

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Analýza statické pevnosti samosvorných uzlů
používaných ve vojenském lezení**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Vladimír Michalička, Ph.D.

Vypracoval:

Radek Telvák

Praha, 2020

Prohlašuji, že jsem závěrečnou bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

Podpis

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své bakalářské práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto bakalářskou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat všem, kteří přispěli k tvorbě této bakalářské práce, především panu Mgr. Vladimírovi Michalčkoví, Ph.D. za jeho odbornou pomoc a cenné rady při vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Lanex a.s. za poskytnutý materiál, prostory, odbornou asistenci a umožnění realizace testování na jejich trhacím zařízení.

Abstrakt

Název:

Analýza statické pevnosti samosvorných uzlů používaných ve vojenském lezení.

Cíl:

Zjištění pevnosti vybraných uzlů při statickém zatížení na nízko průtažných lanech.

Metody:

Tato bakalářská práce popisuje laboratorní experiment, díky kterému byl zjištěn vliv samosvorných uzlů na pevnost pomocné Reep šňůry navázané na nízko-průtažné lano při statickém zatížení. Pro analýzu byla vybrána 6mm Reep šňůra a 10,5mm lano a samosvorné uzly používané v technikách vojenského lezení. Testování probíhalo na vertikálním zkušebním zařízení. Každý z vybraných uzlů byl podroben deseti pokusům. Jednotlivé uzly byly mezi sebou porovnány z několika hledisek, a to prvního prokluzu, délky prokluzu, maximální pevnosti, poklesu nominální pevnosti a bodu selhání.

Výsledky:

Nejvyšší průměrné hodnoty prvního prokluzu a maximální pevnosti dosahoval Vánočkový prusík. Nejnižší hodnota délky prokluzu byla naměřena u samosvorného uzlu Blake. U Blakeova uzlu v porovnání s ostatními z vybraných uzlů byl zjištěn nejnižší pokles nominální pevnosti a to o 14 %, naopak nejvyšší pokles nominální pevnosti je u Vánočkového prusíku. Pomocná Reep šňůra selhala v 81 % všech pokusů.

Klíčová slova:

vojenské lezení, samosvorný uzel, pevnost uzlu, prokluz, bod selhání, nominální pevnost

Abstract

Title:

Analysis of static strength of friction knots used in military climbing.

Objectives:

Strength determination of selected knots on static ropes under static load.

Methods:

This bachelor thesis shows a laboratory experiment, where the influence of friction knots on the strength of the Reep cord tied to a static rope under static load was determined. For the purposes, a 6mm Reep cord and 10.5mm rope and friction knots used in military climbing techniques were selected. The experiment was run on a vertical test rig. Each of the selected knots was tested 10 times. Every knot was compared among the others in the first slip, slip length, maximum strength, nominal strength drop and the point of failure.

Results:

The highest average values of the first slip and the maximum strength were achieved by the Twist prusik. The lowest value of the slip length was measured at the Blake friction knot. Compared to other of the selected knots, the lowest decrease in nominal strength by 14 % was found on the Blake knot, while the highest decrease in nominal strength is found in the Twist prusik. The Reep Cord failed in 81 % of all attempts.

Keywords:

military climbing, friction knot, knot strength, slip, point of failure, nominal strength

Obsah

Úvod.....	12
TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE.....	14
1 Vojenské lezení	14
1.1 Počátky vojenského lezení.....	14
1.2 Vybavení pro vojenské lezení.....	15
1.3 Techniky využívající samosvorné uzly.....	16
1.3.1 Výstup a sestup po fixním laně	16
1.3.2 Slanění se sebejištěním.....	17
2 Lano.....	18
2.1 Konstrukce	18
2.2 Používané technologie při výrobě lan.....	19
2.2.1 Pletení lan	19
2.2.2 Úpravy lan	23
2.3 Používané materiály k výrobě lan.....	23
2.4 Lana nízko průtažná s opláštěným jádrem.....	25
2.4.1 Vlastnosti nízko průtažných lan	25
2.4.2 Použití nízko-průtažných lan.....	26
2.5 Dynamická lana	27
2.5.1 Rozdělení dynamických lan	27
2.6 Speciální lana.....	28
2.7 Pomocné Reep šňůry	29
3 Uzly	30
3.1 Rozdělení uzlů	30
3.2 Postup správného vázání uzlů.....	31
3.3 Terminologie vázání uzlů	31
3.4 Vybrané uzly.....	32

3.5	Pevnost uzlů.....	36
EMPIRICKÁ ČÁST.....		37
4	Cíl, hypotézy, úkoly	37
5	Metodika výzkumu.....	38
5.1	Laboratorní měření	38
5.2	Testovaný soubor.....	39
5.3	Design měření	41
5.3.1	Postupy vázání uzlů.....	43
5.3.2	Popis měřených hodnot zkoušky.....	47
5.4	Rozsah platnosti.....	48
6	Výsledky.....	49
6.1	Dvojitý Prusíkův uzel	50
6.2	Trojité Prusíkův uzel	52
6.3	Uzel Blake.....	54
6.4	Distel.....	56
6.5	Vánočkový prusík.....	58
6.6	Vyhodnocení.....	60
6.6.1	První prokluz	60
6.6.2	Délka prokluzu	61
6.6.3	Maximální pevnost	62
6.6.4	Pokles nominální pevnosti.....	63
6.6.5	Bod selhání	64
Diskuze.....		65
Závěr.....		69
Seznam použitých zdrojů		70
Seznam grafické dokumentace.....		73
Obrázky.....		73

Tabulky	74
Grafy	74
Seznam příloh	74

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky

AČR	Armáda České republiky
ASTM	American Society for Testing and Materials (Americká společnost pro zkoušení a materiály)
B.E.	Bachelor of Engineering (Bakalář inženýrství)
BFC	Kontinuálně objemně tvarované filamenty
C.I.A.P.	Completely Impregnated Alpinistic Product (Kompletně impregnovaný alpinistický produkt)
CE	Conformité européenne (Potvrzení výrobce produktu, které říká, že produkt splňuje podle nařízení EU)
ČR	Česká republika
ČSN EN	Česká verze evropské normy
DIN	Deutsche Industrie Norm (německá průmyslová norma)
EN	Evropská norma
FTVS	Fakulta tělesné výchovy a sportu
G	Gravitační zrychlení
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HD	High Definition (Vysoké rozlišení)
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro standardizaci)
ISZ	Integrovaný záchranný systém
NSW	New South Wales (Nový Jižní Wales)
NVMO	Normativní výnos ministerstva obrany
PA	Polyam

PAD	Polyamid
PE	Orientovaný polyetylén
PES	Polyester
PP	Polypropylen
RMO	Rozkaz ministra obrany
SBS	Simple Braid Systém (Systém jednoduchého pletení)
SES	State Emerigancy Service (Státní pohotovostní služba)
STP	Speciální tělesná příprava
UIAA	Union Internationale des Associations d'Alpinisme (Mezinárodní horolezecká federace)
UV	Ultra Violet (Ultrafialové záření)

Symboly

%	Procento
cm	Centimetr
F	síla
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
mm	Milimetr
p	Hladina statistické významnosti
s	Sekunda

ÚVOD

Během studia vojenského oboru při FTVS byl autor této práce seznámen s problematikou uzlů a uzlování používaných ve vojenském lezení. Pochopil tak, jak je důležité znát nejen správné postupy vázání jednotlivých uzlů, ale i umět zvolit správný typ pro určitou činnost a dokázat vybrat i lano či šňůry z vhodného materiálu. Z tohoto důvodu se rozhodl směřovat závěrečnou bakalářskou práci tímto směrem. Začal si také uvědomovat přímou souvislost mezi bezpečností lezce a správnou volbou a uvázáním uzlu.

Vojenské lezení je příprava vojáků pro pohyb na skalních a v horských terénech za použití jakýchkoli dostupných prostředků. Spočívá ve využití technik lezení, překonání umělých a přírodních překážek vojáky za účelem získání taktické výhody.

Bakalářská práce se bude zabývat analýzou pevnosti samosvorných uzlů používaných ve vojenském lezení. Je možné nalézt řadu prací na téma uzly, uzlování a testování jejich pevnosti, ale pevností vybraných samosvorných uzlů pro tuto práci a jejich vzájemným porovnáním se mnoho z nich nezabývá. Většina z nich je zaměřena na porovnání rozdílných typů lan se stejným samosvorným uzlem. Výsledky mohou být použity jak pro vojenské účely, tak i pro veškeré záchranné složky či horolezce.

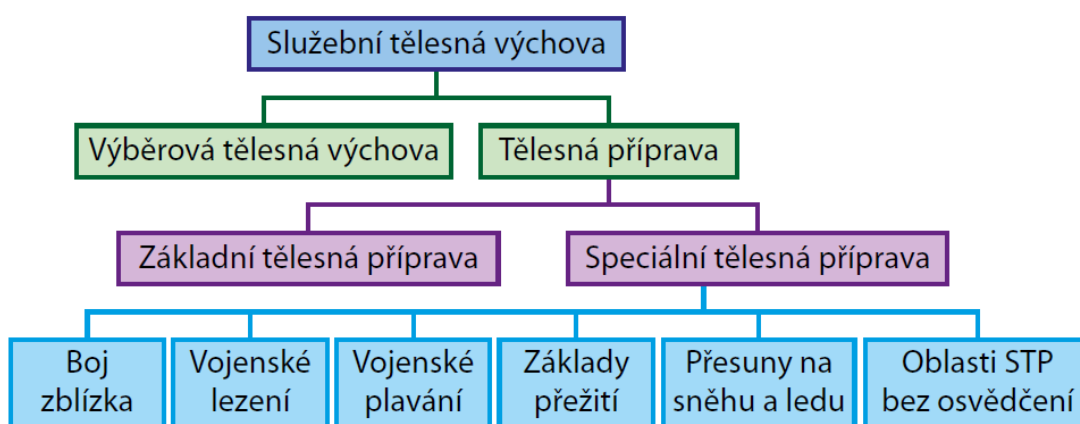
Závěrečná práce bude rozdělena na teoretická východiska a empirickou část, z nichž se každá bude dělit na několik kapitol a podkapitol. První kapitola bude zaměřena na vojenské lezení a jeho počátky, vybavení a techniky využívající samosvorné uzly. Část druhá se bude zabývat technologickými postupy výroby a také materiály používanými k výrobě lan určených pro práce ve výškách i horolezeckých. Také se bude zabývat jeho konstrukcí a použitím v různých oborech. Důležité také budou pomocné Reep šňůry, které budou nedílnou součástí experimentu. Třetí kapitola bude zpracovávat problematiku uzlů, jejich historii, terminologii a pevnost. Dále bude obsahovat popis jednotlivých uzlů vybraných pro experiment a postup jejich vázání. Ve čtvrté části bude práce zaměřena na zjištění pevnosti vybraných samosvorných uzlů při statickém zatížení a na úkoly s tím spojenými. Další část se bude věnovat metodice výzkumu. Budou zde zmíněny výzkumné metody, výzkumný soubor a design měření. Na závěr budou prezentovány výsledky.

Práce si stanovila několik cílů zaměřených na zjištění kvality samosvorných uzlů používaných ve vojenském lezení a jejich vzájemné porovnání. Zjištěné výsledky ukážou hodnoty, ve kterých dojde k prvnímu prokluzu, hodnoty maximální pevnosti, porovnání nominálních poklesů a bodů selhání. Díky těmto zjištěním si bude lezec moci zvolit vhodný samosvorný uzel dle plánovaného zatížení.

TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

1 VOJENSKÉ LEZENÍ

Jednou z oblastí speciální tělesné přípravy je vojenské lezení (viz Obrázek 1). Věnuje se vysoce odborným a rizikovým činnostem vojenských profesionálů. Vojenské lezení se řadí do užitých forem horolezectví, které využívá horolezecké techniky a prostředky k provedení činností nad volnou hloubkou a ve výšce u armádních, záchranných a policejních složek. Cílem je příprava k pohybu v členitém terénu jako je skalnatý, horský a zledovatělý. (NVMO, 2011; Michalička a kol., 2019)



Obrázek 1 Systém služební tělesné výchovy (Michalička a kol., 2019)

1.1 Počátky vojenského lezení

Barták a kol. (2012) uvádí, že počátky horolezectví sloužící k vojenským účelům sahají již do vlády Alexandra Velikého, kdy jeho armáda dokázala rychle přecházet náročné horské terény. Dle Belici (2014) také horské jednotky prvorepublikové Československé armády lezení nevyužívaly pro cílenou lezeckou činnost, ale spíše pro zvýšení efektivity při přesunech mužstva. Kromě lanových technik využívaných ženisty a výsadkáři Československé armády, lze datovat počátky vojenského lezení v rámci vojenské tělovýchovy v rezortu Ministerstva obrany v průběhu devadesátých let, což Michalička a kol. (2019) upřesňuje na rok 1995. Armáda si uvědomila, že v rámci komplexní přípravy jednotek připravujících se na zahraniční operace, jednotek účastnících se výcviků s dalšími složkami dnešního integrovaného záchranného systému

a zásahy armády při záchranných pracích při záplavách nebo živelných pohromách je lezení důležité. Vzor byl v zahraničních armádách, které lezecké techniky již využívali.

Základem pro vznik vojenského lezení byly zkušenosti z volnočasových aktivit příslušníků sportovního lezení a jeskyňářství. V roce 1999 vznikl na základě RMO č. 14/1999 systém speciální tělesné přípravy jehož součástí byl i systém lezecké přípravy, upravující výcvik vojáků a žáků vojenských škol ve speciální tělesné přípravě (STP). Ta jako součást služební tělesné výchovy má připravit příslušníky AČR na úkony, které jsou součástí jejich vojenské odbornosti a fyzicky i psychicky zocelit. Později dne 4. dubna 2011 vešel v platnost normativní výnos Ministerstva obrany NVMO č. 12/2011 Služební tělesná výchova v resortu Ministerstva obrany, který nahradil RMO č. 14/1999. (Belica, 2014)

V dubnu 2010 vešla v platnost „*Speciální tělesná příprava zkušební řády, programy instruktorských kurzů a profesní minimum*“ (Pub – 71-84-01), která v obecnější rovině stanovila formy výcviku. Na tuto publikaci navazuje Michalička a kol. (2019) prozatím nejaktuálnější publikací „*STP Vojenské lezení (Pub 71-84-06)*“

1.2 Vybavení pro vojenské lezení

Lezecké vybavení se dá rozdělit na kovový, textilní a další materiál. Důležitým prvkem kovových materiálů jsou různé typy karabin (typ H a B s pojistkou zámku a jiné), slaňovací osma, která slouží výhradně ke slaňování, jištění top rope a spouštění. Dále ve vojenském lezení využíváme blokanty, různé jisticí a slaňovací prostředky, kladky a mnoho dalšího.

Textilním materiálem se rozumí horolezecké úvazy sloužící k bezpečnému navázání lezce na jisticí lano a k připojení slaňovacích nebo výstupových prostředků. Dělíme je na sedací úvaz, prsní úvaz a kombinovaný úvaz. Je-li kombinovaný úvaz pevně spojen a plně nastavitelný nazýváme ho celotělový úvaz. Jako prostředek například postupového jištění či odvěšování materiálu používáme kulaté smyce, které mohou být z lana dynamického i statického i z pomocných šňůr. Pro statické namáhání slouží smyce ploché z normovaných textilních popruhů. (Michalička a kol., 2019)

Pro účely této práce se budeme z textilního materiálu nejvíce věnovat lanu, které je pro vojenské lezení nezbytnou pomůckou a dělíme ho podle konstrukce, použitého materiálu nebo chování při zatížení. Používají se především lana s jádrem a opletem (viz kapitola 2. Lano).

1.3 Techniky využívající samosvorné uzly

Tyto techniky využíváme ve vojenském lezení v některých situacích, kdy je výhodné nebo nezbytné pohybovat se po laně vertikálně či horizontálně. Samosvorné uzly využíváme také pro napínání lan a dopomoc druholezci nebo vytahování břemen pomocí kladek nebo při záchraně. (Michalička a kol., 2019)

1.3.1 Výstup a sestup po fixním laně

Je to pohyb přímo vzhůru či dolů po fixním laně pomocí samosvorných uzlů. Ty zapřičiní zaklesnutí smyčky na laně, ve které je možné viset nebo si do ní odsednout. Lezec se může posouvat po fixním laně střídavým posouváním smycí nahoru či dolů a odsedáváním do nich. Samosvorný uzel může po laně krátce sklouzávat dolů, než se utáhne vahou lezce. Třením mezi smycí a lanem vzniká značné teplo, které by mohlo zapřičinit přepálení smyce, proto by prokluz neměl být příliš dlouhý. (Michalička a kol., 2019)

Při posouvání samosvorných uzlů po laně vzniká smykové tření, které popisuje Reichl a Všeticka v Encyklopedii fyziky (2020): „Smykové tření je fyzikální jev, který vzniká při posouvání (smýkání) jednoho tělesa po povrchu jiného tělesa. Jeho původ je především v nerovnosti obou styčných ploch, kterými se tělesa vzájemně dotýkají. Nerovnosti povrchů při posouvání těles na sebe vzájemně narážejí, deformují se a obrušují. Tak vzniká třecí síla, jejíž působíště je na stykové ploše obou těles a jejíž směr míří vždy proti směru rychlosti tělesa“.

Je nutné mít samosvorný uzel pod kontrolou a před zatížením ho rukou utáhnout. Uzel je nevhodnější vázat z kulaté smyce, uvázaný z ploché není natolik spolehlivý. Samosvorný uzel bezpečně funguje uvázaný pouze ze smyce o menším průměru než fixní lano, silnější smyce než lano by prokluzovala. (Kublák, 2015) Pro výstup se v praxi často používá varianta se třemi oviny (Frank, 2009).

Ve vojenském lezení se pro tento způsob pohybu po laně nejčastěji používá symetricky Prusíkův uzel, který lze lehce uvázat i jednou rukou. Vojenské lezení využívá kulatou pomocnou Reep šňůru o průměru 6 mm a délce 1,5 m a 5 m. (Barták a kol., 2012; Michalička a kol., 2019)

1.3.2 Slanění se sebejištěním

Slaňování je pohyb lezce po laně směrem dolů. Využívá se ve skalnatém či jiném neschůdném terénu k sestupu dolů. Při slaňování probíhá nepřerušovaný posun po jednom prameni fixního lana nebo po dvou pramenech. Přitom vzniká větší tření mezi lanem a slaňovací pomůckou nebo lanem a tělem slaňujícího, což je improvizované slanění.

