## **3.4 Typy lan**

Typy lan jsou děleny podle použitého materiálu (přírodního nebo syntetického vlákna) a zvolené technologie výroby (technologie stáčecí, technologie oplétání jádra a technologie splétání). Rozdělují se na lana vyrobená metodou stáčecí (lana kroucená), lana vyrobená

s využitím metody oplétání jádra (lana oplétaná) a lana vyráběná splétací metodou (splétaná lana).

Kroucená lana se vyrábí převážně z přírodních vláken. Jsou rozdělována podle směru stáčení lana levotočivá označovaná písmenem „S“ a pravotočivá lana označovaná písmenem „Z“. Kroucená lana jsou dále dělena na pevně kroucená a volně kroucená a podle počtu pramenů na klasická třípramenná, čtyřpramenná a vícepramenná (tzv. kablovaná lana).

Oplétaná lana jsou vyráběna buď ve variantě dutého opleteného jádra nebo plného jádra ve variantách jádra opleteného s volně kroucenou duší, jádra opletená s třípramennou duší, jádra pletená s pletenou duší nebo jádra opletená s duší z materiálu Dyneema. V literatuře k rozdílu mezi opleteným lanem a krouceným lanem je uvedeno: „Opletené lano vykazuje daleko lepší vlastnosti než kroucené lano, zvláště v horolezeckých situacích. Kroucená lana jsou levnější“ [3].

Splétaná lana se skládají ze dvou částí, a to z jádra a opletu. Jádro je hlavní nosný prvek lana, cílem opletu lana je ochránit jádro před vnějšími vlivy a je buď těsný nebo volný. Touto technologií jsou vyráběna lana pro lezecké účely, tzv. systém „Kernmantel“ (Kern neboli jádro a mantel jako oplet). Lana se dělí z hlediska průtažnosti na statická a dynamická lana. Jak uvádí Frank, Kublák a kolektiv [2] statická lana mají průtažnost nepřesahující 5 %. Používají se především pro speleologické a záchranářské účely a pro práce ve výškách. Dynamická lana mají průtažnost 5 – 15 % (pro lezecké účely však obvykle do 8 %), jsou určena pro horolezectví.

#### **4 Charakteristika ocelových lan**

„Lano je, podle definice ČSN 02 4300 *Ocelová lana – Základní pojmy a ustanovení* výrobek z tažených ocelových drátů, vinutých v prameny a z pramenů v lana“ [5].

Svojka [8] uvádí, že lze ocelové lano definovat jako prvek stroje, který je při práci namáhán především tahem a ohybem. Jeho konstrukce musí zajišťovat základní požadavky – dosažení vysoké nosnosti při poměrně malém průměru, malé hmotnosti a dostatečné ohebnosti.

Ocelová lana zastávají důležitou úlohu v důlním, stavebním nebo dopravním průmyslu popřípadě v dalších průmyslových odvětvích. Používají se jak pro dopravu lidí, tak materiálu a slouží jako nosné nebo kotevní prvky.

Boroška, Hulín, Lesňák [1] uvádí, že ocelový drát je znám už od středověku. K rychlému rozvoji výroby ocelových lan se dospělo na počátku 19. století. Dále v článku „Modern History of Wire Rope“ [18] popisují, že první ocelová lana moderní éry, nasazená ve svislých šachtách stříbrného dolu Harz Mountain (Německo) od roku 1834 do 1854 jako tažná lana, nebyl složitý vynález. Tažná lana se skládala z 3 – 4 pramenů, po 3 – 4 drátech o průměru 3,5 mm. Délka jednotlivých drátů dosahovala maximální hranice 38 m, při jejich pevnosti 500 MPa. Ocelová lana byla z počátku vyráběna ručně. Změna nastala příchodem slaňovacího stroje od vídeňského mechanika pana Wurma roku 1840. Tento stroj stácel dráty do pramenů. O důležitý krok (rok 1850) se postaral vynález angličana Jamese Horsfalla, který přišel s kalením drátů určených na výrobu lan. Kalený ocelový drát je označován jako patentovaný ocelový drát. Množství vyrobených a používaných ocelových lan v průmyslu stále rostlo, v dnešní době ocelová lana patří mezi nejrozšířenější konstrukční prvky.

Patentovaný ocelový drát je hlavní nosnou částí lan. Drát je následně vinut v pramenu. Pramen tvoří několik drátů, které jsou vinuty okolo duše lana do šroubovice. Dráty se navzájem dotýkají a tvoří stejný průřez po celé délce lana. Vložka nebo drátěná duše tvoří jádro lana, okolo kterého jsou vinuty jednotlivé prameny lana. Mazadlo se používá pro lana, pro vnitřní mazání lan (tj. napuštění vložky lana mazadlem) nebo pro vnější mazání drátů a lan.

#### **4.1 Výroba ocelových lan**

Od doby, kdy se ocelová lana vyráběla ručně, až do současné doby se výroba neustále vyvíjí a zdokonaluje nejen z hlediska použitých zařízení pro výrobu ocelových lan, ale i materiálů a ochrany proti vnějším vlivům. V dnešní době je převážná většina ocelových lan vyráběna strojní výrobou.

Výroba jednotlivých druhů ocelových lan se z technologického hlediska liší, přesto však lze z pohledu prováděných operací jejich výrobu rozdělit na navíjení drátů na cívku, slaňování, srážení, doplňující činnosti a umrtvení lana.



#### **4.1.1 Výroba ocelového drátu**

Boroška, Hulín, Lesňák [1] uvádí, že tahaný ocelový drát se vyrábí z válcovaného drátu tepelným zpracováním a následným taháním, čímž se dosáhne vysokých pevnostních parametrů a dobré houževnatosti. Válcované dráty jsou vyráběny ze špalků na válcovacích linkách, kde záleží na kvalitě zpracování, od které se následně odvíjí životnost lana. Samotná příprava špalků je důležitá, Boroška, Hulín, Lesňák [1] uvádí, že použití špalků s broušeným povrchem způsobuje zvýšení meze únavy lanového drátu o 8 %. Vyrobené válcované dráty začnou tepelně zpracovávat. Cílem tepelného zpracování drátů je dosažení jemné perlitické struktury ocelového drátu s vysokou pevností a dobrou plasticitou. Tepelné zpracování ocelových drátů neboli patentování je charakterizováno jako ohřev drátů na určitou teplotu austenizace a následné ochlazení v kalícím médiu. Kalící medium obsahuje olověnou nebo solnou koupel. Díky tomu se austenit rozpadne a vznikne perlit. Patentování se provádí na patentovacích linkách, jedná se o kombinované linky s povrchovou úpravou drátů nebo s pokovováním drátů. Po tepelném zpracování dochází k samotnému tahání drátu. Tahání drátů je prováděno za studena s tvářením v jednom směru přes průvlak. Průvlak s kuželovými otvory překonávají příčným tlakem mez kluzu daného materiálu, což způsobuje požadovanou deformaci drátů. Stroj na tahání drátů je nazýván drátotah. Proces tváření ovlivňuje mechanické vlastnosti drátu, mezi něž patří mez průtažnosti, mez pružnosti a pevnosti, počet ohybů, elektrickou vodivost, korozivzdornost.

#### **4.1.2 Výroba vložky ocelového lana**

Vložka lana patří k základním částem lana. Hlavní úkol vložky je vytvářet pevnou a pružnou podložku, která zabraňuje radiálnímu posunu pramenů a bočnímu tlaku, který způsobuje opotřebení drátu na dotykových plochách pramenů. Dalším úkol vložky je zásobovat lano mazivem, což platí zejména pro textilní vložky. Mazadlo má za následek snížení tření mezi dráty a prameny, disponuje antikorozií vlastností. Třetím úkolem je vyplnit mezery mezi prameny a zachovat kruhový průřez lana.

Boroška, Hulín, Lesňák [1] uvádí, že podle normy ČSN 02 4301 jsou stanoveny materiály na výrobu vložky, a to pro lana skupiny V (lana výběrové jakosti) s vložkou ze sisalu a pro lana skupiny N (lana normální jakosti) s vložkou ze sisalu, konopí nebo kordové příze.

V současné době jsou také využívány vložky zhotovené ze syntetických materiálů. Tam, kde nelze použít vložky textilní z důvodu vyšších teplot, je možné použít drátěnou duši. Drátěná duše je určena pro menší průměry lan s vyšší nosností, protože nosnost drátěné duše je započítána do celkové nosnosti lana. Drátěná duše je konstruována jako pramen lana.

Výroba vložek je prováděna pomocí slaňovacích a srážecích strojů. Vložka je vyráběna podobným způsobem jako ocelová lana, místo cívky drátu se zde používá klubko požadovaného materiálu, ze kterého bude vložka vyrobena. Klubka jsou nasazena na odvíjecí pole slaňovacího stroje, nitě z klubek se provlečou přes vodítka do stojanu růžice, kde jsou nitě rozmístěny do jednotlivých otvorů. Nitě jsou vedeny přes kalibr do rotoru na jeho obvodovou trubku, poté přes vodící kladky na odtahové zařízení až k cívce. Cívky jsou uloženy na navijáku slaňovacího stroje a na nich jsou navíjeny hotové prameny. U takto připraveného stroje je prováděna kontrola kvality vložky. Po kontrole je stroj připraven k výrobě pramenů vložky. Prameny navinuté na cívkách jsou upevněny do odvíjeda srážecího stroje. Volné konce pramenů jsou protaženy přes kalibr a odtahové zařízení na srážecí cívky. Při zaplétání pramenů do vložky je důležité zajistit natočení cívky tak, aby se prameny vložky nerozpletly.

#### **4.1.3 Výroba ocelového lana**

Lanové (patentované) ocelové dráty jsou do lanáren dodávány formou svitků, takto připravený drát nelze použít do slaňovacího stroje. Nejprve je přezkoušena kvalita, zda drát disponuje požadovanými vlastnostmi. Poté je navíjení drátů na cívky prováděno pomocí cívkového stroje. Přezkoušené svitky drátů jsou uloženy na odvíjedlo, přestříhnou se úvazky svitku a dráty jsou vedeny přes vodící kladku a umrtvovací kladky na cívky, kde jsou navíjeny. Po navinutí drátů na cívku jsou cívky vyjmuty z cívkostroje, označeny údaji o drátu. Označené cívky jsou převezeny ke slaňovacímu stroji, kde z navinutých drátů na cívku jsou vyráběny prameny lana.

Proces výroby pramenů lana z drátů je nazýván „slaňování“, kde použité dráty jsou stáčeny do šroubovice okolo středového drátu jádra a při vícenásobném slaňování pak okolo pramene. Cívky s drátem jsou vloženy do slaňovacího stroje a dráty na cívkách jsou vedeny tvrdokovovým zařízením, vodidly nebo vodícími trubkami na růžici, koly s otvory pro slaňované dráty, dále na kalibr a odtahové kolo, kde jsou dráty upevněny do otvorů tohoto

kola. Do navíjedla slaňovacího stroje jsou umístěny srážecí cívky pro navíjení pramenů a nastaví se výška vinutí buď pomocí variátoru, nebo ozubeného převodu. Po kontrole uložení drátů a zadání správných parametrů je stroj uveden do chodu. Po navinutí pramenů na cívky se cívky vyjmou a přemístí k srážecímu stroji.