Pro slanění se sebejištěním využíváme samosvorný uzel uvázaný pod slaňovacím prostředkem. Centrální bod se slaňovacím prostředkem musíme oddálit (maximálně do úrovně očí). Samosvorný uzel nesmí zasahovat do slaňovacího prostředku. (Barták a kol., 2012; Michalička a kol., 2019)

2 LANO

Využívání lan je datováno od pravěkých dob. Používalo se pro lov, k dopravě, šplhání, tahání a k mnoha dalším aktivitám. Délka starověkých „lan“ byla omezená délkou jednotlivých rostlinných vláken. Jednou z prvních využívaných rostlin byla vinná réva. Postupným splétáním a kroucením se lana začala podobat těm dnešním. 17 000 let staré fosilní pozůstatky lana o průměru 7 mm byly nalezeny v jeskyni Lascaux ve Francii. První nástroj na splétání lana pravděpodobně vynalezli starověcí Egypťané kolem roku 3500 př. n. l.. Vyráběli je z rákosových vláken, datlovníku, kůže, lnu nebo papyru. Lana sloužila hlavně otrokům při tahání obrovských kvádrů pro stavbu pyramid a dalších staveb. První konopná lana, která se rozšířila až do Evropy, začali vyrábět Číňané okolo roku 2 800 př. n. l.. (Turner, Griend, 1996)

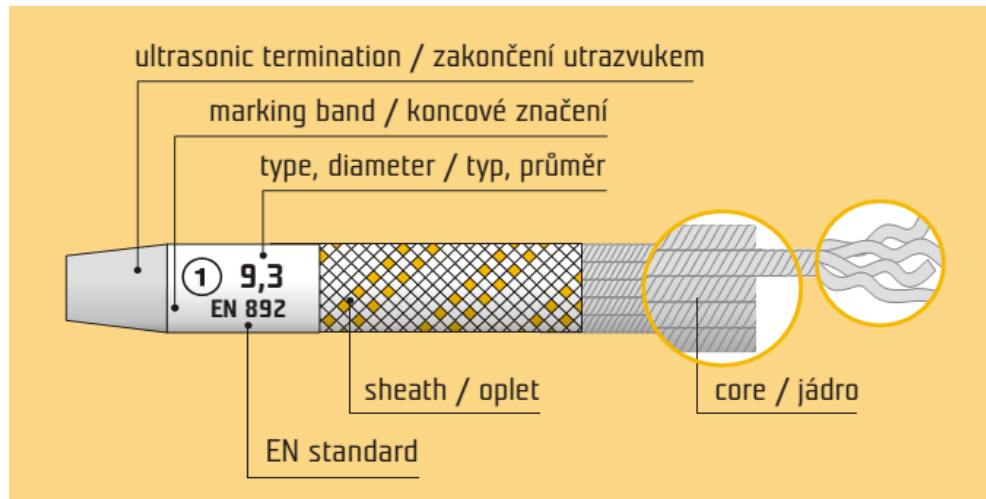
Lano je nejdůležitější součástí zajišťovacího řetězce a rozdělujeme ho podle použitého materiálu, konstrukce a chování při zatížení (Frank, Kublák a kol., 2007). Dle konstrukce dělíme na lana pletená s jádrem a opletem a na lana stáčená. Pro práce ve výšce, nad volnou hloubkou a pro lanové techniky se používají lana s jádrem a opletem. (Hasičský záchranný sbor ČR, 2009)

Důležité je především dělení podle chování při zatížení, ovlivněné elasticitou materiálu, konstrukcí jádra, opletu a tepelnou či chemickou úpravou vláken. Lana rozdělujeme podle těchto vlastností na dynamická a nízko-průtažná neboli statická. (Frank, Kublák a kol., 2007)

2.1 Konstrukce

Lana používaná pro horolezecké účely a lanové techniky se konstrukčně ustálila na lanech složených z jádra a opletu (viz Obrázek 2). Tento systém nazývaný „Kernmantel“ se stal univerzálním modelem pro všechna horolezecká i speleologická lana. Všechny nežádoucí vlivy jako je UV záření, ostré částice nečistot, oděr, vlhkost, slaňovací prostředky či blokanty zatěžují zejména oplet lana, proto je lano konstruováno tak, aby hlavní nosná část spočívala na jádře. Pevnost opletu nepřesahuje 30 až 50 % celkové pevnosti lana, proto jeho hlavní funkcí zůstává ochrana jádra, jehož vlákna zajišťují pevnost lana v tahu. Kernmantel patří mezi pletená lana, která se zhotovují několika metodami z nekonečných svazků polyamidových nebo polyesterových vláken. Statická speleolana a horolezecká dynamická lana se tvoří z polyamidových a některá statická z polyesterových vláken. Zvláštním typem jsou lana vyráběná tak, aby se při splétání

propojil oplet s jádrem, což znemožňuje posuv jádra vůči opletu. Podle výrobce snižuje rázové síly a zvyšuje počet možných pádů při menším poškození, jako např. systém Beal Compact Process. (Frank, Kublák a kol., 2007) nebo Tefix od Lanexu (Tendon, 2020).



Obrázek 2 Průřez lana Kernmantel (Rock Point, 2020)

Jádro lana je pletené z příze nebo ho tvoří svazek stejného počtu levotočivých a pravotočivých stáčených pramenů. Pramen je soubor přízí, které se skládají ze souboru vláken a ty ze souboru filamentů, které jsou nejmenší částí lana a prochází nepřerušovaně celou délkou. Oplet lana je tvořen z navzájem se křížících souborů pramenů. Je to zpravidla 32, 40 nebo 48 pramenů. Dále pak obsahují kontrolní nit s rokem výroby, která je zapletena uvnitř jádra. (Rock Point, 2020)

2.2 Používané technologie při výrobě lan

V poslední době se experimentuje s novými technologiemi, výhradně s Kernmantel systémem. Vznikají tak lana se zvláštními povrchovými úpravami, jako např. vodoodpudivá impregnace. (Frank, Kublák a kol., 2007)

2.2.1 Pletení lan

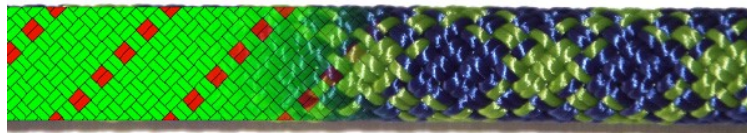
Pro každého uživatele lana, ať už jde o výkon pracovní či sportovní, je lano v podstatě prodlouženou rukou, a je proto důležitá správná volba lana. Každý druh lana má svá specifika a výrobní technologii. Jak již bylo zmíněno výše lana dělíme na stáčená a pletená. Pletenými se práce bude dále více zabývat.

Při výrobě opletu se používají dutinové splétací stroje s křídlovými koly, která jsou uspořádána do uzavřeného kruhu (viz Obrázek 3). V křídlových kolech se ve dvou drahách pohybují běžce s paličkami, ty unášejí cívku s nití, z které vzájemným splétáním s nitěmi ostatních běžců vzniká lano. Polovina běžců s paličkami běží ve směru hodinových ručiček a druhá v protisměru hodinových ručiček. (Lenfeldová, 2007)



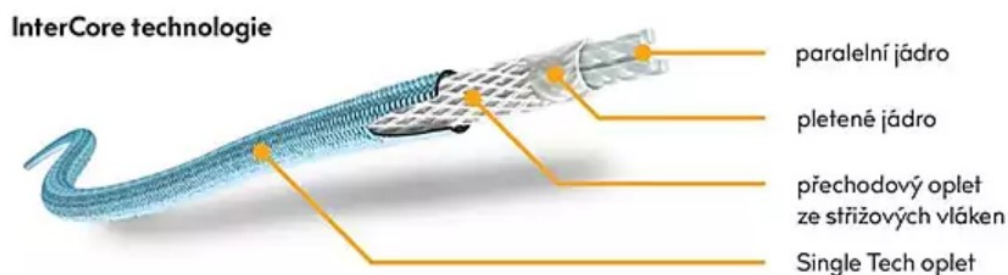
Obrázek 3 Pletení lan

Při standardním tandemovém systému pletení opletu jdou dvě nitě za sebou a v opletu se tak vytvářejí malé čtverce (viz Obrázek 4). U tohoto typu pletení se paličky uspořádají do hnízda a na paličkovém stroji vznikne 24 vazné lano. (Lenfeldová, 2007)



Obrázek 4 Systém Tandem (Tendon, 2020)

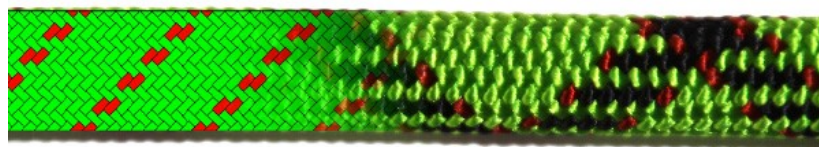
Zajištění maximální bezpečnosti lan od Singing Rocku v případě poškození opletu zajišťuje jejich patentovaná technologie společnosti zvaná InterCore (viz Obrázek 5). Lano je v tomto případě tvořeno čtyřmi vrstvami, a to jádro z paralelních vláken, pletené jádro, pletený mezioplet ze střížových vláken a nakonec oplet lana. Odolnost opletu se zvyšuje pokud se do něho každá příze zaplétá samostatně. (Singing Rock, 2020)



Obrázek 5 IntelCore Technologie (SingingRock,2020)

Tento systém je dalším druhem pletení, kdy příze nejdou v páru za sebou, čímž dojde ke kompaktnějšímu opletu. Ten má hladší povrch než standardní tandemový a je také snížena vliv pronikání malých částic mezi vlákna. Tím se snižuje poškození vnitřní struktury opletu a lana. Lana s tímto opletem vykazují menší třecí síly. Jsou tak odolnější vůči oděru a poškození vlivem tření o povrch skály. Tato lana jsou i příjemnější na omak, práce s nimi je snadnější a je výborně ohebné. (Tendon, 2020)

Lanex tuto technologii nazývá SBS (viz Obrázek 6), Singing Rock Single Tech a Edelweiss HD Cover.



Obrázek 6 Systém SBS (Tendon,2020)

Lana vyrobená technologií Secure (viz Obrázek 7) od firmy Lanex mají také čtyři vrstvy. Paralelní jádro spolu s pleteným jádrem, pletený mezioplet a pletený SBS oplet s odolností proti oděru. Ve všech vrstvách byl použit polyamid. Lana při používání udržují kruhový tvar. Použitá technologie eliminuje posuv opletu. Lana jsou ohebná,

kompaktní, odolná, netvrdnou a snadno se váží a rozvazují uzly. Svou jedinečnou sendvičovou konstrukcí pletených vrstev a použitím speciálně vyvinutých vláken jsou statická lana schopna podržet zavěšenou osobu nebo břemeno i v případě značného poškození opletu nebo jádra, aniž by došlo k úplnému přetržení lana. (Tendon, 2020)



Obrázek 7 Řez lanem Secure (Tendon,2020)

Technologie permanentně spojující jádro lana s opletem zabraňuje posuvu opletu lana přidáním speciálního materiálu mezi jádro a oplet. Technologickým postupem se dosáhlo pevného a pružného spojení těchto dvou částí lana, které má 0% posuv opletu, delší životnost, je měkké a dobře se s ním manipuluje. Pokud dojde k poškození opletu, jádro a oplet zůstanou spojeny dohromady a to i v nejtěžších podmínkách. Tuto technologii nazývá firma Lanex Tefix a výrobce Beal má patentovanou technologii Unicore, kterou využívá i společnost Edelweiss. (Tendon, 2020 Edelweiss, 2020)

Dalším příkladem technologie je patentovaná Route 44 společnosti Singing Rock. Kombinuje hodnoty lan, které dříve kombinovat nešly. Lano je kompaktnější, odolnější a měkké než běžné lano a to díky optimalizaci napětí opletové příze, která je spojena do kruhu 44 paličkami. (Singing Rock, 2020)

Pro mimořádnou průtažnost lan je je mnohdy vítáno pletení tubulárním systémem. Lano je upletené tak, že každé vlákno prochází střídavě povrchem a vnitřní částí. Mají ale zásadní nevýhodu, každé lokální poškození má vliv na pevnost celého lana a nemůže být nijak vyrovnáno, protože nemá vnitřní jádro. Tato lana se používají k speciálním účelům ve speleotechnice. Stáčená lana se v dnešní době pro nevhodné vlastnosti v lezečství nepoužívají. (Frank, Kublák a kol., 2007)

2.2.2 Úpravy lan

Je-li lano mokré, zhoršuje se manipulace s ním, ztrácí svou pevnost, bezpečnost a také zvyšuje svoji váhu. Pokud lano není impregnované, může se stát, že v zimních podmínkách, kdy je vystaveno vlhku a mrazu, bude pro další činnost nepoužitelné. Z tohoto důvodu vznikly technologie používající teflon k impregnaci lan. (Singing Rock, 2020)

V této technologii jsou jádro a oplet pokryty malými částicemi teflonu, které vytváří na celém laně téměř nepropustnou ochrannou vrstvu proti vodě, prachu a dalším nečistotám, které by mohly jádro nebo oplet poškodit. Lana s touto úpravou mají obecně delší životnost a splňují požadavky normy UIAA 101. Firma Lanex nazvala tuto úpravu Complete Shield a společnost Singing Rock Speciální Teflon. (Tendon, 2020)

Horolezecká lana jsou upravována impregnací, která je chrání proti mechanickým vlivům a pronikání vody do těla lana. Říká se jí také vodoodpudivá úprava. Lana jsou impregnovaná v celém svém objemu. Různí výrobci je i různě označují, např. Lanex C.I.A.P. (kompletně impregnovaný alpinistický produkt) nebo Mammut Super-Dry. (Kublák, 2015)

Dále lana mohou mít úpravu proti oděru např. Perdur od Edelweissu, nebo s odlišně řešenou povrchovou úpravou v různých částech délky lana, kdy počítačem řízený stroj rozdílným způsobem utahuje oplet na jádru. Tam, kde lana nejčastěji zachycují pád, jsou odolnější a tužší než na koncích, kde je lano měkčí. (Frank, Kublák a kol., 2007)

Polyesterová lana lze upravit termofixací, což je rozměrová stabilizace textilních výrobků z termoplastických vláken působením tepla. Slouží ke snížení srážlivosti, tvorby lomů a žmolovitosti, která snižuje tažnost. (Lanex a.s., 2020)

2.3 Používané materiály k výrobě lan

Při nákupu lan a smyček je vhodné se s použitým materiálem na jejich výrobu seznámit a znát jejich základní vlastnosti. Smyčky pro horolezectví se nejčastěji vyrábějí ze stejného materiálu jako lana, a to především ze syntetických materiálů. (Frank, Kublák a kol., 2007)

Polyamid (PAD) původně zvaný nylon (Budworth, Hopkins, 2008) se vyznačuje značnou pevností v tahu a elasticností. Voda u něj způsobuje menší pokles nosnosti. Ve

vlhkém stavu je o 10 až 15% nižší. Jeho tendence k protahování se může redukovat polyesterovým pláštěm s omezenou elasticitou. Zlepšit pevnost a uchovat jeho protahování lze pomocí osmipramenného pletence. Škodí mu sluneční záření (především UV), rozpouští jej kyseliny a taje při teplotě nad 150°C. (Frank, Kublák a kol., 2007)

Polyester (PES) se prodává jako terylén nebo dakron (Budworth, Hopkins, 2008). Je pevný v tahu a vyznačuje se elasticitou, neovlivňuje jej voda a je odolnější proti prodření o skálu. Škodí mu UV záření a rozpouštějí jej alkalické roztoky. Taje při teplotě vyšší než 150°C. (Frank, Kublák a kol., 2007)

Polypropylen (PP) je pevný v tahu, elastický, lehký, na vodě plave. Oproti výše uvedeným materiálům je ještě citlivější na sluneční a UV záření a taje při teplotě nižší než 150°C. (Frank, Kublák a kol., 2007)

Aramid (aromatický polyamid) má oproti předchozím materiálům vyšší pevnost v tahu, avšak nízkou elasticitu. Ztrácí pevnost v uzlech, protože vlákna se vzájemně odírají, a tak může pevnost klesnout rychleji než např. u PAD. Taje při teplotě nad 150°C. Příkladem jsou kevlar či nomex. (Frank, Kublák a kol., 2007)

Kevlar je registrovaná ochranná známka pro para-aramidové syntetické vlákno. Má vysoký poměr pevnosti v tahu; tímto je 5krát silnější než ocel (Singing Rock, *Products*). Svým skvělým poměrem pevnosti vůči hmotnosti umožňuje použití lehkých lan s malými průměry, ale jen za předpokladu, že budou jeho křehká vlákna chráněna pláštěm z tužšího polyesteru. (Budworth, Hopkins, 2008)

Orientovaný polyetylén (PE) známý jako Dyneema a Spectra. Dyneema je registrovaná značka společnosti DSM. Je to syntetická látka, která je silnější než kevlar, je odolná vůči vodě, bakteriím, UV záření a většině chemikáliím (Singing rock, 2020). Spectra je registrovaná značka od společnosti Honeywell. Jsou to polyethylenová vlákna silnější než ocel a aramidová vlákna, schopná odolávat namáhání při vysokém zatížení. Jsou odolná proti chemikáliím, vodě a ultrafialovému světlu. Má velikou pevnost v tahu a odolnost proti oděru, ale škodí mu teplo a taje už při teplotách nad 100°C. Snadno se přepálí třením. Z tohoto materiálu se vyrábějí šité smyčky a popruhy. (Honeywell, 2020)

Teplota tání je důležitý ukazatel. Všechny smyčky i lana lze při zatížení přepálit třením mezi sebou navzájem. Zatížené se nikdy nesmí tahat přes smyčku, je nutno vložit karabinu. Při konstrukcích, např. na jisticích stanovištích je třeba dbát na to, aby při vytahování nebo změnách zatížení nedošlo k přímému tření smyček, lan a popruhů mezi sebou. (Frank, Kublák a kol., 2007)

2.4 Lana nízko průtažná s opláštěným jádrem

Nízko průtažná lana s opláštěným jádrem, také označována jako statická, se využívají pro práce v lanovém přístupu, pracovní polohování a zadržení, v záchranářství, pracích ve výškách a speleologii. Pro tyto lana je důležitá co nejmenší průtažnost, jelikož podélné pružení dynamického lana při zdolávání hlubokých vertikál je nežádoucí a působilo by problémy. I čeští výrobci Lanex-Tendon a Singing Rock v dnešní době vyrábějí několik typů statických lan. Rozdělují je na pracovní a speleologická lana s upraveným opletem, vyhovujícím podmínkám v jeskyních, snadněji se čistí a jsou odolnější. (Frank, Kublák a kol., 2007)

Kublák (2015) uvádí: „*Lana pracovní a statická, která jsou buď jen málo dynamická, nebo úplně slouží jen k zadržení váhy a tudíž skoro nepruží. Tato pracovní a statická lana se pro zachycení pádu v horolezectví nesmí používat.*“

2.4.1 Vlastnosti nízko průtažných lan

Nízko průtažná lana tedy pro horolezectví vhodná nejsou, s výjimkou fixního lana a vytahování břemene. Při použití tohoto lana v jednolanové technice by mezi kotvicím bodem a osobou na nízko průtažném laně neměl být žádný průvěs, protože pokud lezec sklouzne, tak se pouze zhoupne a kotevní bod je zatížen staticky s minimálním rázem. Pokud by mezi lezcem a kotvením byl průvěs, vyšle lezec do kotvení a uzlu větší ráz a to je pro jednolanovou techniku statických lan nepřijatelné. Lano není přizpůsobeno pro absorbování energie pádu, na rozdíl od dynamického. Při používání nízko průtažných lan je třeba větší pozornosti při slaňování. Postup dolů by měl být plynulý a zastavování pozvolné, aby se nezatěžoval kotvicí bod. (Fáborský, 2001)

Průtažnost statických lan při zatížení hmotností 100 kg nepřesahuje 5 % své délky (ČSN EN 1891). Rázová síla při zachycení pádu závaží o hmotnosti 100 kg z výšky 0,6 m je maximálně 6 kN (Hasičský záchranný sbor ČR, 2009).

Rázová síla je síla, která působí na lezcovo tělo v okamžiku zachycení pádu. Tuto sílu přenáší lano na celý jisticí řetězec. Závisí na parametrech konkrétního lana, kvalitě postupových bodů a způsobu jištění. Nejvyšší hodnoty dosáhne v okamžiku zastavení pádu, je to hodnota záhytného nárazu (rázové síly). Člověk přežije při zachycení pádu přetížení maximálně 15 G, to je patnáctinásobek jeho váhy. Pro potřeby norem se vychází z průměrné hmotnosti horolezce 80 kg, tím je pak přetížení 15 G: 15 x 0,8 kN, což je 12 kN. To je také normou (ČSN EN 892) daná hodnota maximální rázové síly, kterou

lano může mít a která je přímo úměrná jeho průtažnosti. Pádová energie se při pádu utlumí v laně, které se protáhne úměrně velikosti síly. Zmírnit účinky rázové síly můžeme výběrem vhodného lana, použitím prsního úvazu a vhodnými jisticími pomůckami. (Barták a kol., 2012; Belica, 2014; Michalička a kol., 2019)

Dle Belici (2014): „Část energie pádu pohltí tělo lezce, další část se „vybije“ při dotahování uzlů, část se promění na teplo vzniklé při tření v karabinách jisticího řetězce a případném jisticím prostředku, většina ale způsobí protažení lana a přemění se v deformační energii a následně na teplo.“

Minimální počet normovaných pádů pro lano je pět. Musí mít vnitřní označení opakované alespoň každých 1000 mm po celé délce, a to: jméno nebo značku výrobce, dovozce či dodavatele, dále pak číslo evropské normy EN 1891, a zda je to typ lana A nebo B. Následně pak rok výroby, název materiálu, ze kterého je lano vyrobeno nebo barvu, která označuje materiál v souladu s evropskou normou EN 701. Musí být také označeno vnější páskou na obou koncích, na které je trvale vyznačeno: písmeno A pro typ lana A nebo písmeno B pro typ lana B, průměr lana v mm a číslo normy EN 1891. (Hasičský záchranný sbor ČR, 2009)

Na trhu jsou lana Ø8,5 až Ø16,0 rozdělena podle EN 1891 na typ A s minimální statickou pevností 22 kN nebo na typ B pro menší namáhání s minimální statickou pevností 18 kN. Lano, které nesplňuje všechny vlastnosti, které předepisuje EN 1891, není možné uvést na trh jako lano k zabezpečení osob. Lana typu A jsou odolnější a pevnější oproti lanům typu B, která potřebují větší péči, mají menší průměr, nižší pevnost nebo obojí. Pro záchranné činnosti se používá lano typu A. (Hasičský záchranný sbor ČR, 2009)

2.4.2 Použití nízko-průtažných lan

Tato lana našla svá uplatnění jak v armádě, tak ve složkách ISZ, při záchrane osob, práci v terénu či přemísťování břemen (Hasičský záchranný sbor ČR, 2009).

Využívá se při tradiční formě horolezectví, výstupech na ledovce (Peřina, 2010) a také ve specifické disciplíně arboristice, což je práce ve výškách. Její techniky umožňují prořezání stromu či jeho kompletní odstranění (Singing Rock, *Activity*), dále pak ve speleoalpinismu, který zahrnuje veškerou speleologickou činnost ve výškách a nad volnou hloubkou, hlavně překonávání vertikálních úseků v podzemních prostorech za

pomoci lan a umělých pomůcek, případně volným lezením (Česká speleologická společnost). Další disciplína využívající tato lana a prvky horolezectví, speleologie a vodáctví je canyoning. Ve kterém se prostupuje koryty horských říček, potoků a úzkých soutěsek shora dolů. Kombinuje se při něm slaňování skalních stěn a vodopádů, plavání tůňmi, skákání do tůní, sjíždění přírodních tobogánů a skluzavek. (Česká asociace canyoningu, 2020)

2.5 Dynamická lana

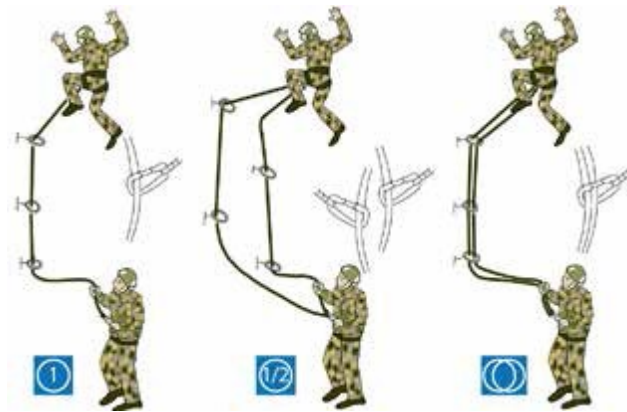
Vzhledem k tomu, že dynamické lano není předmětem našeho zkoumání, práce ho zmiňuji pouze okrajově.

Jsou určena pro horolezectví, zejména k zachycení pádu. Pohlcují pádovou energii až do úplného zastavení, proto je při jejich výrobě snaha o maximální pevnost a pružnost, aby měla odolnost proti rázovým silám. Dle ČSN EN 892 jejich průtažnost neboli prodloužení při zátěži je 5-30 %, ale pro horolezecké účely je to obvykle do 8 %. Rozlišují se podle toho, kolik lano snese normovaných pádů na „málo-pádová“ a „mnoho-pádová“. Dále se dynamická lana dělí do kategorií podle způsobu, kterým mají být používána na jednoduchá, poloviční a tzv. dvojčata. Na našem trhu mohou být pouze lana splňující normu EN, která často mají i certifikát UIAA. Tato lana jsou označena písmeny a logem CE, logem UIAA a symbolem pro kategorii. Označeny musí být oba konce lana. (Frank, Kublák a kol., 2007)

2.5.1 Rozdělení dynamických lan

Dynamická lana horolezecká dělíme na lana jednoduchá, poloviční a dvojitá (viz Obrázek 8). Jednoduchá, tedy v jednom prameni jsou vhodná tam, kde není zvýšené riziko jejich poškození. Využití tak může být na umělé stěny, kolmé stěny, skály nebo velké stěny. Lana poloviční jsou vhodná ve vysokých horách, lezení v ledu a smíšených terénech. Tímto typem je možné zvýšit bezpečnost lezce, protože se pravé a levé lano vede samostatně přes několik jisticích bodů. Je ovšem nutno zachovat nezávislou kontrolu každého lana. Výhoda zde je možnost střídat jištění každým pramenem zvlášť. Většina

polovičních lan je certifikovaná i jako dvojitá, která se hodí do nestabilního terénu, kde potřebujeme zajistit, že padající kamení nebo ostré hrany skal nepoškodí oplet. V tomto případě se používají vždy stejná lana v páru se společnými jisticími postupovými body. (Michalička a kol., 2019)



Obrázek 8 Rozdělení dynamických lan (Michalička a kol., 2019)

2.6 Speciální lana

Jako samostatná kapitola jsou v práci uvedeny příklady lan vyvinutých pro speciální činnosti. K vojenským účelům slouží Fast rope (viz Obrázek 9), které se používá pro rychlé slanění jen v rukavicích, bez jištění z vrtulníku, když není čas nebo možnost přistát, ale zároveň je možno přiblížit se k zemi. (Stránský, 2017)

Vyrábí ho například Beal nebo Lanex ze speciálního vlákna PA BCF, které zajišťuje vysoký komfort při slaňování. Má vysokou odolnost proti prasknutí a odření. Armáda využívá průměry Fast rope 40 mm a 32 mm. (Tendon, 2020)



Obrázek 9 Fast rope (Tendon,2020)

Dalším je spouštěcí neboli pracovní lano, které je vyvinuto pro spouštění a brždění břemen (Tendon, 2020) nebo lana ocelová, která mohou být pozinkovaná, nekroutivá

s velmi vysokou pevností pro výtahy, jeřáby nebo lesnictví pro přibližování dřeva. (Monteco, 2020)

2.7 Pomocné Reep šňůry

Původ jejich názvu může být odvozen z islandského výrazu „reipe“, které znamená „lano“ nebo po jistém Haroldu Reepovi, který tímto lanem zvonil dlouhých 35 let na kostelní zvon. Tak či tak Reep šňůry jsou vhodné k zavěšení materiálu či na prusíkování. (Lanex, 2020)

Pomocná šňůra se definuje jako lano nebo šňůra s jádrem a opletem o určité délce. Jejich průměr se pohybuje od 2 mm do 9 mm. Používají se tam, kde je silné lano zbytečné. Pomocná šňůra se používá pouze k statickému zatížení. Není určena pro zachycení pádu a absorbování dynamické energie. Dle EN 564 je minimální pevnost pro 6 mm Reep šňůru 7,2 kN, (Hasičský záchranný sbor ČR, 2009)

3 UZLY

Jedna z definic uzlu, podle knihy *Uzly a lana* od Duane Raleigha, zní: „*Jakákoliv spletnost na laně, šňůře či provaze, která nevznikla náhodou.*“

Je známo, že lidé vázali uzly již v době, kdy neuměli rozdělat oheň nebo nepoužívali kolo. Primitivní lidé používali šňůrky s korálky jako kalendáře, počítadla a k zaznamenání rodokmenů. Uzly se objevují i v náboženství. Korálky růžence byly kdysi uzlíky na šňůrce. Uzly na pásech mnichů a jeptišek je zavazují ke složeným slibům. Složitější uzly, které se daly jen těžko rozmotávat, velice rádi vázali například staří Řekové. Římští a řečtí lékaři je používali jako chirurgické smyčky. Zranění vázaná tzv. Herkulovým uzlem se prý hojila rychleji, popisoval historik Plinius. Dnes se mu říká ambulatní, refový nebo čtvercový a je to vůbec první pojmenovaný uzel po určité osobě. Egypťané používali k výměře pozemku dlouhá lana s uzlíky, které jej dělily na určité úseky. V dobách, kdy se lidé plavili po moři za obchodem, válčením nebo objevy, pracovali dokaři a námořníci s lany více než kdykoliv dříve. Pravděpodobně druhým pojmenovaným uzlem je uzel Matthewa Walkera, anglického dokaře. První mořeplavecké příručky s vyobrazením uzlů se objevily na přelomu 18. a 19. století, ale první s popisem uzlování až ve 20. století. Dnes uzly modifikují, vynalézají a pojmenovávají hlavně rybáři a horolezci. (Budworth, 2007)

3.1 Rozdělení uzlů

Uzly rozdělujeme do tří skupin podle určitých kritérií a na symetrické (osmička) či nesymetrické (dračí smyčka). První skupinou jsou kotvící uzly, které nejčastěji používáme při navazování lana k úvazu na těle lezce nebo k připevnování lana k jistíci bodu. Další skupinou jsou spojovací uzly, ty slouží ke spojování dvou pramenů lan nebo smyček. Do poslední skupiny speciálních uzlů spadají uzly s různým využitím, např.: fixování, sebejistění při slaňování, při záchranných postupech nebo pro šplh po laně. Do speciálních uzlů patří uzly povolovací, tlumící, manipulační a samosvorné uzly, na které se v této práci zaměříme. (Michalička a kol., 2019)

Samosvorné uzly jsou ty, které se samy sevrou při zatížení a zamezí se tak jejich posunu po laně. Po uvolnění zatížení je uzel možné opět posunout. Můžeme je rozdělit na výstupové, které během výstupu či sestupu po laně nahrazují blokant a blokovací, ty nahrazují při blokování vytaženého lana blokant. (Belica, 2014)

Prohazka zmiňuje v časopise *Nylon Highway* že samosvorné uzly mají sklon k selhávání a sklouzávání pokud jsou uvázány z silnějších šňůr či popruhů, protože zde nevznikne dostatečné tření. (Prohaska, 1990)

3.2 Postup správného vázání uzlů

Pro vhodnou volbu uzlu máme několik faktorů, např. kvalita zvoleného lana, průměr lana, možnost změny směru zatížení během používání a umístění uzlu (traversy, tlumící uzly). Dále je také podstatné správné uvázání vybraného uzlu za nevhodných či extrémních podmínek. Měl by být kladen důraz na úpravu právě zhotoveného uzlu před jeho dotažením. Prameny uzlu by měly být paralelně srovnány, protože chuchvalec smyček má objektivně nižší hodnotu. Tím je minimalizována tendence deformace uzlu během zatěžování. Také je potřeba předběžně dotáhnout, stačí i silnější dotažení rukama, všechny prameny lana, které z uzlu vycházejí. Zabráni se tak deformaci nebo přesmyknutí a snížením tak nosnosti některých méně symetrických uzlů při náhlém silném zatížení. Samozřejmostí by měla být průběžná hmatová i optická kontrola správnosti uvázání uzlu nejenom svého, ale i vazbu uzlů, kterou provedl lezec před námi. (Barták, 2012)

Michalička a kol. (2019) doplňuje: „*Délka vyčnívajícího pramene z uzlu musí být vždy minimálně 10násobná ve srovnání s průměrem lana, tj. přibližně 10 cm. U plochých smyc je pramen 5násobkem šíře smyce, tj. opět zhruba 10 cm.*“

3.3 Terminologie vázání uzlů

Tak jako každá nejen vědecká disciplína má svou odbornou terminologii, kterou je potřeba sjednotit, má i uzlování své specifické pojmenování, které zde stručně přiblížím.

Pramen je část lana, která prochází uzlem či z něj vychází a dál pokračuje jako lano (Michalička, 2019).

Ohyb je začátkem vázání všech uzlů. Jde o ohnutí konce lana zpět ke zbytku lana.

Závit následuje jako druhý prvek na ohyb do okamžiku, kdy ohnutý konec překříží konec lana. Vychází z něho většina uzlů a smyček

Jako **Uzel** označujeme jednak souhrnně uzly, smyčky atp., ale také konec lana, který vychází z uzlu jiným směrem než do uzlu vstupuje a po zatažení se utáhne

Smyčka je vytvořené oko uzlem, které se dokáže plynule stahovat a váže se kolem jakéhokoli předmětu. Jsou dva typy smyček, a to stahovací (lodní smyčka) a nestahovací (dračí smyčka). (Belica, 2014)

Most samosvorného uzlu přepažuje závity z Reep šňůry kolem lana (Evans, 2014)

3.4 Vybrané uzly

Mnoho uzlů je známo pod celou řadou jmen, díky tomu může docházet k nedorozuměním, protože různé skupiny (lezci, vodáci, skauti, atd.) mají zažitá jiná pojmenování pro shodné uzly. Není žádná norma, která by toto názvosloví sjednocovala. Vedoucí instruktoři AČR, ve snaze zabránit problémům s názvoslovím, stanovili názvosloví uzlů, které používají vojáci. (Belica, 2014)

Prusíkův uzel

K využívání v horolezectví ho zavedl úspěšný rakouský horolezec, autor mnoha publikací o horolezectví a hudbě dr. Karl Prusík (18.5.1896–8.5.1961), který je často milně považován za jeho autora. V podstatě je to vícenásobná liščí smyčka uvázaná Reep šňůrou. Při zatížení se uzel sevře a lano neprokluzuje v žádném směru. (Belica, 2014)

Je to uzel výstupový též samosvorný, který je možné snadno uvázat jednou rukou a po uvázání kolem fixního lana slouží k výstupu. Po zatížení prusíku vahou lezce se uzel sevře. Pokud není zatížený, lze ho snadno posunout po fixním laně. Rozeznáváme jednoduchý, dvojitý a trojitý Prusíkův uzel podle počtu ovinů smyčky kolem lana. (Frank, Kublák a kol., 2007) Tato práce se bude věnovat dvojitému a trojitému provedení. (viz Obrázek 10)



Obrázek 10 Dvojitý Prusíkův uzel

Uzel Blake

O popularizaci tohoto uzlu (viz Obrázek 11) se postaral Jason Blake, který ho představil jako alternativu uzlu Tautline (Jepson, 2007). V roce 1994 ho popsal pro časopis Arbor Age, kde ho uvedl do podvědomí arboristů. Již dříve byl přesně popsán a navržen Heinzem Prohaskou v časopise Nylon Highway v roce 1990. Za jeho označení mohou tak arboristé, kteří ho na různých výstavách prezentovali jako Blakeův uzel. Koncem 90. let začal být používán i mezi horolezci. Blakeův uzel je další třetí uzel, který vznikl úpravou Prusíkova uzlu a je použitelnější, protože se tolik nezasekává a volný konec se nerozvazuje. Je na něho ale vyvíjeno větší tření, tudíž může být rizikový při rychlém slaňování. Může být zatížen pouze v jednom směru a volný konec by měl být pojištěn. (Adams, 2005)



Obrázek 11 Uzel Blake

Uzel Distel

Podle arboristické tradice se má za to, že horolezec jménem Uli Distel se pokoušel uvázat Schwabish uzel, ale nad mostem samosvorného uzlu omylem změnil směr volného konce lana. Ukázalo se však, že tato konfigurace fungovala dobře a vznikl tak nový uzel, který dostal jméno Distel (viz Obrázek 12). Oba volné konce lana jsou zavřeny do karabiny, čímž se vytvoří uzavřený horolezecký uzel. (Adams, 2005)



Obrázek 12 Uzel Distel

Vánočkový prusík

Vánočkový prusík (viz Obrázek 13) získal své jméno podle způsobu vázání, některé publikace jí označují také jako anakundu. Váže se pomocí Reep šňůry i ploché smyčky. Uzel lze zatěžovat pouze v jednom směru, ve druhém klouže, což usnadňuje nouzové výstupy po laně. Výhodou tohoto uzlu je, že se dá tlakem shora povolit či stáhnout směrem dolů i při zatížení plnou vahou lezce. Tato vlastnost může být pro nezkušené lezce velmi nebezpečná. Naopak zkušenější ho ocení, protože se nemusí přizvedávat při

zatížení Vánočkového prusíku využitého při jištění jednoduchým slaňovacím prostředkem, ale stačí ho za vršek stáhnout k sobě. (Belica, 2014)

Velké využití našel tento uzel při záchranářských činnostech, protože se s ním dá pracovat i při zatížení jak již bylo zmíněno výše (Michalička a kol., 2019).



Obrázek 13 Vánočkový prusík

Beznapětové kotvení

Tam, kde se předpokládá velké zatížení a mohlo by dojít k poškození lana v uzlu nebo by uzel bylo po velkém zatížení obtížné rozvázat, se využívá beznapětové kotvení (viz Obrázek 14). Na rozdíl od uzlů tento způsob kotvení prakticky nesnižuje pevnost lana. Je občas nesprávně označován jako beznapětový uzel, protože ho tvoří jen soustava závitů omotaných kolem kotevního bodu, který může tvořit strom či sloup. Minimální počet ovinů je tři a maximální není stanoven, protože zbytečně mnoho ovinů nemá vliv na pevnost kotvení. Volný konec lana se musí uvázat k dalšímu kotevnímu bodu. Nedostatečně dlouhý volný konec přivázaný ke druhé straně lana vedoucího do vertikály by mohl způsobit bodové lámání napnutého lana. Je to tedy nevodné a také to komplikuje případné dobírání, či povolování lana. (Belica, 2014)



Obrázek 14 Beznapětové kotvení

3.5 Pevnost uzlů

Je důležité si uvědomit, že každý uzel snižuje nosnost lana. Snížená pevnost je způsobena mechanickým i tepelným namáháním, které vzniká při ohýbání a natahování v uzlu. Uzel většinou snižuje nominální pevnost lana až o polovinu a více (viz Obrázek 15). Tento fakt potvrzuje i řada zpráv z nedávných pokusů na trhacích zařízeních, kde docházelo k destrukci lana právě v uzlech. Lana se dříve přetrhla obvykle v karabině (respektive v ohybu), ale díky vývoji došlo k posunu pevnosti a odolnosti lana a pokud v současné době dojde k přetržení lana je to téměř ve všech případech přímo v uzlu. Je dobré dát přednost složitějším uzlům před jednoduššími, protože obecně platí, že čím větší počet ovinů lana v uzlu, tím lépe pro lano a jeho pevnost. Uzel by měl být srovnaný a prameny vedeny paralelně, aby se nekřížily, jinak dochází k deformaci a snížení pevnosti. Nutno podotknout, že složitější a srovnaný uzel se po utahnutí snadněji rozvazuje. Každý uzel by se měl po ukončené činnosti rozvázat, jinak dochází k poškození lana. (Frank, Kublák a kol., 2007)

UZLY KOTVÍCÍ		
Název uzlu	Tvar	Pevnost lana s uzlem proti pevnosti lana nominální
devítkové oko		70%
osmičkové oko		55%
dračí smyčka		52%
motýlek		51%
vůdcovská smyčka		50%
UZLY SPOJOVACÍ		
Název uzlu	Tvar	Pevnost lana s uzlem proti pevnosti lana nominální
dvojitý rybářský		56%
osmičkový protiběžný		48%
škotový uzel		45%
vůdcovský protiběžný		44%
jednoduchý rybářský		39%

Obrázek 15 Pevnost uzlů (Frank, Kublák a kol., 2007)

EMPIRICKÁ ČÁST

4 CÍL, HYPOTÉZY, ÚKOLY

Cíl

- Zjištění pevnosti vybraných uzlů při statickém zatížení na nízko průtažných lanech.