Na srážecím stroji se prameny stáčí v lano. Cívky s navinutými prameny jsou uloženy v kolech srážecího stroje. Na odvíjecím zařízení jsou umístěny cívky s namazanou vložkou lana. Vložka i prameny lana jsou vedeny přes tvrdo kovové vodidlo uvnitř rotoru. Prameny jsou taženy přes růžici na umrtvovací zařízení, které je složeno z rotující hlavy a soustavy umrtvovacích kladek. Mezi odtahovacím kolem a navíjedlem je umístěna mazací nádrž, kde se lano může ponořit do nádrže pomocí přítlačného válce. Boroška, Hulín, Lesňák [1] uvádí, že navíjedlo je podobného typu jako u slaňovacího stroje s rozdílem přizpůsobení navíjedla pro lano, kde dřevěné bubny mají průměr čela 1000 až 2000 mm.

Navinuté lano je podle požadavku zákazníka dodatečně upraveno spájením drátů, pramenů a lana, vázáním, letováním a svařováním. Boroška, Hulín, Lesňák [1] uvádí, že zapletení ok je prováděno podle normy ČSN 02 4468, tato norma neplatí pro jednopramenná lana a lana typu Herkules. Na vytvoření ok jsou používány svorky. Jednotlivé prameny volného konce lana se postupně zaplétají a poté pomocí šicí jehly je proveden zápich, který je pevně stáhnut. Konečnou úpravou je zavedení ochranné bandáže, která zabrání rozplétání oka. Umrtvování lana znamená snížení vnitřního napětí lana, volný konec lana se nerozplétá. Lano se umrtvuje pomocí umrtvovací hlavy s otočnými kladkami, ohybem a současným pohybem vpřed se dráty v pramenech zdeformují do tvaru šroubovice a tím jsou umrtveny. Další doplňující činností je stříhání lana na požadovanou délku a zalívání konců lana.

#### **4.2 Rozdělení dle jednotlivých hledisek**

Ocelová lana patří mezi výrobky se širokým sortimentem a jsou dělena podle více hledisek, a to podle počtu pramenů, tvaru pramenů, dotyku drátů, způsobu a směru vinutí, povrchové úpravy, pevnosti drátů a také podle druhu použití.

Ocelová lana jsou dle počtu pramenů rozdělena na jednopramenná, dvoupramenná, šestipramenná a vícepramenná lana. Jednopramenná ocelová lana jsou tvořena z jednoho pramene v laně. Pramen je vinut z kruhových drátů (otevřené lana), kombinací kruhových a lichoběžníkových drátů (polouzavřené lano), kombinací kruhových, lichoběžníkových a „Z“

drátů (uzavřené lano). Pramen lana složen převážně z více vrstev drátů. Dvoupramenná lana jsou tvořena dvěma prameny, patří k nim spletnice, lana z plochých pramenů. Šestipramenná lana jsou vinuta ze šesti pramenů, s jednou nebo více vrstvami drátů. Vícepramenná lana jsou tvořena minimálně ze sedmi pramenů v laně, např. lano Herkules složené ze třiceti šesti pramenů.

Podle tvaru pramenů jsou lana dělena na lana s prameny kruhového tvaru, trojbokého tvaru a plochého tvaru. Prameny lana s kruhovým tvarem patří mezi nejpoužívanější prameny. Docílení kruhového průřezu lana je provedeno vinutím drátů okolo středového drátu (jádra) nebo vložky lana. Lana z pramenů trojbokého (trojúhelníkového)tvaru jsou zabezpečeny jádrem drátěným (Hertzovo a Deichslovo) nebo textilním. Hertzovo jádro tvořeno ze tří dvojitých a tří plnicích drátů. Deichslovo jádro je vyrobeno třemi dráty, na které jsou navíjeny další vrstvy. Textilní jádro je tvořeno textilní vložkou, okolo které je navinuto nejčastěji devět drátů, které se tvarují pomocí formovacích kladek. Výhody oproti pramenům kruhového tvaru, jako větší plocha styku lana s drážkou lanového kotouče, menší tlak na jednotlivé dráty. Plochý tvar pramenu je tvořen jádrem s měkkým profilovým drátem, drátem kruhového průřezu nebo hliníkovou vložkou, ovinuto ocelovými dráty kruhového průřezu ve více vrstvách.

Ocelových lan jsou podle smyslu vinutí rozdělena na pravá a levá lana, dle smyslu vinutí pramenů v lano a rovnoměrná a protisměrná lana, dle smyslu vinutí drátů v pramen vůči smyslu vinutí pramenů v lano. Lano vyrobené z drátů vinutých v levém smyslu do pramenů a následně prameny vinuté v pravém smyslu do lana, je označeno jako protisměrné pravé lano.

Ocelová lana jsou podle způsobů vinutí lana rozdělena jednoduchá, dvojitě vinutá (dráty vinuty v pramen a pramen v lano) a trojitě vinutá (prameny vinuty v lana a lana do „kabelu“).

Povrchové úpravy zabraňují vnikání nečistot do vnitřku lana, chrání před korozi a prodlužují životnost lana. Jsou rozděleny na lana suchá bez povrchové úpravy, lana mazaná disponující vnitřní mazací vložkou a lana s povlakem z plastu (PVC, PA – 12) chránícím před korozi a zvyšující únavovou pevnost. Dráty v laně mohou být bez povrchové úpravy nebo pozinkované, pomocí galvanického pokovování nebo ohněm v pozinkovacích vanách.

Boroška, Hulín, Lesňák [1] uvádí, že jmenovitá pevnost drátu je minimální zaručená pevnost drátu v tahu, udávaná pro lana v MPa a pro ocelová lana se pohybuje v rozmezí

690 – 1960 MPa. Nevhodný je výběr lana s rozdílnými pevnostmi drátů, což má za následek předčasné zlomy drátů nižší pevnosti. Lana jsou rozdělena do tří skupin. První, lana s dráty bez tepelného zpracování, jmenovitá pevnost do 690MPa. Druhá, lana s profilovými dráty, jm. pevnost 1080 MPa a 1175 MPa. Třetí, lana z lanových (patentových) drátů, jm. pevností 1275 MPa, 1375 MPa, 1570 MPa, 1670 MPa, 1770 MPa a 1960 MPa.

Lana jsou dělena podle způsobu provedení závěrečné operace na vinutá a skládaná. Vinutá lana jsou strojně vinuta do tvaru šroubovice. Skládaná lana jsou složena z drátů, pramenů a lan vedených rovnoběžně s osou lana, používaných u stavebních konstrukcí.

### **4.3 Rozdělení z hlediska použití ocelových lan**

Z hlediska použití jsou ocelová lana rozdělena na pohyblivá a nepohyblivá lana. Pohyblivá lana jsou lana pohybující se přes kladky, třecí kotouče nebo se navíjejí na buben a dle účelu se dělí na skupiny tažná lana pro bubnové tažení, vyrovnávací lana, důlní lana, vrátková lana, výtahová lana, jeřábová lana, lana lanovek, lana lyžařských vleků, lana pro naftový průmysl. Specifické vlastnosti pohyblivých lan jsou kromě velké nosnosti, velké ohebnosti, např. maximální životnost lana u tažných lan, lan lanovek a výtahů.

Lana nepohyblivá přenášejí převážně jen síly působící v ose lana. Mezi nepohyblivá lana patří mostová lana, kotevní lana, nosná lana lanovek, kabelových jeřábů, drapáků, vodící lana výtahů, nádob na hloubení, lana tažných klecí.

V Příloze 3 jsou uvedeni představitelé jednotlivých druhů konstrukcí ocelových lan. Kromě lan uvedených v Příloze 3, jsou vyráběna i lana speciální z nerezové oceli, hliníkové lana s ocelovým pramenem ve střední vrstvě, lana dopravních pásů a pneumatik, lana do předepnutého betonu, lana z tvarových pramenů, lana na speciální účely. Každé lana má svoje speciální vlastnosti, jako např. kvalita drátů, povrchová úprava, konstrukce, účel použití.

### **4.4 Značení ocelových lan**

Při značení lana, dle normy [9] se nejprve uvádí jmenovitý průměr lana, dále norma, podle které bylo lana vyrobené, následuje značení typu konstrukce lana, konstrukce duše, třída pevnosti lana, povrchová úprava drátu a typ a směr vinutí lana. Průměry lan jsou dány

normami: ČSN EN 12385 – 4 (Pramenná lana pro všeobecné zdvihací účely), ČSN EN 12385 – 5 (Pramenná lana pro výtahy), ČSN EN 12385 – 8 (Pramenná tažná a nosná lana pro instalace lanovek navržených pro dopravu osob). U konstrukcí lan se uvádí počet drátů na pramen a počet pramenů v laně, za kterým je uváděn symbol značící konstrukci lana. Jsou rozlišovány symboly S - lana Seal, W - lana Warrington, F - Filler, WS - lana kombinovaná se souběžným vinutím, M - křížové vinutí, N - smíšené vinutí, bez symbolu - jednovrstvé vinutí. Za pomlčkou je uváděn typ konstrukce duše s označením FC - duše z vláken, NFC - duše z přírodních vláken, SFC - duše ze syntetických vláken, SPC - duše z pevných polymerů, IWRC - duše z drátů, WSC - duše z drátového pramene a WC - duše z ocele. Následujícím znakem je označení typu povrchové úpravy lana. U - lano bez povlaku (holé), A - silně zinkované lano, B - zinkované lano. Nakonec je uveden typ a smyslu vinutí lana se značením. sZ (lano protisměrné s pravým vinutím), zS (lano protisměrné s levým vinutím), zZ (lano stejnosměrné s pravým vinutím), sS (lano stejnosměrné s levým vinutím), aZ (lano střídavé s pravým vinutím), aS (lano střídavé s levým vinutím).

Příklad značení lana: lano  $\varnothing$  8,0 ČSN EN 12385-4 6x19M-IWRC 1770 B sZ. Lano jmenovitého průměru 8 mm dle normy pro pramenná lana pro všeobecné zdvihací účely, konstrukce s 19 dráty v prameni a 6 prameny v laně křížově vinuty a s duší konstrukce z drátů. Třída pevnosti lana je 1770 MPa, s pozinkovanými dráty v laně vinutými křížově (protisměrně) v pravém smyslu vinutí lana.

Z hlediska pramenů lana jsou dráty děleny dle jejich tvaru na kruhové (K), uzavřené (Z), polouzavřené (H), lichoběžníkové (T), trojboké (V), čtyřhranné (R), oválné (Q). Příklad značení konstrukce pramenu je následující, K 19S, kde K je symbol tvaru drátů v prameni, 19 je počet drátů a S je symbol konstrukce pramene.