Výzkumné otázky

- Je vždy počet závitů samosvorného uzlu určujícím parametrem jeho pevnosti?
- Je počet pramenů Reep šňůry, ze které je tvořen samosvorný uzel, určujícím parametrem jeho pevnosti?
- Průběh chování samosvorného uzlu při statickém zatížení je lineární?

Hypotézy

1. Prusíkův uzel se třemi závitů bude minimálně o 1/3 pevnější než Prusíkův uzel se dvěma závitů
2. Nejpevnější bude Vánočkový prusík
3. V 80 % všech pokusů selže pomocná Reep šňůra dříve než lano

Úkoly

- Teoretická východiska práce, vymezení daného problému a s ním souvisejících informací pomocí odborné literatury
- Výběr uzlů dle potřeb vojenského lezení
- Zajištění prostor, potřebného materiálu a vhodného měřicího zařízení
- Pretestace
- Testování pevnosti vybraných uzlů
- Shromáždění a zpracování dat
- Vyhodnocení

5 METODIKA VÝZKUMU

V teoretické části práce byla popisnou analýzou nashromážděna data a informace z rešerše literatury, zabývající se podobnou problematikou. V empirické části budou kvantitativním výzkumem potvrzeny či vyvráceny stanovené hypotézy.

Bakalářské práce popisuje laboratorní experiment, díky kterému byl zjištěn vliv samosvorných uzlů na pevnost pomocné Reep šňůry navázané na nízko-průtažné lano. Pro analýzu byla vybrána 6mm Reep šňůra a 10,5mm lano, které se využívá ve vojenském lezení a samosvorné uzly používané v technikách vojenského lezení (Michalička a kol., 2019).

Testování probíhalo na zkušebním zařízení WPM ZDM 30/300 kN v prostorách bolatické společnosti Lanex a.s. Zkouška, kterou byla testována pevnost pomocné Reep šňůry při statickém trhu, nebyla zcela standardní. Byla snaha, aby celý test probíhal dle normy ČSN EN 564 - *Horolezecká výzbroj - Pomocná šňůra - Bezpečnostní požadavky a zkoušení*, která udává upnutí pomocné šňůry, rychlost posuvu, a teplotní rozpětí, při kterém je možné zkoušku realizovat. Celá zkouška probíhala dle požadavků normy, až na rychlost zatěžování, kterou nebylo možno nastavit dle požadavků normy. Nastavování rychlosti posuvu je omezeno možnostmi zkušebního zařízení. Rozdíl mezi rychlostí posuvu, která byla použita pro měření této práce a rychlostí posuvu stanovenou normou nemá dle odborné technické podpory vliv na výsledky. Rychlost posuvu zařízení pro zkoušku byla 460 mm/min. Teplotní rozpětí dle výše zmíněné normy, ve kterém je zkoušku možné realizovat je 23 ± 5 °C.

Pomocí deskriptivní statistiky byly vyhodnoceny výsledky prvního prokluzu, celkových délek prokluzů, maximální pevnosti, spočítán pokles nominální pevnosti. Dále byly jednotlivé zprůměrované hodnoty porovnány mezi sebou a procentuálně vyhodnocena body selhání systému (lano a Reep šňůra).

5.1 Laboratorní měření

Analýza statické pevnosti samosvorných uzlů navázaných Reep šňůrou na statické lano probíhala na zkušebním stroji pro stanovení pevnosti materiálu ZD 30 (0-300 kN). Zkouška probíhala v laboratorních podmínkách při teplotě od 20°C do 25°C. Vlhkost v místnosti se pohybovala mezi 44 a 61 % rh a osvětlení bylo po celou dobu zářivkovými

trubicemi. Měření probíhalo dne 19. 5.2020 od 13:00 h do 23:00 h. Celkový čas měření i s přestávkami byl 10 hodin.

5.2 Testovaný soubor

Výzkumný vzorek byl tvořen pěti samosvornými uzly navázaných z pomocné Reep šňůry na lano. Všechny vzorky, které byly použity pro testování, byly nové a nepoužité. Předmětem testování byly samosvorné uzly dvojité Prusíkův, trojitý Prusíkův a Vánočkový prusík, které se používají ve vojenském lezení (Michalička a kol., 2019). Dále uzly Distel a Blake, které na základě vyhodnocení kurzu speciální tělesné přípravy pro vedoucí instruktory vojenského lezení byly nově zařazeny do kurzů „obnov“ licence Instruktora (Čj. MO 342612/2019-8297).

Pro měření bylo použito lano, které je nejpoužívanější v AČR, Tendon static 10,5 mm vyhovující normě ČSN EN 1891:2000. Norma uvádí minimální statickou pevnost bez zakončení 22kN pro nízko průtažná lana s opláštěným jádrem skupiny A. Reálná statická pevnost, která je stanovena a uvedena výrobcem Lanex a.s. je ale 32 kN (viz Příloha 1), to nám také potvrdilo vstupní měření.

Toto lano je pleteno tandemovým typem a využívá se k tomu 48 paliček. Jádro lana je z polyamidu a je tvořeno z 8 přízí v zákrutu „S“ + 7 přízí v zákrutu „Z“ nebo 7 přízí v zákrutu „S“ + 8 přízí v zákrutu „Z“. Oplet lana je rovněž z polyamidu a zhotovují ho paličky ve směru „S“ při 24 cívkách po 1 přízi a paličky ve směru „Z“ také při 24 cívek po 1 přízi. Lano je vybaveno značící páskou Tendon typ A dle EN 1891 (viz Obrázek 16).



Obrázek 16 Značící páska

Dále byla použita pomocná šňůra Tendon Reep 6 mm, která má pevnost v přetrhu 7,2 kN dle normy ČSN EN 564: 2015, ale reálná pevnost v přetrhu uvedená výrobcem Lanex a.s. a potvrzená vstupním měřením je 10 kN (viz Příloha 2). Tato šňůra je pletena jednoduchým typem pletení, kdy je využito 24 paliček. Jádrem je z polyamidu a tvoří ho 2 příze v zákrutu „S“ + 3 příze v zákrutu „Z“ nebo 2 příze v zákrutu „S“ + 3 příze v zákrutu „Z“. Šňůra obsahuje barevnou přízi značící rok výroby. Oplet šňůry je též z polyamidu. Při pletení se využívá 12 paliček po 2 přízích ve směru „S“ i ve směru „Z“.

Test probíhal na vertikálním zkušebním zařízení pro stanovení pevnosti materiálů WPM ZDM 30/300kN (viz Obrázek 17). Je to strojní zařízení pro tahové, tlakové a ohybové zkoušky do 300kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Měření síly odpovídá směrnicím a normám DIN, ČSN, ISO a ASTM. Přípustná chyba měření síly, 1/100 jmenovitého rozsahu síly $\pm 1\%$, odpovídá třídě přesnosti 1. Měřicí rozsah zařízení je od 6 kN do 300 kN. Snímač síly je napojen na řídicí mikroprocesorovou jednotku EDC, kde je analogový signál ze snímače zesílen, filtrován a převeden na digitální údaj, který je dále zpracován jako údaj síly a zároveň slouží jako referenční hodnota pro samotnou elektronickou regulaci stroje. Vyhodnocení a ovládání zařízení je pomocí PC Software TIRAtest, který pracuje pod Microsoft Windows. Sídlo společnosti TIRA GmbH, která byla založena v roce 1947, je v Schalkau v Německu.



Obrázek 17 ZD 30

5.3 Design měření

A. Měření vstupních parametrů použitého materiálu

Pro ověření nominálních hodnot se změřila pevnost samotného lana i samotné pomocné Reep šňůry pomocí zkušebního zařízení. (viz Příloha 1 a 2)

B. Stanovení délky vzorků

Pro všechna měření byla určena jednotná délka lana 2 m, protože se jeho spotřeba při měření různých uzlů nijak nelišila. Stanovení délky Reep šňůry se lišilo podle typu měřeného uzlu a jeho nároku na materiál. Délka se stanovila tak, že byl navázán na zařízení zkušební vzorek s dostatečným přebytkem Reep šňůry, který byl poté změřen. Po rozvázání bylo dosaženo potřebné délky materiálu odstraněním přebytečné části lana tavným nožem, aby se zamezilo volnému posunu opletu či třepení. (viz Tabulka 1)

	Délka Reep šňůry
Dvojitý Prusíkův uzel	2,8 m
Trojité Prusíkův uzel	2,8 m
Blake	2,2 m
Distel	2,7 m
Vánočkový prusík	1,5 m

Tabulka 1 Délky Reep šňůry

C. Ukotvení lana

Lano a pomocná Reep šňůra byly navázány na zkušební stroj pomocí beznapětového kotvení, proto aby nepůsobilo na lano či Reep šňůru jiné snížení pevnosti. (viz Obrázek 14 a 18)

D. Navázání uzlu

Poté se na lano navázala Reep šňůra pomocí zvoleného samosvorného uzlu a její prameny se paralelně srovnaly. (viz kapitola 5.3.1)

E. Předpětí

Každý samosvorný uzel se pro standardizaci nejprve zatížil pětakilovým závažím, proto aby byly všechny uzly stejně dotažené a byly stejné podmínky pro měření. (Komorous, 2016)

F. Zbytek délky lana

Zbytek délky lana vedoucí ze samosvorného uzlu se pohyboval mezi 60-70 cm, aby se předešlo dosažení konce lana samosvorným uzlem.

G. Počet testů

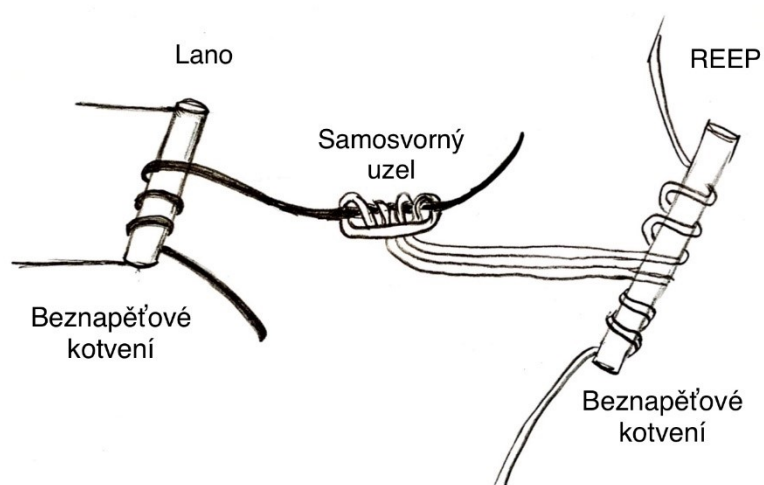
Všechny typy vybraných uzlů byly podrobeny testu 10x (Evans, 2016).

H. Zaznamenání hodnot

Naměřené hodnoty se zaznamenaly do připravené tabulky.

I. Uschování materiálu

Jednotlivé vzorky se po naměření dat označily a uschovaly.



Obrázek 18 Schéma testování

5.3.1 Postupy vázání uzlů

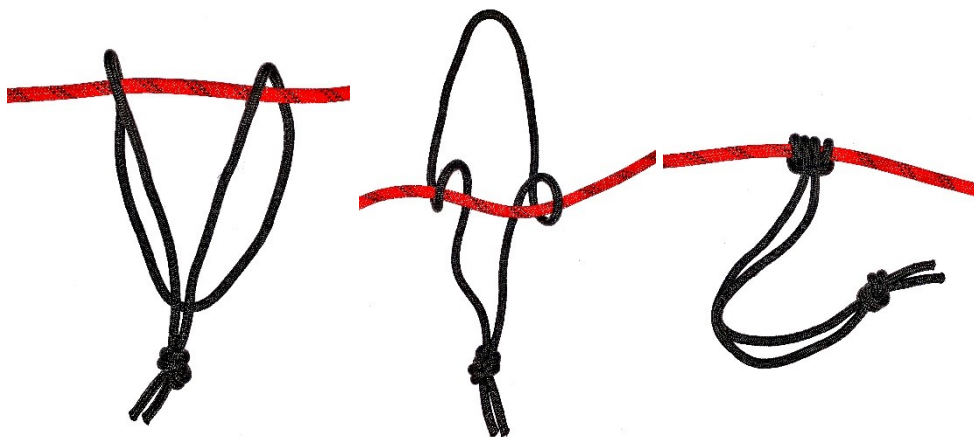
V literatuře se objevují různé postupy pro správné uvázání uzlů. Proto bylo rozhodnuto vytvořit vlastní postupy doplněné fotodokumentací dle literatury.

Samosvorné uzly dvojitý, trojitý prusík a Vánočkový prusík se vážou z kulaté Reep šňůry spojené do smyčky pomocí stejnosměrného vůdcovského uzlu. Blake a Distel vážeme z volné Reep šňůry.

Dvojitý a trojitý Prusíkův uzel

1. vytvoříme ohyb na uzavřené smyčce, položíme ho na lano a překlápíme dozadu za lano
2. pevnou část smyčky provlékneme volným ohybem
3. volný ohyb zatáhneme nahoru a znovu ho zepředu otočíme kolem lana
4. opět provlékneme volný konec ohybem (u trojitého provlékneme ještě potřetí), uzel dotáhneme a srovnáme prameny
5. volný konec lana nad uzlem a volný konec pomocné Reep šňůry připevníme beznapěťovým kotvením ke zkušebnímu zařízení

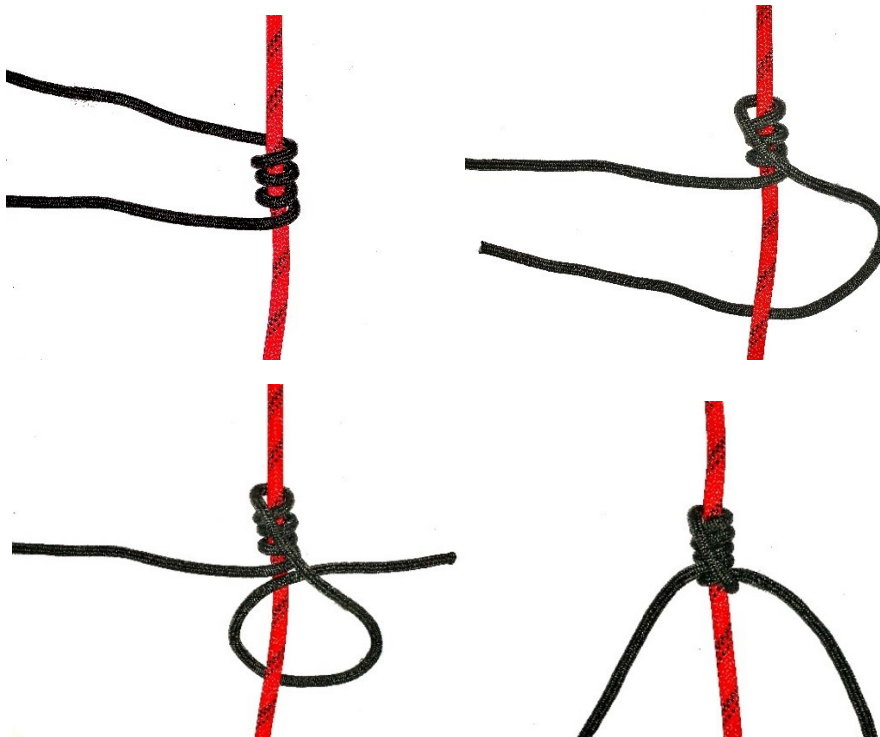
(viz Obrázek 19)



Obrázek 19 Postup vázání dvojitého Prusíkova uzlu

Uzel Distel

1. Položíme pomocnou Reep šňůru pod lano a jeden z volných konců ohneme dopředu přes lano
2. Druhým volným koncem vytvoříme tři závitů směrem nahoru kolem lana
3. Stejný volný konec ohneme směrem dolů přes závitů a provlékneme pod lanem na stejnou stranu jako je první volný konec
4. Druhý volný konec provlékneme přes lano do vzniklého oka
5. Uzel dotáhneme a srovnáme prameny
6. Volný konec lana nad uzlem a oba volné konce pomocné Reep šňůry připevníme beznapěťovým kotvením ke zkušebnímu zařízení
7. (viz Obrázek 20)

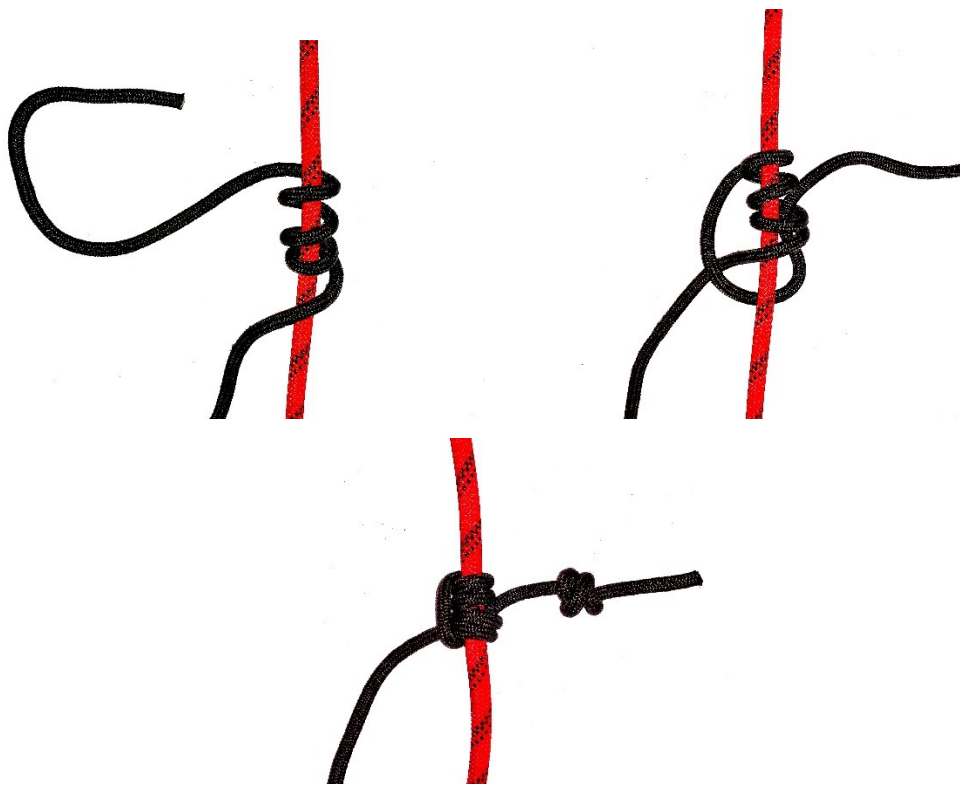


Obrázek 20 Postup vázání Distelova uzlu

Uzel Blake

1. Vytvoříme čtyři závity volným koncem pomocné Reep šňůry směrem vzhůru kolem lana
2. Volný konec provlékneme spodem dvěma dolními závity po lanem
3. Uzel dotáhneme, srovnáme prameny a na volném konci vytvoříme pojišťovací uzel dvojitého rybáře
4. Volný konec lana nad uzlem a volný konec pomocné Reep šňůry připevníme beznapěťovým kotvením ke zkušebnímu zařízení

(viz Obrázek 21)



Obrázek 21 Postup vázání Blakeova uzlu

Vánočkový prusík

1. Vytvoříme ohyb ve středu smyčky a vložíme do něj lano
2. Oba konce vedeme kolem lana v opačných spirálách a křížíme je
3. Překřížíme minimálně čtyřikrát a střídáme horní a dolní křížení
4. Volný ohyb a konec spojený vůdcovským uzlem spojíme karabinou
5. Volný konec lana nad uzlem připevníme beznapěťovým kotvením ke zkušebnímu stroji. Karabinu s prameny Reep šňůry připevníme taktéž ke zkušebnímu zařízení.

(viz Obrázek 22)

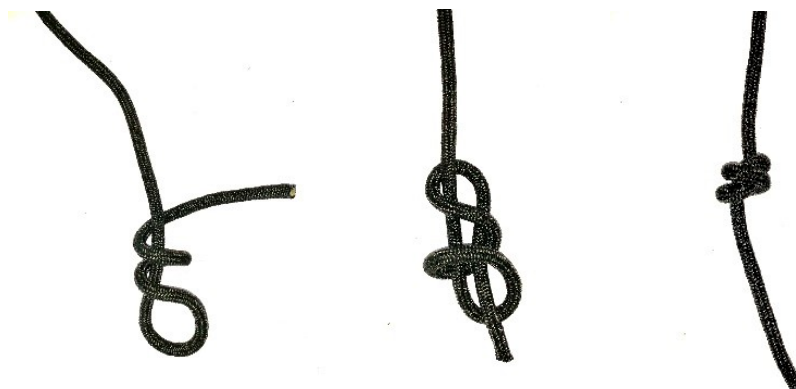


Obrázek 22 Postup vázání Vánočkového prusíku

Dvojitý rybářský uzel

1. Vytvoříme ohyb ve středu šňůry a volným koncem dvakrát obmotáme pramen šňůry
2. Volný konec provlékneme vzniklými zavity
3. Uzel dotáhneme

(viz Obrázek 23)



Obrázek 23 Postup vázání dvojitého rybářského uzlu

5.3.2 Popis měřených hodnot zkoušky

- První prokluz (kN)

Jako první prokluz byl považován ten, u kterého hodnota klesne o 0,8 kN a více. Tato hodnota je určena dle normovaného lezce 80 kg = 0,8 kN dle normy ČSN EN 892.

- Celková délka prokluzu (cm)

Délka prokluzu uzlu byla měřena podle délky natavené části lana svinovacím metrem vždy po skončení pokusu.

- Maximální pevnost (kN)

Jako maximální pevnost byla považována nejvyšší naměřená hodnota systému.

- Nominální pevnost (% a kN)

Nominální pevnost byla vypočtena z průměrných hodnot maximálních pevností jednotlivých uzlů. Jako nominální pevnost, tedy 100 %, byla považována minimální pevnost 10 kN jednoho pramene pomocné Reep šňůry. Uzly vybrané pro tuto práci se vážou z různých počtů pramenů Reep šňůry, proto se u některých hodnota 100% lišila. (viz Tabulka 2)

	Počet pramenů	100 %
Dvojitý Prusíkův uzel	2	20 kN
Trojité Prusíkův uzel	2	20 kN
Blake	1	10 kN
Distel	2	20 kN
Vánočkový prusík	4	40 kN

Tabulka 2 Hodnota 100 % nominální pevnosti samosvorného uzlu

- Selhání (%)

Selhání se určilo z celkového počtu 47 pokusů. Byl vypočten procentuální podíl pokusů, kdy selhala jako první pomocná Reep šňůra nebo lano či k selhání vůbec nedošlo.

- Analýza dat

Pro statistické zpracování výsledků byla použita jednofaktorová analýza rozptylu (one-way ANOVA) a následně v post hoc analýze proveden multikomparativní Tukeyho test.

5.4 Rozsah platnosti

- Omezení:

Rozsah výzkumného souboru byl limitován počtem měření, tedy deseti pokusy na každý uzel.

- Vymezení:

Výsledky této práce se nedají zobecnit na všechna lana a pomocné Reep šňůry. Jsou platné pouze pro zkoumaný vzorek vybraných lan a pomocných Reep šňůr. (viz kapitola 5.2).

6 VÝSLEDKY

V této části práce jsou vyhodnoceny a porovnány naměřené hodnoty pevnosti jednotlivých samosvorných uzlů. Každý z vybraných uzlů, a to dvojitý a trojitý Prusíkův uzel, Blake a Distel byly změřeny desetkrát. Vánočkový prusík bylo možné změřit pouze sedmkrát, protože při osmém měření praskla karabina, bez které v měření nebylo možné pokračovat.

Výsledky byly vyhodnoceny deskriptivní statistikou, byl spočítán procentuální pokles nominální pevnosti a spočítán procentuální podíl pokusů, kdy jako první selhala pomocná Reep šňůra nebo lano či k selhání vůbec nedošlo.

Ze všech 47 pokusů bylo vybráno 5 (jeden od každého uzlu), u kterých byl popsán průběh zatěžování uzlu prostřednictvím grafu. Grafy zbylých pokusů jednotlivých uzlů jsou obdobné. Naměřené časové hodnoty jsou zaokrouhleny na celé sekundy, silové na desetiny kN a vzdálenostní na celé centimetry.

Jako první prokluz je považován ten, u kterého hodnota klesne o 0,8 kN a více. Tato hodnota je určena dle normovaného lezce $80 \text{ kg} = 0,8 \text{ kN}$ normou ČSN EN 892. Podle parametrů lana, které nám vstupní měření potvrdilo byla reálná minimální statická pevnost 32 kN. U pomocné Reep šňůry byla minimální pevnost 10 kN.

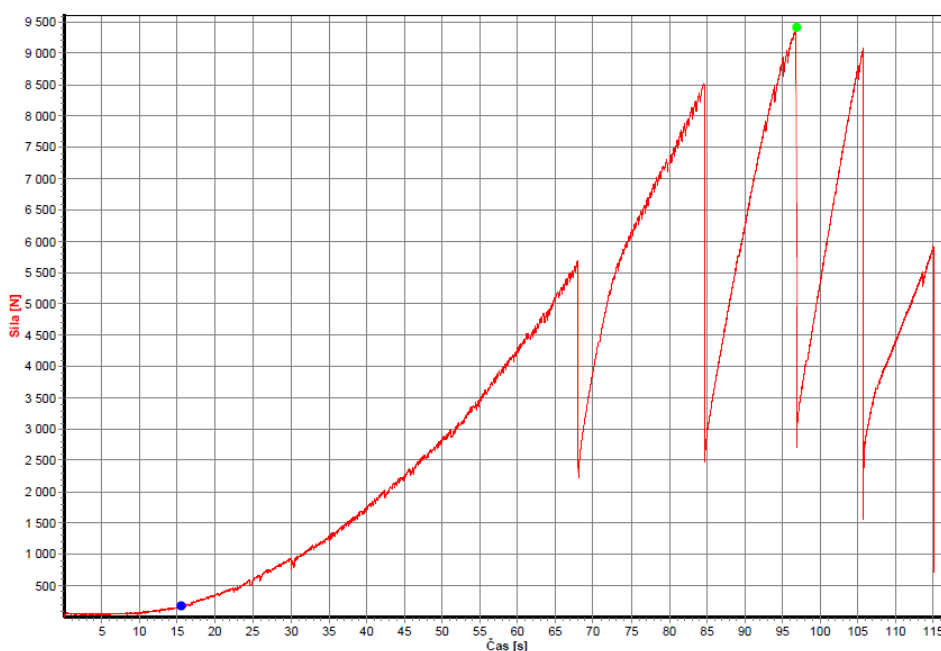
Zjištěné výsledky jsou zpracované do tabulek, ve kterých je možné vidět jednotlivé hodnoty pevnosti, při které samosvorné uzly poprvé proklouzly a v jakém čase. Dále je zaznamenána maximální naměřená hodnota pevnosti a v jakém čase byla dosažena. Následně jsou zde popsány grafy znázorňující dynamiku zatěžování samosvorných uzlů a grafy porovnávající jednotlivé samosvorné uzly mezi sebou. Jako poslední je graf zobrazující procentuální porovnání bodů, ve kterých došlo k selhání systému (lano a Reep šňůra).

Pro statistické zpracování výsledků byla použita jednofaktorová analýza rozptylu (one-way ANOVA) a následně v post hoc analýze proveden multikomparativní Tukeyho test.

6.1 Dvojitý Prusíkův uzel

Měření zobrazené Grafem 1 nejlépe ilustruje obecné chování tohoto uzlu při statickém zatížení.

Při všech deseti měření docházelo ke značnému a častému prokluzování uzlu po laně což je patrné i z Grafu 1, který zobrazuje měření č. 3. První pokles hodnoty v Grafu 1 zobrazuje první prokluz samosvorného uzlu po laně v 68 s při hodnotě 5,7 kN. Hodnota klesla okamžitě na 2,2 kN a pak se opět začala zvyšovat po dobu 22 s až na 8,5 kN, kde uzel znovu proklouzl na 2,5 kN. Poté se hodnota po dobu 12 s zvyšovala až na maximální naměřenou pevnost 9,4 kN, kde uzel znovu proklouzl. Nakonec při 5,9 kN ve 115 s se uzel přepálil a tím pádem selhala Reep šňůra. Z grafu je tedy zřejmé, že dvojitý Prusíkův uzel značně prokluzuje. (viz Graf 1)



Graf 1 Dvojitý Prusíkův uzel pokus č. 3

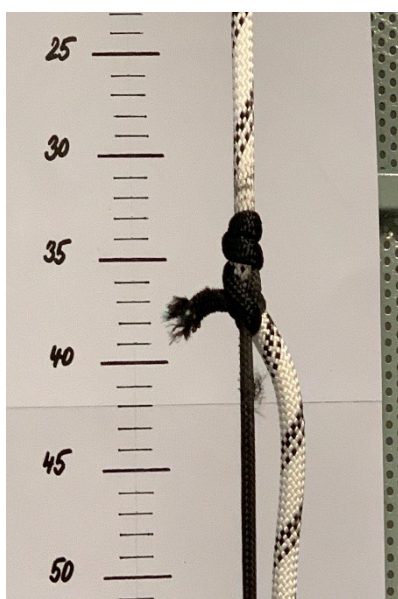
Tabulka 3 mimo jiné ukazuje, že délka prokluzu se pohybovala mezi 12 a 25 cm. Při pokusu č. 8 byla naměřena nejvyšší hodnota prvního prokluzu při zatížení 7,0 kN i maximální naměřená pevnost 12,2 kN. Při pokusech č. 3 a 5 jsme dosáhli nejnižší maximální pevnosti, která byla 9,4 kN. V obou těchto pokusech došlo k přetavení pomocné Reep šňůry v uzlu. Průměrná hodnota prvního prokluzu byla 4,8 kN a průměrná

maximální pevnost byla 10,9 kN. Průměrná hodnota poklesu nominální pevnosti samosvorného systému s použitím dvojitého Prusíkova uzlu byla 45 %, což znamená 9,1 kN. Nejvyšší pokles hodnoty nominální pevnosti byl 53 % což představuje 10,6 kN, zatímco nejnižší hodnota byla 38 % což je 7,8 kN. (viz Tabulka 3)

Pokus č.	První prokluz		Maximální pevnost		Délka prokluzu cm	Nominální Pokles	
	kN	s	kN	s		%	kN
1	4,2	46	11,6	97	20	42	8,4
2	3,8	52	11,8	118	25	41	8,2
3	5,7	68	9,4	97	17	53	10,6
4	3,1	41	11,9	96	18	41	8,1
5	5,4	61	9,4	92	14	53	10,6
6	6,3	72	10,9	103	17	46	9,1
7	5,0	28	10,4	61	16	48	9,6
8	7,0	71	12,2	102	13	39	7,8
9	3,5	43	11,2	95	16	44	8,8
10	3,8	48	10,6	87	12	47	9,4
Průměr	4,8	53	10,9	95	17	45	9,1
Max.	7,0	72	12,2	118	25	53	10,6
Min.	3,1	28	9,4	61	12	39	7,8
SD	1,3	15	1,0	14	4	5	1,0

Tabulka 3 Výsledky dvojitého Prusíkova uzlu

V devíti případech se uzel působením tepla přetavil a selhal (viz Obrázek 24). Při pokusu č. 8 byl samosvorný pouze nataven a selhal oplet lana, který těsně nad samosvorným uzlem praskl (viz Obrázek 25).



Obrázek 24 Selhání dvojitého Prusíkova uzlu

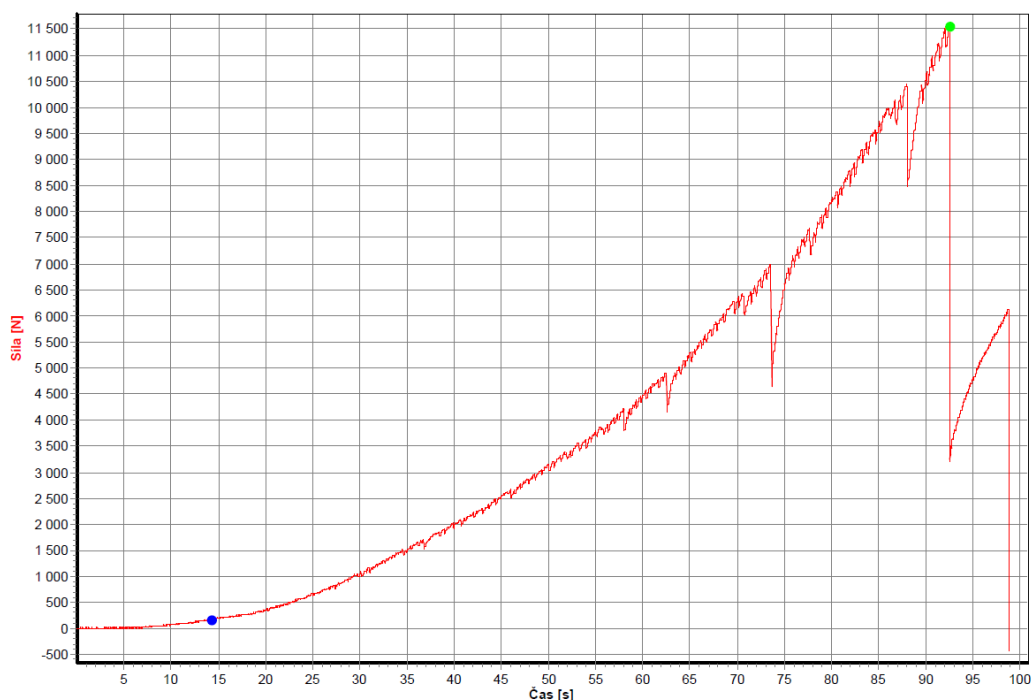


Obrázek 25 Selhání opletu lana při měření dvojitého Prusíkova uzlu

6.2 Trojitý Prusíkův uzel

Hodnoty obsažené v Grafu 2 nejlépe ilustrují obecné chování trojitého Prusíkova uzlu při statickém zatížení.

Tento graf, z pokusu č. 3, zobrazuje plynulý nárůst zatížení na uzel s menšími prokluzy, kde první prokluz byl v 63 s při zatížení 4,9 kN a klesl pouze o 0,8 kN. Pak hodnota narůstala 10 s až do 7,0 kN, kde uzel podruhé proklouzl. Třetí prokluz byl v 88 s při zatížení 10,5 kN. V 93 s dosáhl uzel své maximální pevnosti 11,6 kN, kdy v důsledku natavení předchozími prokluzy se jeden z pramenů šňůry pod mostem trojitého Prusíkova uzlu přetrhl (viz Obrázek 24). Poté uzel naposledy před úplným selháním proklouzl. Tento prokluz byl největší a to až na hodnotu 3,2 kN. Pak uzel vydržel pouze 6 s a při zatížení 6,1 kN se přetrhl i druhý pramen Reep šňůry. (viz Graf 2)



Graf 2 Trojitý Prusíkův uzel pokus č. 3

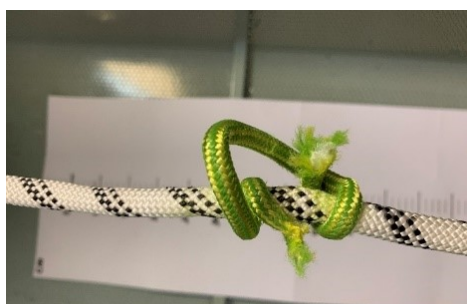
Tabulka 4 ukazuje, že u trojitého Prusíkova uzlu docházelo k prokluzování průměrně o 3 cm. Prokluzoval poměrně o krátkou vzdálenost. Prokluzování způsobovalo pouze malé natavení samosvorného uzlu a lana, které ale vedlo k poškození pomocné šňůry a následně její prasknutí. K prvnímu prokluzu docházelo průměrně v 72 s při

průměrné hodnotě 6,1 kN. Maximální pevnost dosáhla nejvyšší hodnoty 14,0 kN v čase 96 s při pokusu č. 9 a naopak minimální hodnoty 9,6 kN dosáhla při pokusu č. 6 v 87 s. Průměrně stoupalo maximální zatížení k hodnotě 12,0 kN. Průměrná hodnota poklesu nominální pevnosti samosvorného systému s použitím trojitého Prusíkova uzlu byla 40 %, tedy 8,0 kN. Nevyšší pokles nominální pevnosti systému byl 52 % což je 10,4 kN a došlo k němu při pokusu č. 6. Nejnižší hodnota nominálního poklesu byla 30 %, představující 6,0 kN byla dosažena při pokusu č. 9. (viz Tabulka 4)

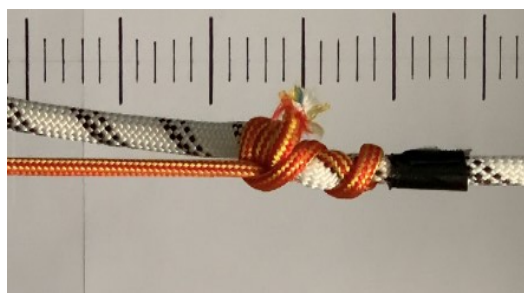
Pokus č.	První prokluz		Maximální pevnost		Délka prokluzu cm	Nominální pokles	
	kN	s	kN	s		%	kN
1	6,1	69	11,2	90	2	44	8,8
2	6,3	68	12,5	96	4	38	7,5
3	4,9	63	11,6	93	2	42	8,4
4	8,2	76	11,8	92	3	41	8,2
5	4,5	66	11,6	100	4	42	8,4
6	7,2	76	9,6	87	2	52	10,4
7	6,5	67	12,8	92	3	36	7,2
8	5,0	72	12,9	98	3	36	7,1
9	5,7	78	14,0	96	2	30	6,0
10	6,7	86	12,0	96	2	40	8,0
Průměr	6,1	72	12,0	94	3	40	8,0
Max.	8,2	86	14,0	100	4	52	10,4
Min.	4,5	63	9,6	87	2	30	6,0
SD	1,1	7	1,2	4	1	6	1,2

Tabulka 4 Výsledky trojitého Prusíkova uzlu

V sedmi z deseti pokusů selhaly oba prameny najednou (viz Obrázek 26). Během pokusu č. 1, 3 a 8, při dosažení maximálního zatížení, selhal pouze jeden pramen pomocné šňůry. Zpravidla došlo k přetržení pod mostem samosvorného uzlu (viz Obrázek 27). Po přetržení jednoho z pramenů uzly proklouzly a po opětovném nárůstu zatížení praskl i druhý pramen šňůry.