## **5 Návrh dopravního lana pro lyžařský vlek**

Jako navrhovaný lyžařský vlek byl zvolen lyžařský vlek v obci Nový Hrádek na Panské stráni. Lyžařský vlek s označením TLV – 12 je teleskopický lyžařský vlek s pevnými jednomístnými unášeči. Tento vlek nahradil původní lyžařský vlek, který již nevyhovoval bezpečnostním požadavkům. Přestavba lyžařského vleku byla zahájena v listopadu roku 2000 a dokončena v prosinci téhož roku. Provozovatelem a uživatelem objektu je Tělovýchovná jednota Sokol Nový Hrádek.

### **5.1 Parametry lyžařského vleku**

Lyžařský vlek je tvořen poháněcí a vratnou stanicí a čtyřmi podpěrami tvaru T, přes které obíhá lano. Poháněcí stanice, umístěná v dolní části lyžařského vleku, disponuje poháněcím lanovým kotoučem o průměru 1214 mm vyloženým pryžovou šňůrou. Kotouč je poháněn elektromotorem s převodovkou. Vratná stanice je konstruována letným uležením vratného lanového kotouče, jehož rám je zavěšen na napínacím laně. Vratný lanový kotouč o průměru 1600 mm je též vyložený pryžovou šňůrou. Lyžařský vlek disponuje dopravním lanem  $\varnothing 12,5 \times 6 \times 7 - FC 1770 B zZ$ , lano shodných parametrů (jmenovitě průměru a konstrukce) je dále podrobena kontrolním výpočtům, viz kapitola 5.5. Dopravní lano je napínáno napínací silou vyvozenou od závaží o hmotnosti 1600 kg, zavěšeného na napínacím laně, které jde přes kladku. Napínací síla od napínacího závaží, která působí na dopravní lano, je pomocí kladkového systému zvýšena na 3200 kg. Průměrný sklon stráně je  $14,4^\circ$ , o šikmé délce mezi stanicemi 327 m. Lyžařský vlek disponuje 35 teleskopickými unášeči, které jsou od sebe vzdáleny 18 m. Vlek se pohybuje dopravní rychlostí 2,5 m/s.

### **5.2 Výpočet přepravních parametrů lyžařského vleku**

V této kapitole byly použity výpočty přepravní kapacity lyžařského vleku, doby jízdy a počtu osob na lyžařském vleku. Důležitým parametrem v této kapitole je výpočet počtu osob na lyžařském vleku, který se použije pro další výpočet. Výpočet přepravní kapacity vleku a doba jízdy lyžařského vleku jsou parametry pro názornou představu o přepravních parametrech vleku.

### 5.2.1 Výpočet přepravní kapacity lyžařského vleku

Do výpočtu se zahrnuje poměr mezi dopravní rychlostí lyžařského vleku  $v = 2,5$  m/s a vzdáleností mezi teleskopickými unašeči  $r = 18$  m. Vzorec je vynásoben 3600 z důvodu převodu sekund na hodiny. Jedná se o maximální možné množství osob přepravených za hodinu.

$$k_p = \frac{v}{r} \cdot 3600 = \frac{2,5}{18} \cdot 3600 = 500 \text{ osob/h} \quad (5.1)$$

### 5.2.2 Výpočet doby jízdy

Vzorec pro výpočet doby jízdy se skládá ze šikmé vzdálenosti mezi poháněcí a vratnou stanicí  $L = 327$  m a dopravní rychlostí  $v = 2,5$  m/s. Znázorňuje čas přepravy osoby na lyžařském vleku od poháněcí stanice, kde nastupuje, po výstupní stanici, kde osoba z lyžařského vleku vystupuje.

$$t_j = \frac{L}{v} = \frac{327}{2,5} = 130,8 \text{ s} \quad (5.2)$$

### 5.2.3 Výpočet počtu osob na lyžařském vleku

Výpočet z poměru vzdálenosti mezi poháněcí a vratnou stanicí  $L = 327$  m a vzdálenosti mezi teleskopickými unašeči  $r = 18$  m. Hodnota -1 se ve výpočtu uvádí z důvodu výstupu lyžařů z vleku před dojetím unašeče k vratnému lanovému kotouči. Vypočtená hodnota určuje maximální počet lidí současně na lyžařském vleku.

$$k_o = \frac{L}{r} - 1 = \frac{327}{18} - 1 = 17,167 \Rightarrow 17 \text{ osob} \quad (5.3)$$

## 5.3 Výpočet sil působících v laně

Při návrhu dopravního lana je nejdůležitějším parametrem a základním hlediskem výběru lana minimální síla na přetržení, kterou výrobce uvádí v kN. Není to však jediné kritérium volby vhodného lana. V dopravním laně vzniká tahová síla, která při volbě lana nesmí přesáhnout stanovenou minimální sílu na přetržení lana.



### 5.3.1 Výpočet tahové síly v laně

Tahová síla se počítá v úseku šikmé vzdálenosti lana mezi stanicemi  $L = 327$  m, vypočtené hodnoty se vztahují pro jeden průřez lana. Tahová síla se skládá ze složek vlečné síly, působící na lano převážně celkovou hmotností, do které je započítána kromě hmotnosti lyžařů a teleskopických unášeců, také hmotnost lana. Vlečná síla se skládá ze složek statické, dynamické a třecí síly působící na lano. Vlivy povětrnostních podmínek jsou zanedbatelné, nepočítáme s nimi. Při výpočtu tahové síly se musí zohlednit nejen vlečná síla ale také se silou vyvolanou napínacím zařízením.

#### Složky celkové hmotnosti

Do složek celkové hmotnosti  $Q_{\text{celk}}$  patří hmotnost všech lyžařů na vleku, kde průměrná hmotnost lyžaře je podle normy [13]  $Q_l = 80$  kg. Dále hmotnost všech teleskopických unášeců v daném úseku, naměřená hmotnost jednoho unášeče  $Q_u = 10,3$  kg. Poslední složkou je váha lana v daném úseku vypočtená z délkové hustoty lana, hodnota délkové hmotnosti lana zvolena  $\rho = 0,4$  kg/m a délky lanového úseku  $L = 327$  m. Lyžařský vlek zatížen počtem osob  $k_o = 17$  osob (viz 5.3).

$$Q_{\text{celk}} = k_o \cdot (Q_l + Q_u) + L \cdot \rho = 17 \cdot (80 + 10,3) + 327 \cdot 0,4 = 1665,9 \text{ kg} \quad (5.4)$$

#### Statická síla

Do výpočtu statické síly působící na lano je zahrnuta celková hmotnost (viz 5.4), gravitační zrychlení  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  a průměrný sklon stráně  $\alpha = 14,4^\circ$ . Sinus průměrného sklonu stráně zahrnují do výpočtu z důvodu přesunu síly do směru osy lana.

$$F_{\text{st}} = Q_{\text{celk}} \cdot g \cdot \sin(\alpha) = 1665,9 \cdot 9,81 \cdot \sin(14,4) = 4064,2 \text{ N} \quad (5.5)$$

#### Dynamická síla

Dynamická síla zahrnuje celkovou hmotnost, zrychlení při rozjezdu a zastavení lyžařského vleku o zvolené hodnotě  $a = 0,25 \text{ m/s}^2$ . Konstantu 1,5 volím z důvodu podélných kmitů lana vyvolaných při rozjezdu, které ovlivňují velikost dynamické síly v rozmezí 50 až 150 %.

$$F_{dyn} = Q_{celk} \cdot a \cdot 1,5 = 1665,9 \cdot 0,25 \cdot 1,5 = 624,7 \text{ N} \quad (5.6)$$

### Třecí síla

Ve vzorci je uveden součinitel tření mezi lyžemi a sněhem  $\mu_1 = 10 \%$ , součinitel tření kladek s pryžovým obložením  $\mu_2 = 3 \%$  a součinitel tření lanového kotouče  $\mu_3 = 1 \%$ . Součinitelé byly zvoleny dle normy [13]. Dále je do výpočtu zahrnuta celková hmotnost, gravitační zrychlení a cosinus průměrného sklonu stráně. Cosinus průměrného sklonu stráně zahrnuji do výpočtu kvůli posunutí směru působení síly do osy lana.

$$F_t = Q_{celk} \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) \cdot \cos(\alpha) = 1665,9 \cdot 9,81 \cdot (0,1 + 0,03 + 0,01) \cdot \cos(14,4) = 2216 \text{ N} \quad (5.7)$$

### Vlečná síla

Vypočte se jako součet statické, dynamické a třecí síly.

$$F_v = F_{st} + F_{dyn} + F_t = 4064,2 + 624,7 + 2216 = 6904,9 \text{ N} \quad (5.8)$$

### Tahová síla

Tahová síla působící na lano v jeho ose je vypočtena jako součet vlečné síly a napínací síly od napínacího zařízení, dle dokumentace [7] je pro jeden průřez lana stanovena napínací síla  $F_N = 16\,000 \text{ N}$ . Napínací síla je odvozena od celkové napínací síly  $F_{N_{celk}} = 32\,000$  působící na dva průřezy lana, kde na jeden průřez působí polovina  $F_{N_{celk}}$ .

$$F_T = F_v + F_N = 6904,9 + 16000 = 22904,9 \text{ N} \quad (5.9)$$

### 5.3.2 Výpočet minimální dovolené nosnosti lana

Při výpočtu vycházíme ze vzorce uvedeného v literatuře [1, 222 s.]. Minimální dovolený součinitel bezpečnosti v tahu je stanoven dle normy [13, 19 s.]  $m_{\min} = 4$ . Za tahovou sílu  $F_T$  dosadíme vypočtenou hodnotu (5.9).

$$m_{min} = \frac{F_{dov}}{F_T} \Rightarrow \quad (5.10)$$

$$F_{dov} = m_{min} \cdot F_T = 4 \cdot 22904,9 = 91619,6 \text{ N} \quad (5.11)$$


## 5.4 Volba lana

Do volby lana jsou zahrnuty všechny konstrukce lan dle norem [10, 11], vyhovující požadavkům lan pro lyžařské vleky. Byla zvolena lana s vložkou (duší z vláken), pro vnitřní mazání lana, což prodlužuje celkovou životnost lana.

Níže bude proveden výpočet konkrétního lana jako názorný příklad výpočtů. Vypočtené hodnoty ostatních lan budou, pro lepší přehlednost, zobrazeny v Příloze 4.

Výpočty provedeny pro lano konstrukce 6 x 7 – FC, odpovídající dopravnímu lanu v současné době používaném na lyžařském vleku Nový Hrádek. Počáteční hodnoty lana jsou zobrazeny na obrázku 1, dle tabulky normy [10, 10 s.]. Počáteční hodnoty se využijí při následujících výpočtech.