Obrázek 26 Selhání obou pramenů trojitého Prusíkova uzlu

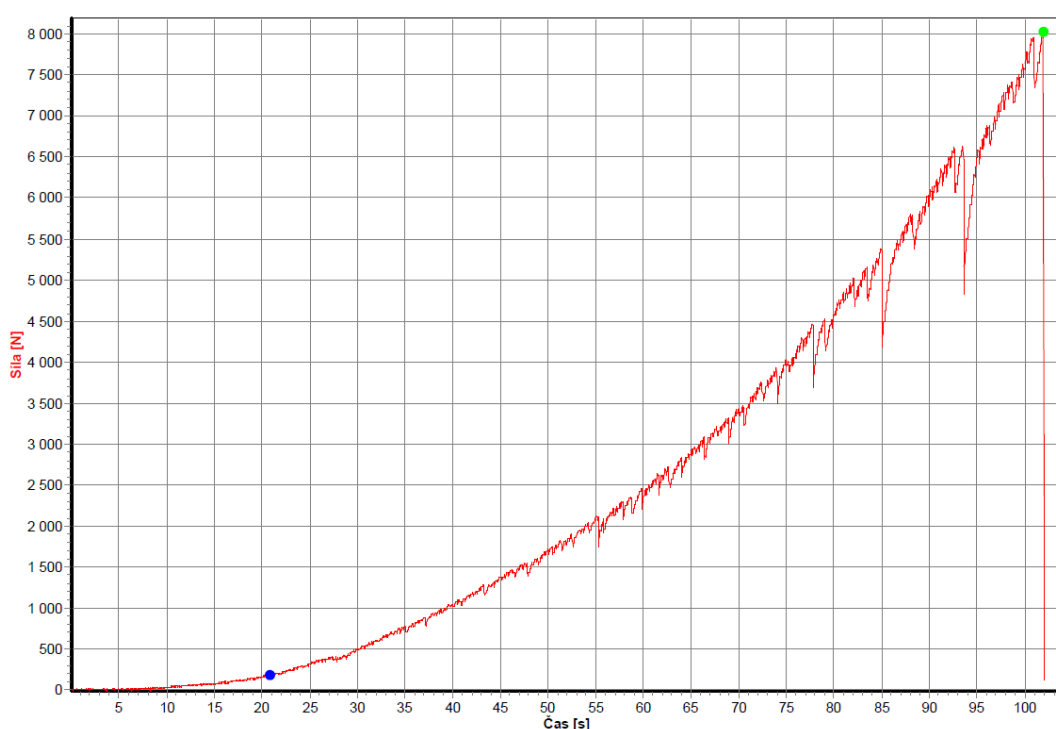


Obrázek 27 Selhání jednoho pramene trojitého Prusíkova uzlu

6.3 Uzel Blake

Hodnoty Grafu 3 nejlépe vystihují obecné chování Blakeova uzlu při statickém zatížení.

Z pokusu č. 4 zobrazeného na grafu níže je patrné, že nárůst zatížení na uzel Blake je bez výraznějších poklesů hodnot zatížení. Uzel se při tomto pokusu zatěžoval plynule až do úplného selhání. Poklesy zatížení u tohoto uzlu neznázorňují prokluz uzlu po laně, ale pouze dotahování uzlu a průtažnost lana a šňůry. Maximální pevnost uzlu byla při tomto pokusu 8,0 kN v čase 102 s. (viz Graf 3)



Graf 3 Blakeův uzel pokus č. 4

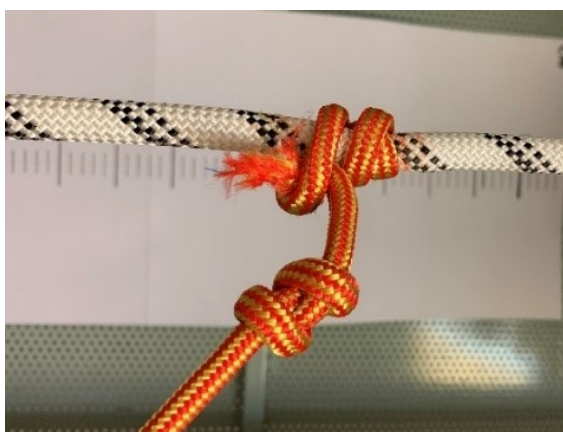
V Tabulce 5 je zobrazena délka prokluzů u Blakeova uzlu, která byla v 8 případech nulová. Pouze dvakrát uzel proklouzl po laně, ale jen o 1 cm. Průměrný čas, kdy docházelo k naměření maximální pevnosti, je 97 s při průměrné hodnotě zatížení 8,6 kN. Nejvyšší naměřená maximální pevnost byla 9,4 kN a byla v čase 108 s během pokusu č. 8. Naopak nejnižší maximální pevnost byla 8,0 kN, která byla naměřena při dosažení 102 s při pokusu č. 4. K prvnímu prokluzu Blakeova uzlu po laně docházelo průměrně při hodnotě 5,0 kN a v průměrném čase 84 s. Průměrná hodnota poklesu nominální pevnosti

samosvorného systému s použitím Blakeova uzlu byla 14 %, což znamená 1,4 kN. Nevyšší pokles nominální pevnosti systému byl 20 %, což jsou 2,0 kN a došlo k němu při pokusu č. 4. Nejnižší hodnota nominálního poklesu byla 6 %, ta představuje 0,6 kN a byla dosažena při pokusu č. 8. (viz Tabulka 5)

Pokus č.	První prokluz		Maximální pevnost		Délka Prokluzu cm	Nominální pokles	
	kN	s	kN	s		%	kN
1	5,7	82	9,3	103	1	7	0,7
2	6,3	79	8,3	92	0	17	1,7
3	4,5	74	8,1	90	0	19	1,9
4	5,4	85	8,0	102	0	20	2,0
5	4,1	85	8,4	113	1	16	1,6
6	5,1	77	8,1	97	0	19	1,9
7	5,6	133	8,4	53	0	16	1,6
8	4,7	76	9,4	108	0	6	0,6
9	4,9	78	8,7	104	0	13	1,3
10	4,1	73	8,9	106	0	11	1,1
Průměr	5,0	84	8,6	97	0	14	1,4
Max.	6,3	133	9,4	113	1	20	2,0
Min.	4,1	73	8,0	53	0	6	0,6
SD	0,7	18	0,5	17	0	5	0,5

Tabulka 5 Výsledky Blakeova uzlu

Při všech 10 měřeních praskla Reep šňůra v uzlu v místě posledního závitů kolem lana (viz Obrázek 28). Bylo to v důsledku natavení Reep šňůry vznikem tepla při tření, které vznikalo zatahováním uzlu.

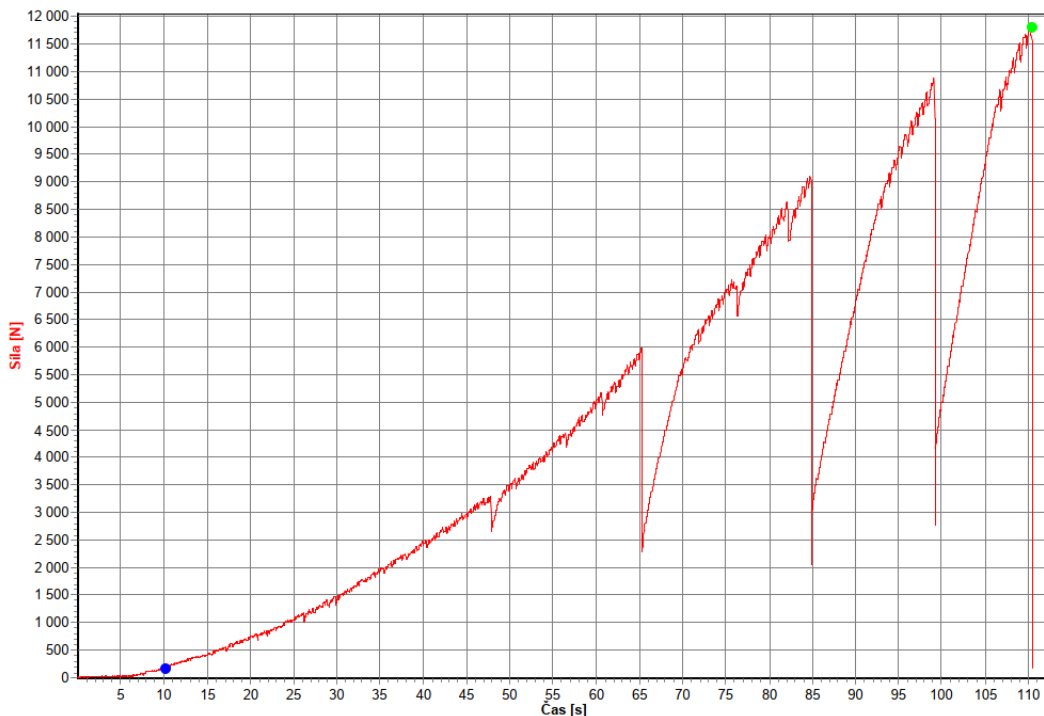


Obrázek 28 Selhání Blakeova uzlu

6.4 Distel

Obecné chování při statickém zatížení u Distelova uzlu nejlépe ilustrují dosažené hodnoty v Grafu 4.

Z tohoto grafu, z pokusu č. 2, je zřejmé, že došlo celkem ke třem velkým prokluzům uzlu po laně, kde první prokluz byl při hodnotě 6,0 kN v čase 65 s. Druhý prokluz následoval po 20 s na hodnotě 9,1 kN. Poslední prokluz byl v 99 s při hodnotě zatížení 10,9 kN. Selhání samosvorného uzlu bylo zároveň při dosažení hodnoty maximální pevnosti 11,8 kN v čase 110 s. Z grafu je zřejmé, že Distel značně prokluzuje. Důsledkem toho dochází ke tření, které způsobí přepálení či poškození pomocné Reep šňůry či lana. (viz Graf 4)



Graf 4 Distel pokus č. 2

V Tabulce 6 jsou zobrazeny výsledky z měření pevnosti samosvorného uzlu Distel. Uzel průměrně prokluzoval v 60 s při dosažení hodnoty 5,1 kN. Vzdálenost prokluzu se pohybovala průměrně okolo 21 cm. Průměrná hodnota maximální pevnosti byla 12,7 kN. Nejvyšší naměřená hodnota maximální pevnosti 13,5 kN v čase 118 s byla naměřena při pokusu č. 6. Nejnižší hodnota maximální pevnosti 11,8 kN byla naměřena

při pokusu č. 8 v čase 110 s. Průměrná hodnota poklesu nominální pevnosti samosvorného systému s použitím Distelova uzlu byla 36 %, což znamená 7,3 kN. Nevyšší pokles nominální pevnosti systému byl 41 % což je 8,2 kN a došlo k němu při pokusu č. 8. Nejnižší hodnota nominálního poklesu byla 33 %, což představuje 6,5 kN. Byla dosažena při pokusu č. 6. (viz Tabulka 6)

Pokus č.	První prokluz		Maximální pevnost		Délka Prokluzu cm	Nominální pokles	
	kN	s	kN	s		%	kN
1	5,0	62	13,2	110	17	34	6,8
2	6,0	65	11,8	110	17	41	8,2
3	5,1	64	12,1	118	18	40	7,9
4	4,8	57	13,0	111	18	35	7,0
5	5,1	72	12,3	130	25	39	7,7
6	5,9	68	13,5	118	30	33	6,5
7	4,9	66	13,2	121	19	34	6,8
8	5,1	59	11,8	110	22	41	8,2
9	4,7	57	13,2	103	18	34	6,8
10	4,8	27	13,3	100	21	34	6,7
Průměr	5,1	60	12,7	113	21	36	7,3
Max.	6,0	72	13,5	130	30	41	8,2
Min.	4,7	27	11,8	100	17	33	6,5
SD	0,5	12	0,7	9	4	3	0,7

Tabulka 6 Výsledky Distelova uzlu

Při pokusu č. 6 nedošlo k selhání, protože zkušební zařízení dosáhlo svého maximálního rozsahu a pokus byl ukončen. K přepálení pomocné Reep šňůry docházelo vlivem tepla vzniklého poměrně velkým prokluzováním uzlu po laně. Část šňůry zůstala většinou přitavena k lanu (viz Obrázek 29).

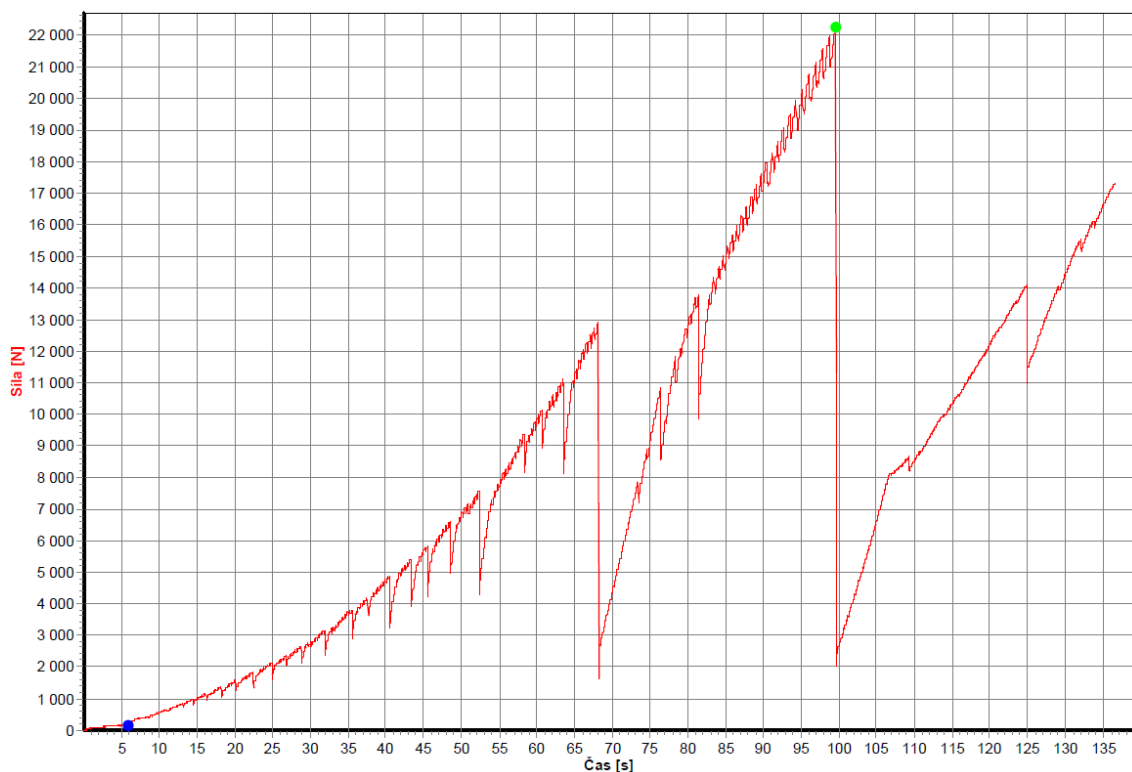


Obrázek 29 Přitavení Reep šňůry k lanu

6.5 Vánočkový prusík

Měření zobrazené Grafem 5 nejlépe vystihuje obecné chování systému s využitím Vánočkového prusíku při statickém zatížení.

U pokusu č. 1 docházelo k četným poklesům zatížení způsobených prokluzu samosvorného uzlu po laně. První prokluz byl po 41 s při hodnotě zatížení 4,9 kN. Poté následovalo několik menších poklesů zatížení. V čase 68 s při hodnotě 13,0 kN došlo k výraznějšímu poklesu zatížení až na 1,3 kN. Po dosažení maximální pevnosti 22,3 kN ve 100 s následoval poslední prokluz a měření bylo ukončeno z důvodu dosažení maximálního rozsahu délky zkušebního zařízení. (viz Graf 5)



Graf 5 Vánočkový prusík pokus č. 1

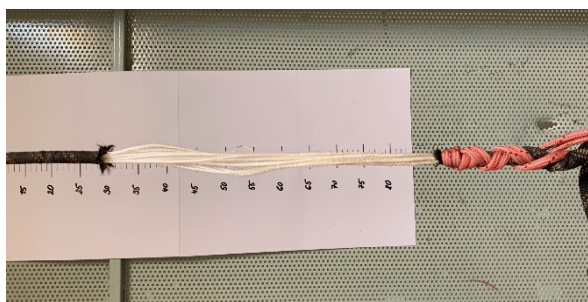
V Tabulce 7 jsou uvedeny výsledky z měření statické pevnosti samosvorného uzlu Vánočkový prusík. Černě vyplněná pole představují pokusy, které nebylo možné provést (viz kapitola č. 6). Délka prokluzu se průměrně pohybovala kolem 18 cm. Průměrná hodnota 6,6 kN, při které docházelo k prvnímu prokluzu byla naměřena v průměrném čase 57 s. Maximální pevnosti bylo průměrně dosaženo po 119 s při hodnotě 20,4 kN.

Nejnižší maximální pevnost 16,5 kN byla naměřena při pokusu č. 4 v čase 119 s. Průměrná hodnota poklesu nominální pevnosti samosvorného systému s použitím Vánočkového prusíku byla 49 %, což znamená 19,6 kN. Nevyšší pokles nominální pevnosti systému byl 59 %, což je 23,5 kN a došlo k němu při pokusu č. 4. Nejnižší hodnota nominálního poklesu byla dosažena při pokusu č. 6. Pokles nominální pevnosti systému byl 42 %, což představuje 16,8 kN. (viz Tabulka 7)

Prokluzování samosvorného uzlu po laně způsobovalo poškození opletu lana, při pokusu č. 3 a 6 došlo k natavení a prasknutí opletu (viz Obrázek 30).