Obrázek 1 Hodnoty pro třídu lana 6x7

Konstrukční příklad průřezu	Konstrukce lana		Konstrukce pramenů		
	Položka	Počet	Položka	Počet	
 6 x 7-FC	Prameny	6	Dráty	5 až 9	
	Vnější prameny	6	Vnější dráty	4 až 8	
	Vrstvy pramenů	1	Vrstvy drátů	1	
	Dráty v laně (s výjimkou kovové duše)	30 až 54			
	Typický příklad		Počet vnějších drátů		Koeficient vnějšího drátu <sup>1)</sup>
	Lano	Pramen	Celkem	Na pramen	
	6 x 7	1-6	36	6	0,106
	Koeficient min. síly při přetržení:		$K_1 = 0,332$	$K_2 = 0,359$	$K_3 = 0,388$
	Koeficient jmenovité hmotnostní délky <sup>1)</sup> :		$W_1 = 0,345$	$W_2 = 0,384$	
	Koeficient jmenovitého kovové plochy <sup>1)</sup> :		$C_1 = 0,369$	$C_2 = 0,432$	

ZDROJ: norma ČSN EN 12385-4+A1

### 5.4.1 Výpočet koeficientu výběru průměru lana

Do výpočtu je zahrnut minimální dovolený součinitel bezpečnosti v tahu  $m_{min}$ , zahrnuto ve výpočtu (5.11). Dále koeficient minimální síly na přetržení  $K_1 = 0,332$  a třída pevnosti lana  $\sigma_m = 1770\text{MPa}$ , hodnoty z tabulky 5 normy [10]. Vzorec stanoven dle normy [14].

$$K_v = \sqrt{\frac{m_{min}}{K_1 \cdot \sigma_m}} = \sqrt{\frac{4}{0,332 \cdot 1770}} = 0,0825 \quad (5.12)$$

### 5.4.2 Výpočet průměru lana

#### Minimální průměr lana

Zde bude stanoven minimální průměr lana z koeficientu průměru lana (5.12) a tahové síly působící na lano (5.9), podle vzorce dle normy [14].

$$d_{min} = K_v \cdot \sqrt{F_T} = 0,0825 \cdot \sqrt{22904,9} = 12,486 \text{ mm} \quad (5.13)$$

#### Maximální průměr lana

Vypočítání maximálního průměru se provede vynásobením minimálního průměru lana hodnotou 1,25. Konstanta 1,25 je opatřením, které brání přílišnému předimenzování lana, pro daný lyžařský vlek.

$$d_{max} = d_{min} \cdot 1,25 = 12,486 \cdot 1,25 = 15,6 \text{ mm} \quad (5.14)$$

V rozmezí vypočtených hodnot minimálního a maximálního průměru lana je zvolen jmenovitý průměr lana  $d = 12,5 \text{ mm}$ . S tímto průměrem se dále bude počítat. Dále vypočítané hodnoty lana jsou shodné s hodnotami dopravního lana, použitým v současné době na zvoleném lyžařském vleku.

### 5.4.3 Výpočet minimální síly na přetržení lana

Minimální síla na přetržení lana se počítá pro již konkrétní lano konstrukce 6 x 7 – FC o průměru 12,5 mm. Zde uvedený vzorec dle normy [10], kde hodnota  $K_1 = 0,332$ , jmenovitý průměr lana  $d = 12,5$  a jmenovitá pevnost lana  $\sigma_m = 1770$ .

$$F_{min} = \frac{K_1 \cdot d^2 \cdot \sigma_m}{1} = \frac{0,332 \cdot 12,5^2 \cdot 1770}{1} = 91818,75 \text{ N} \quad (5.15)$$

### 5.4.4 Výpočet parametrů lana

#### Hmotnost lana

Hmotnost lana se vypočítá z daného koeficientu jmenovité hmotnostní délky  $W_1 = 0,345$  vynásobeného druhou mocninou jmenovitého průměru lana  $d$ . Vzorec výpočtu dle normy [10]. Hmotnost je vypočtena na 100 m lana.

$$M = W_1 \cdot d^2 = 0,345 \cdot 12,5^2 = 53,9 \text{ kg}/100\text{m} \quad (5.16)$$

#### Jmenovitý kovový průřez lana

Hodnota vypočtena z obsahu kruhu o jmenovitém průměru lana  $d$  vynásobeného koeficientem jmenovité kovové plochy  $C_1 = 0,369$ .

$$S = C_1 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,369 \cdot \frac{\pi \cdot 12,5^2}{4} = 45,28 \text{ mm}^2 \quad (5.17)$$

#### Průměr vnějšího drátu

Jeden z důležitých faktorů pro lyžařské vleky je průměr vnějšího drátu, kde z důvodu opotřebení vnější drátů se při provozu volí lano s větším průměrem vnějších drátů. Tento průměr se vypočítá jako jmenovitý průměr lana  $d$  vynásobený koeficientem vnějšího drátu  $K_4 = 0,106$ .

$$\delta_p = K_4 \cdot d = 0,106 \cdot 12,5 = 1,325 \text{ mm} \quad (5.18)$$

### 5.4.5 Tolerance lana

Tolerance lan dle normy [11].

#### Průměr lana

Naměřená hodnota průměru musí být nejvýše +5 % jmenovitého průměru lana. Lano je pod zatížením.

#### Délková hmotnost

Naměřená hodnota musí být v toleranci -2 % až +5 % od hodnoty určené výpočtem.

### 5.5 Kontrola ocelového lana

Kontrolou lana se zjistí, jestli zvolené lano vyhovuje daným kritériím, jako jsou bezpečnost, poměr průměrů, tlak lana na lanový kotouč, maximální síla. Výpočty patří k základním, kterými se stanovené lano testuje, zda jeho parametry vyhovují silám a tlakům působícím v laně. Důležitým parametrem lana, na který se bere ohled, je životnost lana. Tato hodnota není výrobcem stanovena. Kontrolními výpočty se stanoví hranice, kterých lano musí dosáhnout, aby mělo vyhovující životnost.

#### 5.5.1 Bezpečnost

Hodnota je vypočtena jako podíl minimální síly na přetržení (5.15) a tahové síly (5.9). Výpočet bezpečnosti je nezbytné provádět u všech lan. Pro každou kategorii použití lan je určeno dovolené rozmezí hodnot vypočtené bezpečnosti, neboli koeficient bezpečnosti  $m$ . Dle normy [13] tažná lana lyžařských vleků jsou v rozmezí hodnot součinitele bezpečnosti 4 – 20.

$$m = \frac{F_{min}}{F_T} = \frac{91818,75}{22904,9} = 4,01 \quad (5.19)$$

Součinitel bezpečnosti vyšel větší než požadovaná minimální hodnota součinitele bezpečnosti, tudíž lano vyhovuje.

### 5.5.2 Poměr průměrů

Tento výpočet je velmi jednoduchý, ale klade se na něj důraz. Ve výpočtu je zahrnut průměr lanového kotouče, zvolen poháněcí kotouč průměru  $D_1 = 1214$  mm a jmenovitý průměr lana  $d$ . Snahou je získat co největší poměr průměrů, kdy se zvyšující velikostí poměru se zvyšuje i životnost lana a tudíž i doba lana v provozu. Dle normy [12] je stanoven minimální poměr průměrů pro tažná lana  $D/d = 80$ .

$$\frac{D_1}{d} = \frac{1214}{12,5} = 97,12 \quad (5.20)$$

Poměr průměrů převyšuje minimální nároky na poměr průměrů, tudíž lano vyhovuje.

### 5.5.3 Tlak lana na lanový kotouč

Velikost tlaku lana na lanový kotouč má velký vliv na životnost lana. Překročení stanoveného tlaku může mít fatální následky na lano - jako např. tvorbu vrubů, pěchování nebo zvýšení opotřebení lana. Z toho vyplývá nízká životnost lana.

#### Střední tlak lana na lanový kotouč

Vypočítá se ze statického zatížení lana  $G$ , které je rovno součtu statické síly  $F_{st}$  (5.5) a napínací síly  $F_N$  použité při výpočtu (5.9), dále z průměru lanového kotouče  $D_1$  a jmenovitého průměru lana  $d$ . Vzorec použit z literatury [1, 311 s.].

$$G = F_{st} + F_N = 4064,2 + 16000 = 20064,2 \text{ N} \quad (5.21)$$

$$p_s = \frac{2 \cdot G}{D_1 \cdot d} = \frac{2 \cdot 20064,2}{1214 \cdot 12,5} = 2,644 \text{ MPa} \quad (5.22)$$

#### Maximální tlak lana na lanový kotouč

Maximální tlak je veličina rozhodující o životnosti lana. Výpočet pomocí středního tlaku (5.22) vynásobeného konstantou 1,5, kvůli možným výkyvům tlaku. Vzorec použit z literatury [1, 311 s.].

$$p_{max} = 1,5 \cdot p_s = 1,5 \cdot 2,644 = 3,966 \text{ MPa} \quad (5.23)$$

Dle tabulky uvedené v literatuře [1, 311 s.], kde rozmezí pro dobrou životnost lana je od 2,75 MPa do 3,43 MPa, zvolené lano nevyhovuje požadavkům. Při používání lana na této sjezdovce lanu hrozí životnost nižší než 2 roky.

#### 5.5.4 Výpočet maximální síly

Při provozu na lano působí nejen tahová síla, ale i síla ohybová. Ohybová síla vzniká v místech dotyku lana a lanového kotouče, který ohýbá lana vytváří. V těchto místech dochází k otěru drátů, pramenů v laně a v laně vzniká napjatost. Ohybová síla stejně jako maximální tlak lana na lanový kotouč (5.23) a poměr průměrů (5.20) mají velký vliv na životnost lana.

#### Ohybové napětí

Vzorec dle literatury [1, 254 s.] se skládá z poměru průměru vnějšího drátu  $\delta_p$  (5.18) a průměru lanového kotouče  $D_1$  a  $D_2$ . Poměr je vynásoben modulem pružnosti ocelového lana  $E = 100\,000$  MPa. Modul je zvolen dle normy [13]. Vzorec v sobě nezahrnuje vnitřní tření mezi dráty. Z hlediska poháněcího a vratného lanového kotouče budou vypočtena dvě ohybová napětí, zvlášť pro každý kotouč.

Ohybové napětí pro poháněcí lanový kotouč  $D_1 = 1214$  mm

$$\sigma_{oh1} = \frac{\delta_p}{D_1} \cdot E = \frac{1,325}{1214} \cdot 100000 = 109,14 \text{ MPa} \quad (5.24)$$

Ohybové napětí pro vratný lanový kotouč  $D_2 = 1600$  mm

$$\sigma_{oh2} = \frac{\delta_p}{D_2} \cdot E = \frac{1,325}{1600} \cdot 100000 = 82,81 \text{ MPa} \quad (5.25)$$

#### Ohybová síla

Tato síla se skládá z vypočítaného ohybového napětí (5.24) a (5.25) vynásobeného jmenovitým kovovým průřezem lana (5.17). Ohybová síla bude počítána pro poháněcí i vratný vodící kotouč zvlášť.



Ohybová síla pro poháněcí lanový kotouč  $D_1$

$$F_{oh1} = \sigma_{oh1} \cdot S = 109,14 \cdot 45,28 = 4941,86 \text{ N} \quad (5.26)$$

Ohybová síla pro vratný lanový kotouč  $D_2$

$$F_{oh2} = \sigma_{oh2} \cdot S = 82,81 \cdot 45,28 = 3749,6 \text{ N} \quad (5.27)$$

### **Celková ohybová síla**

Ohybová síla působí na lano ve dvou průřezech lana. Výpočet lana je stanoven pro jeden průřez a z tohoto důvodu každá z hodnot bude vydělena dvěma pro zachování ohybové síly pro jeden průřez lana. Následně hodnoty budou sečteny.

$$F_{oh} = \frac{F_{oh1}}{2} + \frac{F_{oh2}}{2} = \frac{4941,86}{2} + \frac{3749,6}{2} = 4345,73 \text{ N} \quad (5.28)$$

### **Maximální síla**

Jedná se o součet tahové síly (5.9) a celkové ohybové síly (5.28). Aby bylo zabezpečeno dostatečné životnosti lana, hodnota maximální síly nesmí přesáhnout 25 % z minimální síly na přetržení lana (5.15). Stanoveno dle literatury [1].

$$F_{max} = F_T + F_{oh} = 22904,9 + 4345,73 = 27250,63 \text{ N} \quad (5.29)$$

Procentuální vyjádření k  $F_{min}$

$$F_{max} \cdot \frac{100}{F_{min}} = 27250,63 \cdot \frac{100}{91818,75} = 29,68 \% \quad (5.30)$$

Z procentuálního vyjádření maximální síly k minimální síle na přetržení je patrné, že lano nevyhovění požadavku 25 % z minimální síly na přetržení lana. Stanovené lano nevyhovuje.

### 5.5.5 Zhodnocení kontroly

Z provedených kontrolních výpočtů byl učiněn závěr, že ocelové lano 6 x 7 – FC o průměru 12,5 mm, použité v současné době na lyžařském vleku na Novém Hrádku, nevyhovělo daným kritériím kontroly ocelového lana. Lano nevyhovělo kritériu tlaku lana na lanový kotouč, kde vypočtený maximální tlak na lanový kotouč o hodnotě 3,966 MPa přesáhl stanovené rozmezí dobré životnosti 2,75 – 3,43 MPa. Při provozu lana na daném lyžařském vleku by hrozila životnost tohoto lana nižší než 2 roky. Dále lano nevyhovělo kritériu maximální síly, vypočítané procentuální vyjádření maximální síly k minimální síle na přetržení daného lana o hodnotě 29,68 %, přesáhlo požadavek 25%. Lano by při provozu bylo přetěžováno, což by vedlo k nízké životnosti lana.

### 5.6 Prodloužení lana

Vzorec pružného prodloužení lana, vycházející z Hookova zákona, se skládá z poměru tahové síly (5.9) s modulem pružnosti lana, uvedeného v kapitole 5.5.4 a jmenovitého kovového průřezu lana (5.17). Vzorec prodloužení lana dle literatury [1, 193 s.].

$$\Delta l = \frac{F_T}{E \cdot S} = \frac{22904,9}{100000 \cdot 45,28} = 0,0051 \text{ mm} \quad (5.31)$$

### 5.7 Celková délka lana

#### Délka lana

Délka lana se vypočítá za pomoci průměrů poháněcího a vratného kotouče  $D_2$  a  $D_1$  (přepočítané na metry) a šikmé vzdálenosti mezi stanicemi  $L$ , uvedené ve výpočtu (5.2).

$$L_l = \frac{\pi \cdot D_1}{2} + \frac{\pi \cdot D_2}{2} + 2 \cdot L = \frac{\pi \cdot 1,214}{2} + \frac{\pi \cdot 1,6}{2} + 2 \cdot 327 = 658 \text{ m} \quad (5.32)$$

Pro výpočet celkové délky lana musí být přičtena délka zápletu lana do tzv. „nekonečného lana“.

## Záplet lana

Výpočet zápletu lana se provádí dle tabulky normy [12, 27 s.]. Do výpočtu je zahrnuta konstanta zvolená dle hodnoty součinitele bezpečnosti v tahu  $m$ , pro náš případ zvolena konstanta 1200 a jmenovitý průměr lana vyjádřený v metrech. Vypočtená hodnota je délka celého přídatku na záplet lana, tudíž je na každém konci polovina vypočtené hodnoty zápletu lana. Záplet je spojení konců lana buď s koncem jiného lana, nebo jako v našem případě spojení konců stejného lana k sobě, a tím je vytvořeno tzv. nekonečné lano. Záplet musí provádět osoba k tomu způsobilá. Záplet jako celé lano podléhá pravidelným kontrolám.

$$L_z = 1200 \cdot d = 1200 \cdot 12,5 = 15 \text{ m} \quad (5.33)$$

## Celková délka lana

Vypočteno jako součet délky lana (5.32) a délky zápletu lana (5.33).

$$L_{celk} = L_l + L_z = 658 + 15 = 673 \text{ m} \quad (5.34)$$

## 5.8 Tabulka vyhovujících lan

Ocelová lana uvedená v tabulkách 1 až 3 jsou všechna lana, která splnila kritéria kontrolních výpočtů. U lan jsou zobrazeny jejich vypočtené parametry.

Tabulka 1 Lana vyhovující kontrolním kritériím - část I.

Konstrukce	d [mm]	$F_{\min}$ [N]	M [kg/100m]	S [mm <sup>2</sup> ]	$\delta_p$ [mm]
6 x 7 - FC (1770, Duše z vláken)	15	132 219	77,63	65,21	1,59
8 x 7 - FC (1960, Duše z vláken)	15	128 331	73,58	59,20	1,31
6 x 19S - FC (1770, Duše z vláken)	15	131 423	80,78	67,86	1,20
6 x 19W - FC (1770, Duše z vláken)	15	131 423	80,78	67,86	1,10
6 x 31WS - IWRC (1770, Duše z vláken)	15	131 423	82,58	69,45	0,96
6 x 28NW - FC (1770, Duše z vláken)	15	126 245	79,20	66,62	0,96
6 x 28NW - FC (1960, Duše z vláken)	15	139 797	79,20	66,62	0,96
17 x 7 - FC (1770)	15	130 626	85,95	76,52	1,05
34(M) x 7 - FC (1770)	15	126 644	87,75	75,63	0,71
34(M) x 7 - FC (1960)	15	140 238	87,75	75,63	0,71

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Tabulka 2 Lana vyhovující kontrolním kritériím - část II.

Konstrukce	m	D/d	$p_s$ [MPa]	$p_{max}$ [MPa]	$F_{oh1}$ [N]
6 x 7 - FC (1770, Duše z vláken)	5,77	80,93	2,204	3,305	8 540,38
8 x 7 - FC (1960, Duše z vláken)	5,60	80,93	2,204	3,305	6 363,69
6 x 19S - FC (1770, Duše z vláken)	5,74	80,93	2,204	3,305	6 707,58
6 x 19W - FC (1770, Duše z vláken)	5,74	80,93	2,204	3,305	6 120,67
6 x 31WS - IWRC (1770, Duše z vláken)	5,74	80,93	2,204	3,305	5 491,84
6 x 28NW - FC (1770, Duše z vláken)	5,51	80,93	2,204	3,305	5 268,25
6 x 28NW - FC (1960, Duše z vláken)	6,10	80,93	2,204	3,305	5 268,25
17 x 7 - FC (1770)	5,70	80,93	2,204	3,305	6 618,06
34(M) x 7 - FC (1770)	5,53	80,93	2,204	3,305	4 410,94
34(M) x 7 - FC (1960)	6,12	80,93	2,204	3,305	4 410,94

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Tabulka 3 Lana vyhovující kontrolním kritériím - část III:

Konstrukce	$F_{oh2}$ [N]	$F_{oh}$ [N]	$F_{max}$ [N]	%	$\Delta l$ [mm]	$L_{celk}$ [m]
6 x 7 - FC (1770, Duše z vláken)	6 480,01	7 510	30 415	23,00	0,00351	676
8 x 7 - FC (1960, Duše z vláken)	4 828,45	5 596	28 501	22,21	0,00387	676
6 x 19S - FC (1770, Duše z vláken)	5 089,38	5 898	28 803	21,92	0,00338	676
6 x 19W - FC (1770, Duše z vláken)	4 644,06	5 382	28 287	21,52	0,00338	676
6 x 31WS - IWRC (1770, Duše z vláken)	4 166,93	4 829	27 734	21,10	0,00330	676
6 x 28NW - FC (1770, Duše z vláken)	3 997,28	4 633	27 538	21,81	0,00344	676
6 x 28NW - FC (1960, Duše z vláken)	3 997,28	4 633	27 538	19,70	0,00344	676
17 x 7 - FC (1770)	5 021,46	5 820	28 725	21,99	0,00299	676
34(M) x 7 - FC (1770)	3 346,80	3 879	26 784	21,15	0,00303	676
34(M) x 7 - FC (1960)	3 346,80	3 879	26 784	19,10	0,00303	676

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Z tabulek 1 až 3 vyhovujících lan jsou podle hodnot nejvhodnější tři lana: 6 x 7 - FC (1770, Duše z vláken), 8 x 7 - FC (1960, Duše z vláken), 6 x 19S - FC (1770, Duše z vláken). Byla zvolena lana s největším průměrem vnějších drátů z důvodu pomalejšího opotřebení a pomalejší koroze, oproti drátům menších průměrů.

Lano 6 x 7 - FC (1770, Duše z vláken) disponuje největším průměrem vnějších drátů 1,59 mm. Na lano působí největší ohybová síla o hodnotě 7510 N, z toho vyplývající hodnota procentuálního vyjádření maximální síly minimální síle na přetržení lana je 23 %. U lana dochází k největšímu zatížení, lano bude mít kratší životnost než další dvě vybraná lana.

Lano 8x7 - FC (1960, Duše z vláken) má nejmenší ohybovou sílu v laně 5596,07 N a má nejmenší hmotnost 73,58 kg/100 m. Lano má nejmenší kovový průřez lana 59,2 mm<sup>2</sup>, nejdelší prodloužení 0,00387 mm a třída pevnosti lana 1960. Vyšší pevnost lana způsobuje pokles mechanických vlastností jako je ohyb a krut, což má negativní dopad na délku životnosti lana.