Pokus č.	První prokluz		Maximální pevnost		Délka Prokluzu cm	Nominální pokles	
	kN	s	kN	s		%	kN
1	4,9	41	22,3	100	19	44	17,7
2	5,1	48	18,0	110	9	55	22,0
3	4,0	44	19,8	122	33	51	20,2
4	5,0	53	16,5	119	16	59	23,5
5	9,2	72	20,8	105	15	48	19,2
6	6,3	69	23,2	142	17	42	16,8
7	12,0	74	21,9	138	15	45	18,1
8							
9							
10							
průměr	6,6	57	20,4	119	18	49	19,6
Max.	12,0	74	23,2	142	33	59	23,5
Min.	4,0	41	16,5	100	9	42	16,8
SD	2,9	14	2,4	16	7	6	2,4

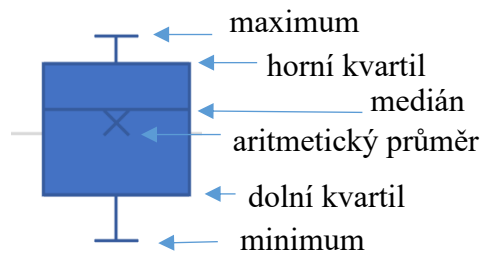
Tabulka 7 Výsledky Vánočkového prusíku



Obrázek 30 Selhání opletu lana při měření Vánočkového prusíku

6.6 Vyhodnocení

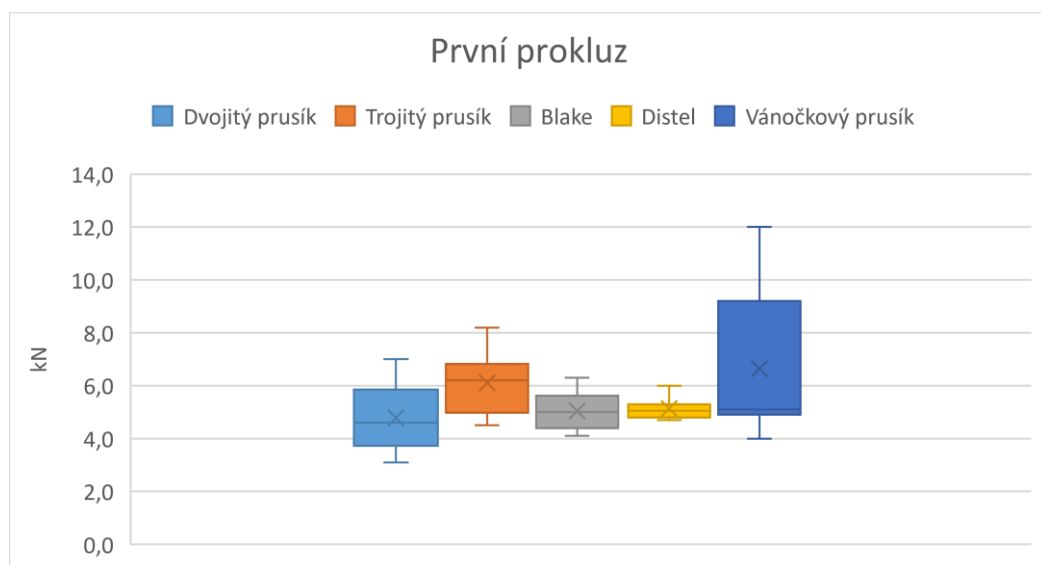
V této kapitole jsou porovnány jednotlivé samosvorné uzly mezi sebou. V grafech jsou uvedeny jednotlivé naměřené hodnoty a srovnány s ostatními samosvornými uzly, které byly vybrány pro měření. Pro porovnání jsou zvoleny grafy typu boxplot, ve kterých je zobrazen aritmetický průměr hodnot, medián, horní a dolní kvartil, maximum a minimum (viz Obrázek 31). Při porovnání prvního prokluzu, délky prokluzu a maximální pevnosti byl na základě one-way ANOVA nalezen signifikantní rozdíl mezi hodnotami jednotlivých samosvorných uzlů v jednotlivých měřeních ($F =$, $p < 0.001$).



Obrázek 31 Legenda grafu boxplot

6.6.1 První prokluz

Graf 6 zobrazuje srovnání hodnot, ve kterých docházelo k prvním prokluzům jednotlivých uzlů. Jako první prokluz je považován ten, u kterého hodnota klesne o 0,8 kN a více. Tato hodnota je určena dle normovaného lezce 80 kg = 0,8 kN dle normy ČSN EN 892. Nejvyšší průměrná hodnota, kdy došlo k prvnímu prokluzu byla naměřena u Vánočkového prusíku, a to 6,6 kN. Nejnižší průměrné hodnoty 4,8 kN prvního prokluzu dosahoval dvojitý Prusíkův uzel.



Graf 6 První prokluz

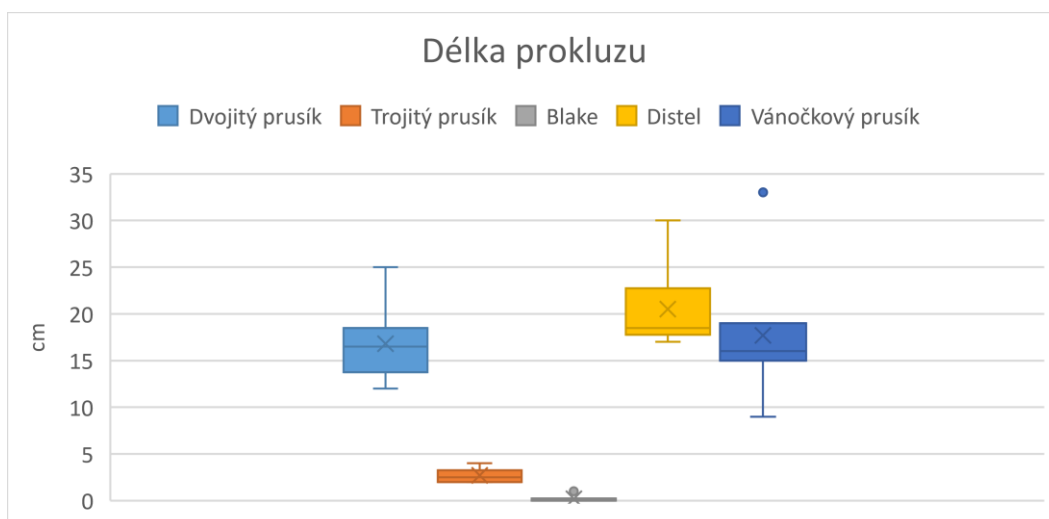
Hodnota prvního prokluzu Vánočkového prusíku byla vyšší o 1,9 kN než u dvojitého Prusíkova uzlu ($p > 0,05$), o 0,5 kN oproti trojitému Prusíkovu uzlu ($p > 0,05$) o 1,6 kN vyšší než u uzlu Blake ($p > 0,05$) a o 1,5 kN vyšší než u uzlu Distel ($p > 0,05$). Žádné rozdíly mezi hodnotami prvních prokluzů nejsou statisticky významné. (viz Tabulka 8)

	Rozdíl (kN)	Standartní chyba	p-hodnota
Vánočkový p. - Dvojitý p.	1,9	0,696	0,074
Vánočkový p. - Trojitý p.	0,5	0,696	0,939
Vánočkový p. - Blake	1,6	0,696	0,163
Vánočkový p. - Distel	1,5	0,696	0,214
Dvojitý p. – Trojitý p.	-1,3	0,631	0,236
Dvojitý p. - Blake	-0,3	0,631	0,994
Dvojitý p. - Distel	-0,4	0,631	0,979
Trojitý p. - Blake	1,1	0,631	0,447
Trojitý p. - Distel	1,0	0,631	0,545
Distel - Blake	0,1	0,631	1,000

Tabulka 8 statistická významnost prvního prokluzu
 *** $p < 0.001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0.05$

6.6.2 Délka prokluzu

Graf 7 zobrazuje porovnání délek prokluzů jednotlivých samosvorných uzlů po laně. Nejvyšší průměrné délky prokluzu dosahoval Distel, a to 21 cm. Naopak nejnižší délka prokluzu byla naměřena u uzlu Blake, kde prokluzu nedosahoval průměrně ani 1 cm.



Graf 7 Délka prokluzu

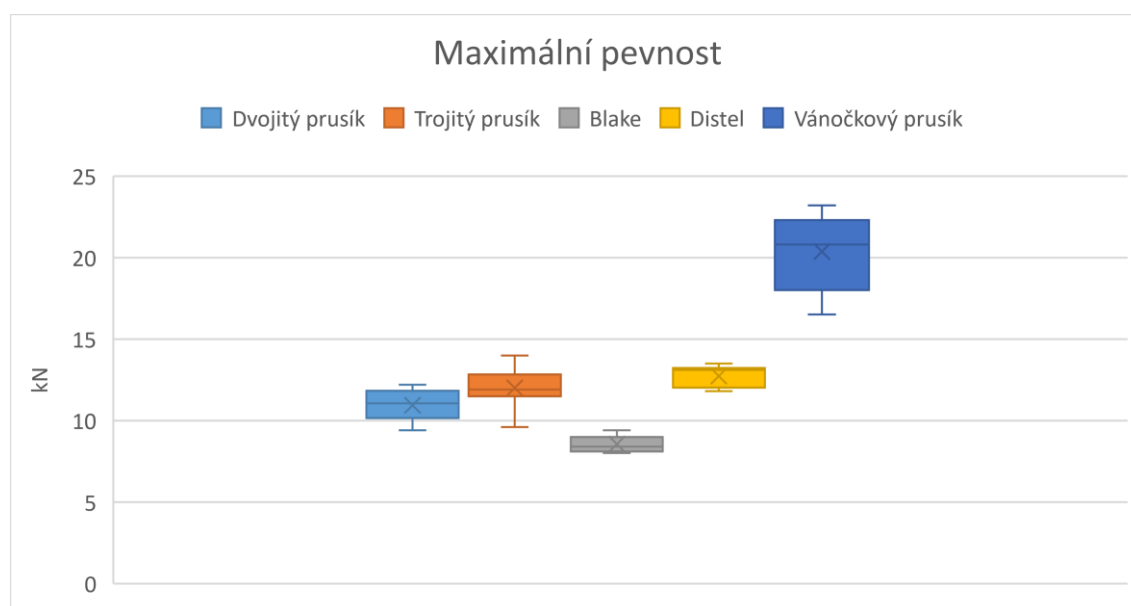
Hodnota délky prokluzu Distelova uzlu byla vyšší o 3 cm vyšší než u Vánočkového prusíku ($p > 0,05$), o 4 cm vyšší než dvojitý Prusíkův uzel ($p > 0,05$), o 18 cm vyšší oproti trojitému Prusíkovu uzlu ($p < 0,001$) a o 20 cm vyšší než uzel Blake ($p < 0,001$). Statisticky významné rozdíly jsou zobrazeny v Tabulce 9.

	Rozdíl (cm)	standartní chyba	p-hodnota
Vánočkový p. - Dvojitý p.	1	1,895	0,989
Vánočkový p. - Trojitý p.	15	1,895	< 0,000 ***
Vánočkový p. - Blake	18	1,895	< 0,000 ***
Vánočkový p. - Distel	-3	1,895	0,586
Dvojitý p. - Trojitý p.	14	1,720	< 0,000 ***
Dvojitý p. - Blake	17	1,720	< 0,000 ***
Dvojitý p. - Distel	-4	1,720	0,218
Trojitý p. - Blake	3	1,720	0,597
Trojitý p. - Distel	-18	1,720	< 0,000 ***
Distel - Blake	20	1,720	< 0,000 ***

Tabulka 9 statistická významnost délky prokluzu
 *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$

6.6.3 Maximální pevnost

Graf 8 zobrazuje porovnání maximálních pevností jednotlivých samosvorných uzlů. Nejvyšší naměřené průměrné hodnoty maximální pevnosti 20,4 kN dosáhl Vánočkový prusík. Naopak nejnižší maximální pevnost 8,6 kN byla naměřena u samosvorného uzlu Blake.



Graf 8 Maximální pevnost

Maximální pevnost Vánočkového prusíku byla o 9,4 kN vyšší než u dvojitého Prusíkova uzlu ($p < 0.001$), o 8,4 kN vyšší než u trojitého Prusíkova uzlu ($p < 0.001$), o 11,8 kN vyšší oproti uzlu Blake ($p < 0.001$), a o 7,61 kN vyšší než u uzlu Distel ($p < 0.001$). Statisticky významné rozdíly jsou zobrazeny v Tabulce 10.

	Rozdíl (kN)	Standartní chyba	p-hodnota
Vánočkový p. - Dvojitý p.	9,4	0,602	<0,001***
Vánočkový p. - Trojitý p.	8,357	0,602	<0,001***
Vánočkový p. - Blake	11,797	0,602	<0,001***
Vánočkový p. - Distel	7,617	0,602	<0,001***
Dvojitý p. - Trojitý p.	-1,060	0,547	0,313
Dvojitý p. - Blake	2,380	0,547	<0,001***
Dvojitý p. - Distel	-1,800	0,547	0,016*
Trojitý p. - Blake	3,440	0,547	<0,001***
Trojitý p. - Distel	-0,740	0,547	0,659
Distel - Blake	4,180	0,547	<0,001***

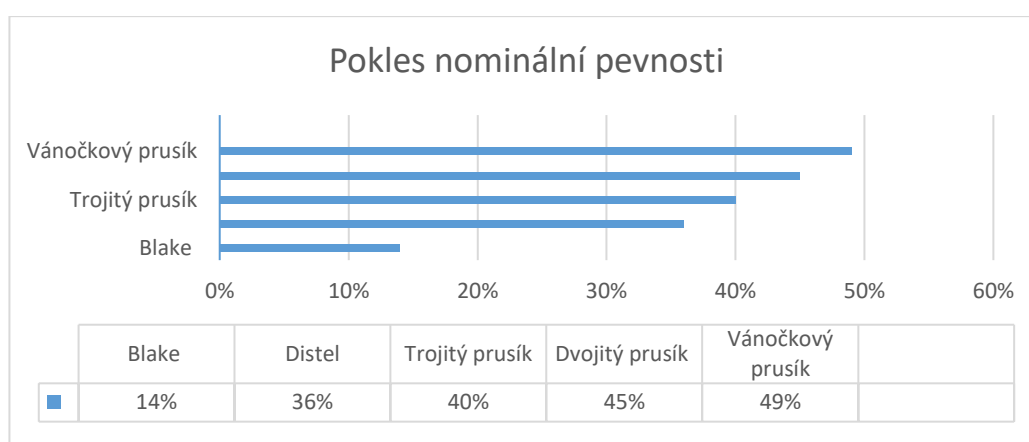
Tabulka 10 statistická významnost maximálního zatížení

*** $p < 0.001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0.05$

6.6.4 Pokles nominální pevnosti

Graf 10 zobrazuje srovnání pevností systémů (lano a pomocná Reep šňůra) s jednotlivými uzly proti pevnosti nominální, kde 100 % představuje pevnost Reep šňůry 10 kN (viz kapitola 5.3.2). Pokles nominální hodnoty pevnosti představuje o kolik se snížila pevnost systému. Nominální pevnost se počítala z průměrů maximálních pevností jednotlivých uzlů.

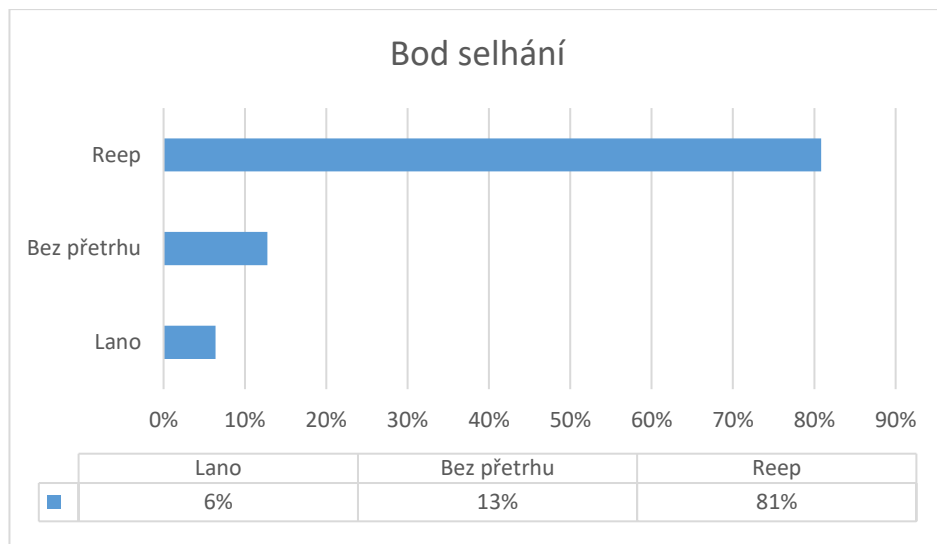
Nejvyššího poklesu nominální pevnosti dosahuje Vánočkový prusík, a to o 49 %. Nejnižší nominální pokles pevnosti 14 % byl naměřen u samosvorného Blakeova uzlu.



Graf 9 Pokles nominální pevnosti

6.6.5 Bod selhání

Graf 9 zobrazuje procentuální srovnání počtů selhání pomocné Reep šňůry nebo lana či pokusů bez přetrhu z celkového počtu 47 pokusů. Pomocná Reep šňůra selhala v 81 % pokusů a lano pouze v 6 %. Zbýlých 13 % představuje pokusy bez přetrhu. V 80 % všech pokusů tedy pomocná Reep šňůra selhala dříve než lano.



Graf 10 Bod selhání

DISKUZE

Cílem této bakalářské práce byla analýza statické pevnosti samosvorných uzlů a jejich porovnání. Porovnávalo se pět samosvorných uzlů, které se využívají ve vojenském lezení (viz kapitola 3.4). Testování pevnosti bylo realizováno díky vstřícnosti společnosti Lanex a.s., která byla ochotná věnovat materiál, prostory pro testování a odborný technický dozor. Práce má teoreticko-empirický charakter a metoda samotného výzkumu je pak laboratorní experiment.

Přínosem této práce je zjištění průměrných maximálních pevností, procentuální srovnání míst selhání a nominálních poklesů vybraných samosvorných uzlů. Poznatky práce mohou využít nejen složky ISZ, všichni lezci, arboristé či jeskyňáři, ale hlavně vojáci. Pro každého lezce jsou významné hodnoty prvních prokluzů. Pokud je dosaženo těchto hodnot a uzel začne prokluzovat, signalizuje to lezci, že je uzel příliš zatížený. Mělo by tedy docházet k zatěžování samosvorného uzlu pouze do hodnoty prvního prokluzu, další zatěžování už není bezpečné. Prokluzováním uzlu po laně dochází ke vzniku tření, a tím tak i tepla, které může zapříčinit natavení až prasknutí Reep šňůry či lana. Dále si lezec může dle Grafu 10 s hodnotami nominálních poklesů udělat představu o tom, o kolik procent a o kolik kN jednotlivé samosvorné uzly snižují nominální pevnost systému.

Jiné metody analýzy samosvorných uzlů

Prací zabývající se pevností uzlů je celá řada, ale žádná z nich nevyužívá stejný typ lana, Reep šňůry a výběr samosvorných uzlů. Není tedy možné v tomto směru výsledky porovnávat. Je pouze možnost srovnávat použité metody a postupy dosahování výsledků.

Podobný způsob testování statického zatížení na trhacím zařízení využil v diplomové práci „*Vliv vybraných uzlů na pevnost ploché šité smyčky při statickém zatížení*“ Mgr. Miroslav Komorous (2016). Zkouška, kterou posuzoval ploché šité smyčky při statickém zatížení byla standartní a provedena na zkušebním stroji TR 5/SK. Pro zajištění stejného dotažení uzlů a tím stejných podmínek pro všechny vzorky využil a stejně jako pro potřeby této práce 5 kg závaží. V práci porovnával pevnosti smyček z dvou rozdílných materiálů. Nezabýval se tedy samosvornými uzly z Reep šňůry navázané na lano, ale uzly kotvicími na ploché smyčce.

V roce 2004 v Oberonu NSW v Austrálii probíhal workshop profesionálních záchranářů SES, o kterém referoval Alan Sheehan B.E. (2004). Testovali tam pevnost

různých uzlů včetně samosvorných na snímači zatížení StraightPoint NIP/5T. Síla byla aplikována pomocí 2,5 tunového ručního navijáku značky Tirfor. Všechny testy prováděli na starším opotřebeném nízko-průtažném záchranném 11mm laně. Uzly byly navázány na lano 7mm a poté i 6mm pomocnou Reep šňůrou. Potvrdili, že prusík o menším průměru se více zakousne do lana. Testování pevnosti uzlů bylo prováděno do chvíle prvního proklouznutí, kdy byl poničen oplet lana, nikoli do přetržení Reep šňůry či lana jako to bylo provedeno v této práci.