Lano 6x19S - FC (1770, Duše z vlákna) disponuje největším kovovým průřezem 67,86 mm<sup>2</sup>, nejmenším prodloužením lana 0,00338 mm a nejmenším procentuálním vyjádřením maximální síly k minimální síle na přetržení lana 21,92 %. Lano má nejmenší průměr drátu 1,2 mm a největší hmotnost 80,78 kg/100 m. Menší průměr drátu může mít negativní dopad na životnost lana z hlediska opotřebení.

Z uvedeného výčtu výhod a nevýhod bylo vybráno lano 6x19S - FC (1770, Duše z vlákna). Procentuální vyjádření maximální síly k minimální síle na přetržení lana je 21,92 %, na lano by při provozu působilo menší zatížení a to by mělo pozitivní dopad na životnost lana. Menší průměr drátu může negativně ovlivnit životnost lana, avšak při správném uložení lana (kladky a lanové kotouče s pryžovým vyložení drážky), by vliv opotřebení na vnější dráty lana měl být minimální. Vybrané lano má předpoklady pro nejdelší životnost dopravního lana v provozu.

## 6 Kontrola lana v provozu

Ocelová lana lyžařských vleků zařazená do provozu podléhají pravidelným kontrolám a servisu. Kontrolu provádí oprávněná osoba na základě znalosti vlastností lana, jako počet ohybů, očekávaných odpracovaných hodin, sklonu sjezdovky, stavu lana, okolních podmínek, atd. Dle normy [12] jsou stanoveny vizuální kontroly a měření jednou za rok. Kontroly magnetickým zkoušením (MRT) se provádí při úvodní kontrole před začátkem provozu lana. Dále v šestém, devátém a dvanáctém měsíci v roce. Konečná kontrola se provádí ve třetím roce provozu.

Při kontrole jsou stanovena vyřazovací kritéria dle normy [12], kde jsou uvedeny maximální přípustné tolerance, jejichž nesplněním je lano vyřazeno z provozu. Do vyřazovacích kritérií jsou zahrnuty parametry jako úbytek kovového průřezu lana vlivem zlomených drátů, koroze nebo opotřebením lana. Dále zjištění vnitřního a vnějšího poškození lana a dosažení stanoveného trvání provozních hodin. Je použito již zmíněných zkoušek magnetickým zkoušením lana (MRT), které stanovují úbytek kovového průřezu na určeném dílu délky lana. Také se používá radiografické zkoušení lana. Radiografické zkoušení se provádí pomocí paprsku X nebo gama paprsku. Využívá se pro vyjasnění MRT zkoušení nebo pro zkoušení v místech lana, kde MRT nelze použít. Dále se provádí zkouška vizuální kontrolou vnějšího poškození, opotřebením, koroze a místní změny rozměrů lana. Vizuální zkouškou se kontroluje celý viditelný povrch za pomoci optického přístroje. Při zkoušce se měří průměry lana a zápletu, délka vinutí lana, usazení lana a zvlnění lana.

Při servisu se klade důraz na jednotlivé části lana, jako záplet a místa předchozích oprav lana. Lano podléhá čištění a mazání a to buď v servise, nebo při provozu lana. Intervaly čištění a mazání lana v tomto případě stanovuje výrobce lana. Provádí se přemístění pevně uchycených unašečů z důvodu rovnoměrnosti opotřebením lan. Může docházet i ke krácení lanových smyček pro zajištění volných pohybů napínacího zařízení.

## 7 Závěr

Z provedených výpočtů kapitole 5 bylo vybráno pro lyžařský vlek v obci Nový Hrádek dopravní lano  $\varnothing 15$  ČSN EN 12385–4 6x19S – FC 1770 B zZ, které má předpoklad nejdelší životnosti. Dopravní lano bylo vybráno porovnáním výhod a nevýhod ze tří nejvíce vyhovujících lan (viz kapitola 5.8), tj. z lana  $\varnothing 15$  6x7 - FC 1770, lana  $\varnothing 15$  8x7 - FC 1960 a lana  $\varnothing 15$  6x19S - FC 1770. Vybrané lano je konstrukce Seal znamená, že předposlední vrstva vinutí pramene je tvořena menšími průměry drátů a poslední (vnější) vrstva vinutí drátů se skládá z větších průměrů drátů, lano má různé úhly vinutí jednotlivých vrstev. Označení konstrukce lana 6 x 19 lze rozepsat na 6 (1+9+9) + v, kde číslo 6 před závorkou značí počet pramenů, čísla v závorce značí pramen složený jednoho jádrového drátu vedeného v ose pramene, okolo kterého jsou vinuty dráty ve dvou vrstvách po devíti drátech a písmeno v značí lano s vložkou. Písmena FC označují použití vložky z vláken. Dále číslo 1770 označuje třídu pevnosti lana 1770 MPa, písmeno B je označení pro pozinkované dráty. V poslední řadě písmena zZ značí lano se rovnoměrným pravým vinutím. Výrobci lan neuvádí konkrétní životnost lana, proto je nutné se zaměřit na faktory ovlivňující životnost, aby životnost byla co nejdelší.

Jedním z faktorů zahrnutého v kontrolních výpočtech (kapitola 5) je bezpečnost. Koeficient bezpečnost je u dopravních lan lyžařských vleků definován v rozmezí 4 – 20 dle normy [13], kde hodnota vybraného lana byla vypočtena 5,74, což z hlediska bezpečnosti vyhovuje. Bezpečnost byla stanovena poměrem minimální síly na přetržení vybraného lana vůči tahové síle působící v ose lana. Dále byl vypočten vztah poměrů průměrů lanového kotouče vůči průměru lana, kde se zvyšujícím se průměrem lanového kotouče klesá ohybová síla působící v laně. Minimální přípustná výsledná hodnota poměru byla stanovena dle normy [12] pro tažná lana pro ohyb s pohybem při provozu na 80. U vybraného lana byla vypočtena hodnota 80,93, tedy životnost lana nebude negativně ovlivněna ani z tohoto hlediska. Tlak lana na lanový kotouč také ovlivňuje životnost lana, stanovené rozmezí výsledného tlaku pro velmi dobrou životnost lana je v rozmezí 2,75 – 3,43 MPa [1]. Vypočtená hodnota poměru průměrů vybraného lana byla 3,305 MPa, zde lano též vyhovuje. Posledním faktorem zahrnutým do kontrolních výpočtů, který ovlivňuje životnost lana, je maximální síla. Síla se skládá z vypočtené tahové síly a ohybové síly. Důležitou hodnotou je procentuální vyjádření maximální síly z minimální síly na přetržení vybraného lana, dle literatury [1] by procentuální hodnota maximální síly měla být maximálně 25 % z minimální síly na přetržení vybraného

lana. Vypočítané procentuální vyjádření maximální síly z minimální síly na přetržení lana bylo 21,92 %, což zcela vyhovuje požadavkům dobré životnosti lana při provozu.

Kromě vlivů ovlivňujících životnost lana popsaných výše jsou i další důležité vlivy, například koroze, tvar a materiál drážky lanových kotoučů, vinutí lana, údržba. Koroze má velký dopad na lana z hlediska jeho životnosti, kde největší antikorozi vlastnost má mazání lana. Mazání lana kromě antikorozi vlastnosti má za následek snížení tření drátů a pramenů uvnitř lana, tím se sníží jeho opotřebení. Lana pro lyžařské vleky jsou vybírána s vložkou, z přírodních nebo umělých vláken, která je umístěna v ose lana. Vložka je napuštěna mazivem a zajišťuje neustálé mazání lana, takové to lana už dále není nutné mazat. Působením korozních účinků na ocelová lana dochází k tzv. korozní únavě. Tvar a materiál drážky lanového kotouče je dalším činitelem ovlivňující životnost lana. Poloměr drážky je stanoven předpisy, dle literatury [1, 315 s.] na hodnoty 0,56 až 0,60 jmenovitého průměru lana, hloubka drážky by měla být minimálně 2,5 jmenovitého průměru s úhlem 60°. Špatný tvar drážky lanového kotouče má za následek menší stykovou plochu lana s kotoučem a tím i vyšší opotřebení dotýkající se části lana. Materiál drážky lanového kotouče má také vliv na životnost. Pro materiály drážek se využívá materiálu s vyšším koeficientem tření, např. guma, plastové materiály. Vinutí lana je také důležité, špatně zvolené vinutí způsobí nízkou životnost lana. Smysl vinutí vybraného dopravního lana je pravý, volen podle náběhu lana na kotouč, s rovnoměrným vinutím, které má menší opotřebení než lana s protisměrným vinutím díky větší dotykové ploše vnějšího drátu s lanovým kotoučem. Velký vliv na životnost lana má i údržba lana v provozu a pravidelné kontroly (viz kapitola 6). Pro vybrané lana byla vypočtena celková délka lana 676 m a prodloužení lana o 0,00338 mm. Celková délka lana je vypočtena z délky obvodu obíhaného lanem při provozu a přídatku na zapletení lana do tzv. nekonečného lana, stanoveného dle normy [12].

Současným dopravním lanem lyžařského vleku v obci Nový Hrádek je lana  $\varnothing 12,5 \times 6 \times 7$  – FC 1770 B zZ, které bylo předmětem vzorového výpočtu návrhu lana. Provedením kontrolních výpočtů v kapitole 5 se ukázalo, že lana nevyhovuje daným požadavkům na dobrou životnost. Lana nevyhovělo kritériu tlaku lana na lanový kotouč, hodnota maximálního tlaku na lanový kotouč je 3,966 MPa a přesáhla stanovený rozsah dobré životnosti 2,75 – 3,43 MPa, což vede ke snížení životnosti lana v provozu o dva roky. Lana nevyhovělo kritériu maximální síly, kde hodnota procentuálního vyjádření maximální síly



k minimální síle na přetržení lana 29,68 % přesáhla požadavek 25%, lano by bylo při provozu přetěžováno a to vede ke snížení životnosti.

## 8 Použité zdroje

1. BOROŠKA, Ján, HULÍN, Jozef, LESŇÁK, Oldřich. *Ocelová lana*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1982. 479 s.
2. FRANK, Tomáš, KUBLÁK, Tomáš a kolektiv. *Horolezecká abeceda*. 1. vyd. Praha: Epoque, 2007. 663 s. ISBN 978-80-87027-35-6, CCNB : cnb001787625
3. OWEN, Peter. *Uzly*. 3. vyd. Praha: SOVJTKA a VAŠUT, 1997. 80 s. ISBN 80-7180-257-3
4. PERRY, Gordon, JUDKINS, Steve. *Uzly, lana, úvazky*. 2. vyd. Praha: IFP Publising s.r.o., 2015. 240 s. ISBN 978-8087383-41-4
5. SPAL, Luděk. *Ocelová lana ve stavebních konstrukcích*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971. 124 s.
6. STAŇKOVÁ, Jitka. Provoznictví na Žďársku. *Český lid*, 1952, Vol. 39, No. 7/8, s. 176-181.
7. STING inženýrská a stavební firma Ing. Josef Škoda. *Dokumentace lyžařského vleku TLV - 12 Nový Hrádek, Panská stráž*. Náchod, listopad 2000.
8. SVOJKA, Ladislav. *Údržba ocelových lán*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1982. 110 s.

### *Normy:*

9. ČSN EN 12385-2. *Ocelová drátěná lana - Bezpečnost - Část 2: Definice, značení, třídění*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 52 s.
10. ČSN EN 12385-4+A1. *Ocelová drátěná lana – Bezpečnost – Část 4: Pramenná lana pro všeobecné zdvihací účely*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 27 s.
11. ČSN EN 12385-8. *Ocelová drátěná lana – Bezpečnost – Část 4: Pramenná tažná a nosná tažná lana pro instalace lanovek navržených pro dopravu osob*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 10 s.

12. ČSN EN 12927. *Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy – Lana*. Praha: CEN, 2015. 43 s.
13. ČSN EN 12930. *Bezpečnostní požadavky na osobní dopravu – Výpočet*. Praha: CEN, 2015. 26 s.
14. ČSN ISO 4308-1. *Jeřáby a zdvihací zařízení: Část 1: Všeobecně*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 24 s.

*Internetové zdroje:*

15. *LANA VAMBERK s.r.o.* [online]. [cit. 2021-03-30]. Ocelová lana. Dostupné z: <https://www.lana-vamberk.cz/ocelova-lana.htm>
16. *PHYS.ORG* [online]. 2016 [cit. 2021-01-28]. Researchers discover how rope was made 40,000 years ago. Dostupné z: <https://phys.org/news/2016-07-rope-years.html>
17. *Provaznictví Běchovice* [online]. [cit. 2021-02-04]. Historie Provaznictví. Dostupné z: <https://www.cordage.cz/cordage/1-Provaznictvi>
18. SAYENGA, D. *Modern History of Wire Rope* [online]. 2004 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.domesticwirerope.us/ModerHistorWireRope.pdf>
19. *Uzly a uzlíky* [online]. [cit. 2021-02-05]. Lana – použité materiály. Dostupné z: [http://uzly.8u.cz/index.php?jq=0&fce=id&subfce=421#aId\\_421](http://uzly.8u.cz/index.php?jq=0&fce=id&subfce=421#aId_421)
20. VERREET, R. *A Short History of Wire Rope* [online]. c2004 PR GmbH, first edition January 2002 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: [http://www.ropetechnology.com/bro\\_engl/casar\\_history.pdf](http://www.ropetechnology.com/bro_engl/casar_history.pdf)

## 9 Seznam použitých značek a symbolů

$\rho$	délková hustota lana	[kg/m]
$\sigma_m$	třída pevnosti lana	[MPa]
$\sigma_{oh1,2}$	ohybové napětí	[MPa]
$\delta_p$	průměr vnějšího drátu	[mm]
$\Delta l$	prodloužení lana	[mm]
$a$	zrychlení při rozjezdu	[m/s <sup>2</sup> ]
$C_1$	koeficient jmenovité kovové plochy	[-]
$d$	jmenovitý průměr lana	[mm]
$D_{1,2}$	průměr lanového kotouče	[mm]
$d_{max}$	maximální průměr lana	[mm]
$d_{min}$	minimální průměr lana	[mm]
$E$	modul pružnosti lana	[MPa]
$F_{dov}$	minimální dovolená nosnost lana	[N]
$F_{dyn}$	dynamická síla	[N]
$F_{max}$	maximální síla	[N]
$F_{min}$	minimální síla na přetržení lana	[N]
$F_N$	napínací síla	[N]
$F_{oh1,2}$	ohybová síla	[N]
$F_{st}$	statická síla	[N]
$F_T$	tahová síla	[N]

$F_t$	třecí síla	[N]
$F_v$	vlečná síla	[N]
$g$	gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$G$	statické zatížení lana	[N]
$K_1$	koeficient minimální síly na přetržení	[-]
$K_4$	koeficient vnějšího drátu	[-]
$k_o$	počet osob na lyžařském vleku	[osob]
$k_p$	přepravní kapacita vleku	[osob/h]
$K_v$	koeficient výběru průměru lana	[-]
$L$	šikmá vzdálenost mezi stanicemi	[m]
$L_{celk}$	celková délka lana	[m]
$L_1$	délka lana	[m]
$L_z$	délka zápletu	[m]
$M$	hmotnost lana	[kg/100m]
$m$	součinitel bezpečnosti v tahu	[-]
$m_{min}$	minimální dovolený součinitel bezpečnosti	[-]
$p_{max}$	maximální tlak lana na lanový kotouč	[MPa]
$p_s$	střední tlak lana na lanový kotouč	[MPa]
$Q_{celk}$	celková hmotnost působící na lano	[kg]
$Q_l$	hmotnost lyžaře	[kg]
$Q_u$	hmotnost unášeče	[kg]
$r$	vzdálenost mezi unášeči	[m]

S	jmenovitý kovový průřez lana	[mm <sup>2</sup> ]
t <sub>j</sub>	doby jízdy	[s]
v	dopravní rychlost	[m/s]
W <sub>1</sub>	koeficient jmenovité hmotnostní délky	[-]
α	průměrný sklon strání	[°]
μ <sub>(1, 2, 3)</sub>	součinitel tření	[%]

## **10 Seznam tabulek**

Č. 1	Lana vyhovující kontrolním kritériím - část I. ....	27
Č. 2	Lana vyhovující kontrolním kritériím - část II. ....	28
Č. 3	Lana vyhovující kontrolním kritériím - část III. ....	28

## **11 Seznam příloh**

Příloha 1	Přehled přírodních materiálů na výrobu lan.....	41
Příloha 2	Přehled umělých materiálů na výrobu lan.....	42
Příloha 3	Představitelé jednotlivých druhů konstrukcí ocelových lan.....	43
Příloha 4	Seznam vypočtených lan.....	44



*Příloha 1 Přehled přírodních materiálů na výrobu lan*

Název vlákn	Historie	Výroba	Použití	Vzhled, Vlastnosti
Bavlna	použito již před naším letopočtem v Egyptě (textilie 7000 let staré)	z tobolek keře bavlníku rodu <i>Gossypium</i>	textilní průmysl	vlákno má bílou barvu, je příjemné na dotek, ale nemá moc velkou pevnost
Kokosové vlákno	používáno již v 11. století a to k výrobě textilií	vlákno se získává ze slupek chránící ořech palmy <i>Cocosnucifera</i>	textilní průmysl	barva tmavě hnědá, Pevnost 10 g/tex, nízká mez v tahu
Juta		z lýka rostliny <i>Corchoruscapsularis</i> (Bílá juta) nebo z rostliny <i>Corchorusolitorius</i> (Žid sléz)	textilní průmysl, výroba lan menšího průměru, zahradní provázky	nejlevnější vlákno, barva žlutohedvábná, velmi pevné, tuhé, odolné vůči oděru
Len		z rostliny <i>Liumusitatissium</i> (Len)	textilní průmysl, provázky menších průměrů	pevnější než bavlna, která se za mokra zvyšuje o 20 %, malá pružnost, dobrá tepelná vodivost
Konopí	hlavní materiál na výrobu provazů, před vynalezením syntetických vláken	z rostliny <i>Cannabissativa</i>		béžová barva, vysoká pevnost v tahu, odolnost proti změně teploty
Sisal		z listů kaktusové rostliny <i>Agavesisalana</i>	běžná lana a provázky, koberce, bytové textilie, leštících kotoučů, výroba převážně v zemích Tanzanie, Keňa, Čína	pevnost v tahu (80 – 839 MPa), menší tažnost, světlezelená barva
Manila		z listů rostliny <i>Abaka</i> (divoký banán)	běžná lana (náhrada konopných lan)	slámová barva, Pevnost 70cN/tex

ZDROJ: Perry G., Judkins S., *Uzly, lana, úvazy*

*Příloha 2 Přehled umělých materiálů na výrobu lan*

Název vlákn	Historie	Použití	Vzhled, vlastnosti
Polyamid (PA, nylon)	vyvinuto ve 30. letech 20. Století společností DuPont	mooringová lana (oblast lodní), jistící lana (horolezectví)	bílá barva, dobrá elasticita, velká pevnost, hladká struktura, odolná vůči pádovému zatížení, neplavou, při namočené menší pevnost
Polyester (PES/PET)	vynalezeno v Anglii (r. 1941) a zařazení do průmyslové výroby r. 1947	lana vystavená statickému zatížení, ovládací lana k plachtám, lana u výtahů	bílá barva, malá elasticita, pevnost shodná s nylonem, při namočení neztrácí pevnost, velká odolnost
Polypropylen (PP)	průmyslová výroba od 50. let 20. stol.	levná lana, lana vzhledu přírodních lan, lana pro vodní lyžování, záchranná lana, lana pro jachty	plave
Polyetylen (PE)	při vývoji vytvořen vysokomolekulární polyetylen (HMPE, aramid)		bílé nebo barevné, hrubý materiál, plave
Vysokomolekulární polyetylen (HMPE, aramid)		lana malých plachetnic a závodních jacht,	pevnost srovnatelná s ocelovým lanem, nízká hmotnost, voděodolné, nízká průtažnost, citlivost na ultrafialové záření, při uvázání uzlu ztrácí lano podstatnou část své nosnosti
Polybenzoxazol (PBO, Zylon)		takeláž pro plachetnice	vysoká pevnost v tahu, při uvázání uzlu ztrácí lano podstatnou část své nosnosti
Ocel	od středověku s rozvojem výroby oceli, začátkem 19. stol velký rozvoj výroby	strojírenský průmysl (jeřábová lana, vázací), stavební průmysl (mostová lana), lana lanovek, ...	dobrá ohebnost, vysoká nosnost, možnost výroby lan velkých délek,

ZDROJ: Perry G., Judkins S., *Uzly, lana, úvazy*

Příloha 3 Představitelé jednotlivých druhů konstrukcí ocelových lan

Konstrukce	Výroba	Parametry	Používané konstrukce
Klasická	na slaňovacím stroji a srážecím stroji	stejný úhel vinutí všech vrstev, náchylná na tvorbu vrubů, holé nebo pozinkované dráty, lana suchá nebo mazaná, s textilní nebo drátěnou duší	114 drátů – 6 (1+6+12), 222 drátů – 6 (1+16+12+18)
Souběžná	na slaňovacím stroji se speciální různici a srážecím stroji	lana suchá nebo mazaná, s textilní nebo drátěnou duší, holé nebo pozinkované, Seal – poslední dvě vrstvy lana z menších a větších průměrů drátů, různé úhly vinutí, Warrington – okolo středového drátu (pramene) vrstvu tvoří menší a větší průměry drátů, Seal-Warrington – vnitřek Warrington a vnějšek pramene Seal, Filler – mezery mezi dráty vyplněny výplňovými dráty	Seal 6 (1+9+9), 6 (1+6+10+10), Warrington, Seal-Warrington, Filler
S trojbokými prameny	na košových strojích a tubusových strojích		6 (3+9+12), 6 (3+9+12+18), 6 (3+9+15)
S plochými prameny	na košových strojích s doplňkovým zařízením	jedno nebo vícevrstvé lano	
Jednopramenná	na tubusových strojích	jedna nebo více vrstev lana, větší průměr středového drátu	otevřená, polozavřená, uzavřená
Plochá	sešití nebo snýtování (ručně nebo pneumaticky)	pozinkované dráty s jmenovitou pevností 690 – 1770 MPa, mazané	168 drátů – 6 x 4 x 7, 224 drátů – 8 x 4 x 7, 280 drátů – 10 x 4 x 7, 336 drátů – 12 x 4 x 7

ZDROJ: J. Boroška, J. Hulín, O. Lesňák, 1982 Ocelová lana

Príloha 4 Seznam vypočtených lan

Konstrukce	d [mm]	F <sub>min</sub> [N]	M [kg/100m]	S [mm <sup>2</sup> ]	δ <sub>p</sub> [mm]	m	D/d	ρ <sub>s</sub> [MPa]	ρ <sub>max</sub> [MPa]	F <sub>oh1</sub> [N]	F <sub>oh2</sub> [N]	F <sub>oh</sub> [N]	F <sub>max</sub> [N]	%	Δl [mm]	L <sub>celk</sub> [m]
6x7 - FC (1770, Duše z vláken)	13	91 819	53,91	45,28	1,33	4,01	97,12	2,644	3,967	4 942,35	3 750,01	4 346	27 251	29,68	0,00506	673
	13	99 311	58,31	48,98	1,38	4,34	93,38	2,543	3,814	5 559,47	4 218,25	4 889	27 794	27,99	0,00468	673,6
	14	115 177	67,62	56,80	1,48	5,03	86,71	2,361	3,542	6 943,65	5 268,49	6 106	29 011	25,19	0,00403	674,8
	15	132 219	77,63	65,21	1,59	5,77	80,93	2,204	3,305	8 540,38	6 480,01	7 510	30 415	23,00	0,00351	676
6x7 - FC (1960, Duše z vláken)	12	93 704	49,68	41,73	1,27	4,09	101,17	2,755	4,132	4 372,67	3 317,77	3 845	26 750	28,55	0,00549	672,4
	13	109 972	58,31	48,98	1,38	4,80	93,38	2,543	3,814	5 559,47	4 218,25	4 889	27 794	25,27	0,00468	673,6
	14	127 541	67,62	56,80	1,48	5,57	86,71	2,361	3,542	6 943,65	5 268,49	6 106	29 011	22,75	0,00403	674,8
8x7 - FC (1770, Duše z vláken)	14	100 954	64,09	51,57	1,22	4,41	86,71	2,361	3,542	5 173,92	3 925,71	4 550	27 455	27,20	0,00444	674,8
	16	131 858	83,71	67,36	1,39	5,76	75,88	2,066	3,099	7 723,16	5 859,95	6 792	29 696	22,52	0,00340	677,2
8x7 - FC (1960, Duše z vláken)	13	96 391	55,26	44,47	1,13	4,21	93,38	2,543	3,814	4 142,53	3 143,14	3 643	26 548	27,54	0,00515	673,6
	14	111 791	64,09	51,57	1,22	4,88	86,71	2,361	3,542	5 173,92	3 925,71	4 550	27 455	24,56	0,00444	674,8
	15	128 331	73,58	59,20	1,31	5,60	80,93	2,204	3,305	6 363,69	4 828,45	5 596	28 501	22,21	0,00387	676
6x19S - FC (1770, Duše z vlákna)	13	91 266	56,09	47,12	1,00	3,98	97,12	2,644	3,967	3 881,70	2 945,24	3 413	26 318	28,84	0,00486	673
	13	98 713	60,67	50,97	1,04	4,31	93,38	2,543	3,814	4 366,39	3 313,00	3 840	26 745	27,09	0,00449	673,6
	14	114 484	70,36	59,11	1,12	5,00	86,71	2,361	3,542	5 453,52	4 137,85	4 796	27 701	24,20	0,00387	674,8
	15	131 423	80,78	67,86	1,20	5,74	80,93	2,204	3,305	6 707,58	5 089,38	5 898	28 803	21,92	0,00338	676
6x19S - FC (1960, Duše z vlákna)	12	93 139	51,70	43,43	0,96	4,07	101,17	2,755	4,132	3 434,28	2 605,76	3 020	25 925	27,83	0,00527	672,4
	13	109 309	60,67	50,97	1,04	4,77	93,38	2,543	3,814	4 366,39	3 313,00	3 840	26 745	24,47	0,00449	673,6
	14	126 773	70,36	59,11	1,12	5,53	86,71	2,361	3,542	5 453,52	4 137,85	4 796	27 701	21,85	0,00387	674,8
6x19W - FC (1770, Duše z vlákna)	13	91 266	56,09	47,12	0,91	3,98	97,12	2,644	3,967	3 542,06	2 687,53	3 115	26 020	28,51	0,00486	673
	13	98 713	60,67	50,97	0,95	4,31	93,38	2,543	3,814	3 984,33	3 023,11	3 504	26 409	26,75	0,00449	673,6
	14	114 484	70,36	59,11	1,02	5,00	86,71	2,361	3,542	4 976,33	3 775,79	4 376	27 281	23,83	0,00387	674,8
	15	131 423	80,78	67,86	1,10	5,74	80,93	2,204	3,305	6 120,67	4 644,06	5 382	28 287	21,52	0,00338	676
6x19W - FC (1960, Duše z vlákna)	12	93 139	51,70	43,43	0,88	4,07	101,17	2,755	4,132	3 133,78	2 377,76	2 756	25 661	27,55	0,00527	672,4
	13	109 309	60,67	50,97	0,95	4,77	93,38	2,543	3,814	3 984,33	3 023,11	3 504	26 409	24,16	0,00449	673,6
	14	126 773	70,36	59,11	1,02	5,53	86,71	2,361	3,542	4 976,33	3 775,79	4 376	27 281	21,52	0,00387	674,8
6x31WS - IWRC (1770, Duše z vláken)	13	98 713	62,02	52,16	0,83	4,31	93,38	2,543	3,814	3 574,98	2 712,52	3 144	26 049	26,39	0,00439	673,6
	14	114 484	71,93	60,50	0,90	5,00	86,71	2,361	3,542	4 465,07	3 387,87	3 926	26 831	23,44	0,00379	674,8
	15	131 423	82,58	69,45	0,96	5,74	80,93	2,204	3,305	5 491,84	4 166,93	4 829	27 734	21,10	0,00330	676
6x31WS - IWRC (1960, Duše z vláken)	12	93 139	51,70	43,43	0,88	4,07	101,17	2,755	4,132	3 133,78	2 377,76	2 756	25 661	27,55	0,00527	672,4
	13	109 309	60,67	50,97	0,95	4,77	93,38	2,543	3,814	3 984,33	3 023,11	3 504	26 409	24,16	0,00449	673,6
	14	126 773	70,36	59,11	1,02	5,53	86,71	2,361	3,542	4 976,33	3 775,79	4 376	27 281	21,52	0,00387	674,8
6x28NW - FC (1770, Duše z vláken)	13	94 824	59,49	50,04	0,83	4,14	93,38	2,543	3,814	3 429,43	2 602,08	3 016	25 921	27,34	0,00458	673,6
	14	109 974	68,99	58,03	0,90	4,80	86,71	2,361	3,542	4 283,28	3 249,94	3 767	26 672	24,25	0,00395	674,8
	15	126 245	79,20	66,62	0,96	5,51	80,93	2,204	3,305	5 268,25	3 997,28	4 633	27 538	21,81	0,00344	676
6x28NW - FC (1960, Duše z vláken)	13	97 081	55,00	46,26	0,80	4,24	97,12	2,644	3,967	3 048,76	2 313,24	2 681	25 586	26,36	0,00495	673
	13	105 003	59,49	50,04	0,83	4,58	93,38	2,543	3,814	3 429,43	2 602,08	3 016	25 921	24,69	0,00458	673,6
	14	121 779	68,99	58,03	0,90	5,32	86,71	2,361	3,542	4 283,28	3 249,94	3 767	26 672	21,90	0,00395	674,8
	15	139 797	79,20	66,62	0,96	6,10	80,93	2,204	3,305	5 268,25	3 997,28	4 633	27 538	19,70	0,00344	676
17x7 - FC (1770)	13	98 115	64,56	57,47	0,91	4,28	93,38	2,543	3,814	4 308,11	3 268,78	3 788	26 693	27,21	0,00399	673,6
	14	113 790	74,87	66,66	0,98	4,97	86,71	2,361	3,542	5 380,73	4 082,63	4 732	27 637	24,29	0,00344	674,8
	15	130 626	85,95	76,52	1,05	5,70	80,93	2,204	3,305	6 618,06	5 021,46	5 820	28 725	21,99	0,00299	676
17x7 - FC (1960)	12	92 575	55,01	48,97	0,84	4,04	101,17	2,755	4,132	3 388,45	2 570,99	2 980	25 885	27,96	0,00468	672,4
	13	108 647	64,56	57,47	0,91	4,74	93,38	2,543	3,814	4 308,11	3 268,78	3 788	26 693	24,57	0,00399	673,6
	14	126 004	74,87	66,66	0,98	5,50	86,71	2,361	3,542	5 380,73	4 082,63	4 732	27 637	21,93	0,00344	674,8
34(M)x7 - FC (1770)	13	95 123	65,91	56,81	0,61	4,15	93,38	2,543	3,814	2 871,36	2 178,64	2 525	25 430	26,73	0,00403	673,6
	14	110 321	76,44	65,89	0,66	4,82	86,71	2,361	3,542	3 586,25	2 721,07	3 154	26 059	23,62	0,00348	674,8
	15	126 644	87,75	75,63	0,71	5,53	80,93	2,204	3,305	4 410,94	3 346,80	3 879	26 784	21,15	0,00303	676
	16	144 092	99,84	86,05	0,76	6,29	75,88	2,066	3,099	5 353,24	4 061,77	4 708	27 612	19,16	0,00266	677,2
34(M)x7 - FC (1960)	13	97 388	60,94	52,52	0,59	4,25	97,12	2,644	3,967	2 552,62	1 936,80	2 245	25 150	25,82	0,00436	673
	13	105 334	65,91	56,81	0,61	4,60	93,38	2,543	3,814	2 871,36	2 178,64	2 525	25 430	24,14	0,00403	673,6
	14	122 163	76,44	65,89	0,66	5,33	86,71	2,361	3,542	3 586,25	2 721,07	3 154	26 059	21,33	0,00348	674,8
	15	140 238	87,75	75,63	0,71	6,12	80,93	2,204	3,305	4 410,94	3 346,80	3 879	26 784	19,10	0,00303	676