„*Ropes and Friction Hitches used in Tree Climbing Operations*“ je výzkumná práce Paola Bavaresca (2002), která se mimo jiné zabývá třemi totožnými samosvornými uzly s touto prací, a to Prusíkovým uzlem, Blakem a Distelem. Bavaresco měřil pevnost v tahu samosvorných uzlů využívaných arboristy ve Velké Británii. Měření probíhalo na nových nepoužitých lanech 10 a 12 mm a Reep šňůrách 6 a 8 mm na zařízení s maximálním rozpětím bodů pro ukotvení lana 1 m. Rozpětí nebylo dostatečné pro dosažení destrukce samosvorných uzlů a tím získání hodnot, při kterých došlo k selhání. Uzly byly totiž schopné se posunout po celé délce bez poškození. Jedním z výsledků byly průměrné hodnoty pevnosti pro Prusíkův a Blakeův uzel, a to 16,3 kN. Další měření bylo provedeno na dvojitěm laně a tudíž jeho výsledky pro tuto práci nejsou porovnatelné.

Cílem studie Thomase Evanse (2015) „*Is There A Right Way To Tie A Prusik?*“ bylo zjistit, zda při měření pevnosti Prusíkova uzlu má vliv spojení Reep šňůry do smyčky pomocí dvojitěho rybářského uzlu. Výsledky ukazují, že všechny hodnoty jsou velmi blízké, ale existuje rozdíl, který lze odhalit až sekundární statistikou.

Thomas Evans je zakladatel neziskové společnosti SAR3, která se zabývá výzkumem lan ve prospěch osob pracujících ve výškách a zlepšení jejich bezpečnosti. Tato společnost archivuje a shromažďuje data z výzkumů lan, která jsou dostupná na následujícím odkazu: <http://sarr.weebly.com/sar3-original-research>.

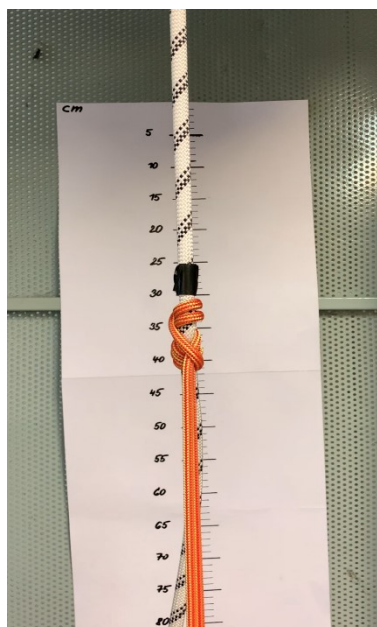
Pretestace

Před uskutečněním zkoušky pevnosti samosvorných uzlů v bolatické společnosti Lanex a.s. proběhl na začátku prosince 2019 pretest, který probíhal ve spolupráci se společností Rock Empire v Děčíně. Pro získání představy o průběhu této zkoušky byl každý z vybraných uzlů podroben jednomu testu pevnosti při statickém tahu. Pretest potvrdil, že zkouška v této podobě je uskutečnitelná a vybrané uzly jí je možné podrobit. Dále byla získána představa o velikosti maximálního zatížení jednotlivých uzlů.

Vyhodnocení výsledků

V průběhu testování bylo dbáno na konstantní podmínky, jako je teplota a vlhkost vzduchu. Měření probíhalo na certifikovaném zkušebním stroji pro stanovení pevnosti materiálu WPM ZDM 30/300kN. Pro docílení přesnějších výsledků by bylo zapotřebí podrobit testu více vzorků (Evans, 2016). Z materiálních a časových důvodů to ale nebylo možné.

Pro změření celkové délky prokluzu samosvorného uzlu po laně bylo zhotoveno centimetrové měřítko, které bylo umístěno na klec v místě za zkušebním strojem a za měřeným samosvorným uzlem (viz Obrázek 32). Podle tohoto měřítka, nebylo ale možné posun určit. Klec, ve které se nachází zkušební zařízení, musí být totiž z bezpečnostních důvodů při měření zavřená. Měřítko tedy slouží pouze orientačně pro představu délek materiálů. Délka prokluzu uzlu byla měřena podle délky natavené části lana svinovacím metrem vždy po skončení pokusu (viz Obrázek 33). Posun ale nebylo možné změřit přesně od místa, kde byl uzel navázán, do místa, kde selhal. Páska označující místo na laně nad samosvorným uzlem (viz Obrázek 32), kde byl na lano navázán, se totiž vlivem tepla a zúžením lana vždy sesunula hned za uzlem. Vágnost těchto hodnot je způsobena nepřesností ručního měření.



Obrázek 32 Centimetrové měřítko a značící páska



Obrázek 33 Měření délky prokluzu

V rámci výzkumu byly stanoveny výzkumné otázky, ze kterých vychází hypotézy. **První hypotéza**, předpokládající, že Prusíkův uzel se třemi závity bude minimálně o 1/3 pevnější než Prusíkův uzel se dvěma závity, **nebyla potvrzena**. Byly mezi sebou porovnány průměrné hodnoty, kdy uzel poprvé proklouzl, jeho maximální pevnost a hodnota, kdy selhal. Ani v jednom případě nebyl o 1/3 pevnější.

Druhá hypotéza, která zní: nejpevnější bude Vánočkový prusík, **byla potvrzena**. Tento uzel začal prokluzovat na nejvyšší průměrné hodnotě 6,6 kN a dosáhl nejvyšší průměrné maximální pevnosti, která byla 20,4 kN, v porovnání s ostatními uzly. Bylo tomu tak proto, že se jako jediný z vybraných uzlů váže ze čtyř pramenů Reep šňůry. Naopak jako nejméně pevný obstál uzel Blake, který měl nejnižší průměrné hodnoty maximální pevnosti, a to 8,6 kN. Blake se váže pouze z jednoho pramene, proto jsou jeho naměřené hodnoty nejnižší.

Třetí hypotéza, tvrdí, že v 80 % všech pokusů selže pomocná Reep šňůra dříve než lano. Reep šňůra selhávala v 81 % dříve než lano, a tím tedy **byla potvrzena**. Při dvou měřeních Vánočkového prusíku selhal oplet lana a jednou se přetrhlo celé lano v místě ukotvení ke zkušebnímu stroji. Pak ještě jednou selhal oplet lana během měření dvojitého Prusíkova uzlu v místě těsně nad samosvorným uzlem, a to je celkem 6 %, kdy selhalo lano. Ve zbylých 13 % k selhání nedošlo z důvodu dosažení maximálního rozsahu délky zkušebního stroje.

Během měření byly zaznamenávány včetně vyhodnocených hodnot i hodnoty, kdy a při jakém zatížení docházelo k selhání samosvorného systému. Tyto hodnoty záviseli na tom, jaké maximální pevnosti bylo dosaženo a jak dlouho zatížení trvalo, a proto pro tuto práci nejsou vypovídající a nebyly vyhodnocovány.

Pro další měření by bylo vhodné mít k dispozici větší počet karabin, potřebných ke zkoušce pevnosti Vánočkového prusíku. V případě tohoto pokusu byla zajištěna pouze jedna karabina s minimální pevností 30 kN. Vycházelo se totiž z předpokladu, že tato karabina zatížení vydrží. Při osmém pokusu karabina náhle selhala aniž by bylo při některém z pokusu dosaženo maximální pevnosti karabiny.

Vhodným navázáním na tuto bakalářskou práci by mohlo být další měření těchto vybraných samosvorných uzlů používaných ve vojenském lezení na dynamické lano při dynamickém zatížení a získání tak dalších hodnot využitelných pro vojenské lezení.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo analyzovat statickou pevnost samosvorných uzlů používaných ve vojenském lezení, což byly dvojitý a trojitý Prusíkův uzel, Blake, Distel a Vánočkový prusík. Tento cíl se podařilo realizovat dle stanovené metodiky. Data byla nashromážděna vlastním měřením autora. Ten získal partnera pro tento experiment ve společnosti Lanex a.s., která v Bolaticích disponuje testovacím prostorem s trhacím zařízením a dodala materiál a odborný technický dohled. K dispozici bylo nízko-průtažné lano Tendon static 10,5 mm z polyamidu a pomocná šňůra Tendon Reep 6 mm též z polyamidu. Tento materiál byl vybrán, protože je využíván AČR. Práce měla stanovené tři hypotézy, které byly vyhodnoceny v diskuzi.

Teoretická část práce byla zaměřena na seznámení se s problematikou vojenského lezení, podrobným popisem lan a uzlů využitých pro účely této práce. V empirické části byla testováním statické pevnosti samosvorných uzlů získána data prvního prokluzu samosvorného uzlu po laně, celkové délky prokluzů, maximální pevnost, bod selhání a pokles nominální pevnosti systému. Hodnoty jednotlivých samosvorných uzlů byly porovnány mezi sebou a vyhodnoceny.

Došlo se k závěru, že trojitý Prusíkův uzel není pevnější minimálně o 1/3 než dvojitý Prusík. To vyvrací první stanovenou hypotézu. Na základě získaných hodnot se jako nejpevnější samosvorný uzel prokázal Vánočkový prusík. Měl nejvyšší naměřenou průměrnou hodnotu 6,6 kN, kdy docházelo k prvnímu prokluzu i nejvyšší hodnotu maximální pevnosti, a to 20,4 kN. Tím se potvrdila druhá hypotéza. Pomocná Reep šňůra selhala v 81 % všech pokusů, a tím byla potvrzena třetí hypotéza. Hodnoty nominálních poklesů se pohybovaly mezi 40 a 49 %, až na uzel Blake, který dosáhl výrazně nižšího poklesu a to pouze o 16%.

Další výzkumy týkající se pevnosti samosvorných uzlů by mohly směřovat ke zkoumání dynamické pevnosti samosvorných uzlů navázaných na dynamickém laně.

Uvedené výsledky této práce mohou využít všichni, kteří se zabývají lezením. Mohou se seznámit s problematikou samosvorných uzlů, udělat si představu, o tom jak vybrané samosvorné uzly snižují nominální pevnost či při jakém zatížení začnou prokluzovat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ADAMS, Mark. Son of a Hitch: A Genealogy of Arborists' Climbing Hitches. *Arborist news: Climbers' Corner*. [online]. International society of arboriculture, 2005. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: http://ology.www.treebuzz.com/pdf/0505_genepdf
- BARTÁK, Erik. *Pomůcka pro základní a zdokonalovací kurz vojenského lezení*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2012. 133 s. ISBN 978-80-7231-916-9.
- BAVARESCO, Paolo. *Ropes and Friction Hitches used in Tree Climbing Operations* [online]. 2002, 64 p. [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: http://www.paci.com.au/downloads_public/knots/14_Report_hitches_PBavaresco.pdf
- BELICA, Ondřej. *Práce a záchrana ve výškách a nad volnou hloubkou*. Praha: Grada, 2014. 216 s. ISBN 978-80-247-5055-2.
- BUDWORTH, Geoffrey and HOPKINS, Richard. *Všechno o uzlech*. 1. vyd. Praha: Svojtka&Co, 2008. 256 s. ISBN 978-80-7352-958-1
- BUDWORTH, Geoffrey. *Uzly krok za krokem*. Praha: Svojtka&Co, 2002. 128 s. ISBN 80-7237-538-5
- Česká asociace canyoningu [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <http://www.canyoning.cz/>
- STRÁNSKÝ, Martin. *Patrola* [online]. HOLÁN, Michal a MOTTLOVÁ, Barbora. Režie O. Kallus. Česká televize, 2017 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/11559917535-patrola/216562222150002>
- Edelweiss, *Concepts* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://www.edelweiss-ropes.com/>
- EVANS, Thomas. *Empirical breaking strength of single prusiks of four diameters on 11mm static rope* [online]. 11.01.2014, 18 p. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://sarr.ueebly.com/sar3-original-research>
- EVANS, Thomas. *Is there a right way to tie a prusik* [online]. 20.10.2015, 6 p. [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: <http://sarr.ueebly.com/sar3-original-research>

- EVANS, Thomas. *A review of friction hitch testing* [online]. 11.10.2016, 20 p. [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: <http://sarr.weebly.com/sar3-original-research>
- FÁBORSKÝ, *Statická lana a vliv vody* [online]. c2001 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.horosvaz.cz/metodika-medicina/staticka-lana-a-vliv-vody/>
- FRANK, Tomáš a KUBLÁK Tomáš a kol.. *Horolezecká abeceda*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství Epoque, 2007. 664 s. ISBN 978-80-87027-35-6.
- Hasičský záchranný sbor ČR, *Metodika lezci* [online]. c2009 [cit. 2020-3-23]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/>
- Honeywell, *Products* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.packagingcomposites-honeywell.com/>
- JEFF, Jepson. *The tree climber's companion: A reference and training manual for professional tree climbers*. Longville: Beaver Tree Publish, 2007. 104 p. ISBN 0-615-11290-0.
- KOMOROUS, Miroslav. *Vliv vybraných uzlů na pevnost ploché šité smyčky při statickém zatížení: diplomová práce*. Praha: Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, katedra sportů v přírodě, 2016. 57 l. Vedoucí diplomové práce Mgr. Ladislav Vomáčko, Ph.D.
- KUBLÁK, Tomáš. *Horolezecká metodika: Výzbroj a výstroj*. Praha: MMPublishing, 2015. 189 s. ISBN 9788087715185.
- PEŘINA, Jan. *Horolezecká metodika: Horolezectví a sport* [online]. c2010. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <http://horolezeckametodika.cz/ucebnice/horolezectvi-a-sport>
- Lanex, *Průduky* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://eshop.lanex.cz/>
- LENFELDOVÁ, I., Ing., PhD. *Speciální pletářské výroby: Technologie 2D a 3D splétání* [online]. TU Liberec, 2013 [cit. 2020-5-16]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-09-10/11-32-51.pdf>
- MICHALIČKA, Vladimír a kol.. *Speciální tělesná příprava: Vojenské lezení*. 1. vyd. Praha. 2019. 188 s. Pub-71-84-06.
- Monteco, *Katalog* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.monteco.cz/ocelova-lana-metraz-ocelova-lana-nerezova>

Normativní výnos Ministerstva obrany č. 12 ze dne 15. března 2011

PROHASKA, Heinz. Two jamming knots for thick cord and webbing. *Nylon Highway* [online]. 1990, č. 30, **32(3)** [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://caves.org/section/vertical/nhback/NH30.pdf>

RALEIGH, Duane. *Uzly a lana pro horolezce*. 1. vyd. Praha: Fragment 2009. 95 s. ISBN 978-80-253-0816-5

Reichl, J., Všetická, M. *Encyklopedie Fyziky*. [online]. c2012 [cit. 2020-4-17]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>

Rock Point. *Co byste měli vědět o lanech* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.rockpoint.cz/>

SHEEHAN, Alan. *Load Testing*. NSW SES Vertical Rescue Professional Development Workshop [online]. 14.8.2004, 10 p. [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: http://www.paci.com.au/downloads_public/knots/07_Tests_OberonSES_14Aug04.pdf

Singing rock, *Technické informace* [online]. [cit. 2020-01-16]. Dostupné z: <https://www.singingrock.cz/>

Tendon, *Produkty* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.mytendon.cz/cs/>

TURNER, John C and Van De GRIEND, Pieter. *History and science of knots*. 1. pub. London: World Scientific Publishing CO. Pte. Ltd., 1996. 464 p. ISBN: 978-981-02-2469-1.

Vyhodnocení kurzu vojenské lezení pro vedoucí instruktory čj. MO 342612/2019-8297

SEZNAM GRAFICKÉ DOKUMENTACE

Není-li uvedeno jinak, je grafická dokumentace dílem autora.

Obrázky

Obrázek 1 Systém služební tělesné výchovy (Michalička a kol., 2019).....	14
Obrázek 2 Průřez lana Kernmantel (Rock Point, 2020).....	19
Obrázek 3 Pletení lana	20
Obrázek 4 Systém Tandem (Tendon, 2020).....	20
Obrázek 5 IntelCore Technologie (SingingRock,2020).....	21
Obrázek 6 Systém SBS (Tendon,2020).....	21
Obrázek 7 Řez lanem Secure (Tendon,2020).....	22
Obrázek 8 Rozdělení dynamických lan (Michalička a kol., 2019)	28
Obrázek 9 Fast rope (Tendon,2020).....	28
Obrázek 10 Dvojitý Prusíkův uzel	32
Obrázek 11 Uzel Blake.....	33
Obrázek 12 Uzel Distel	34
Obrázek 13 Vánočkový prusík	35
Obrázek 14 Beznapěťové kotvení	35
Obrázek 15 Pevnost uzlů (Frank, Kublák a kol., 2007)	36
Obrázek 16 Značící páska	39
Obrázek 17 ZD 30	40
Obrázek 18 Schéma testování	42
Obrázek 19 Postup vázání dvojitého Prusíkova uzlu	43
Obrázek 20 Postup vázání Distelova uzlu	44
Obrázek 21 Postup vázání Blakeova uzlu	45
Obrázek 22 Postup vázání Vánočkového prusíku	46
Obrázek 23 Postup vázání dvojitého rybářského uzlu	46
Obrázek 24 Selhání dvojitého Prusíkova uzlu	51
Obrázek 25 Selhání opletu lana při měření dvojitého Prusíkova uzlu	51
Obrázek 26 Selhání obou pramenů trojitého Prusíkova uzlu	53
Obrázek 27 Selhání jednoho pramene trojitého Prusíkova uzlu	53
Obrázek 28 Selhání Blakeova uzlu	55
Obrázek 29 Přitavení Reep šňůry k lanu	57
Obrázek 30 Selhání opletu lana při měření Vánočkového prusíku	59

Obrázek 31 Legenda grafu boxplot	60
Obrázek 32 Centimetrové měřítko a značící páska	67
Obrázek 33 Měření délky prokluzu	67

Tabulky

Tabulka 1 Délky Reep šňůry	41
Tabulka 2 Hodnota 100 % nominální pevnosti samosvorného uzlu	47
Tabulka 3 Výsledky dvojitého Prusíkova uzlu.....	51
Tabulka 4 Výsledky trojitého Prusíkova uzlu	53
Tabulka 5 Výsledky Blakeova uzlu.....	55
Tabulka 6 Výsledky Distelova uzlu	57
Tabulka 7 Výsledky Vánočkového prusíku	59
Tabulka 8 statistická významnost prvního prokluzu	61
Tabulka 9 statistická významnost délky prokluzu	62
Tabulka 10 statistická významnost maximálního zatížení	63

Grafy

Graf 1 Dvojitý Prusíkův uzel pokus č. 3	50
Graf 2 Trojitý Prusíkův uzel pokus č. 3	52
Graf 3 Blakeův uzel pokus č. 4	54
Graf 4 Distel pokus č. 2.....	56
Graf 5 Vánočkový prusík pokus č. 1	58
Graf 6 První prokluz.....	60
Graf 7 Délka prokluzu	61
Graf 8 Maximální pevnost.....	62
Graf 9 Pokles nominální pevnosti	63
Graf 10 Bod selhání.....	64

Seznam příloh

Příloha 1 Technické parametry lana (Tendon, 2020)	75
Příloha 2 Technické parametry Reep šňůry (Tendon, 2020)	75

(ČSN EN 1891: 2000 and UIAA 107)	Požadavek normy	Parametry lana
Průměr lana	min. 8,5 mm max. 16 mm	10,5 mm
Uzlovatelnost	max. 1,2	-
Posuv opletu	max. 20 mm + 10 (D – 9 mm)	0 %
Prodloužení (50 – 150 kg)	max. 5 %	3,4 %
Srážení	nedefinováno	1,9 %
Hmotnost	nedefinováno	72 %
Hmotnost opletu	min. 44 %	65 %
Hmotnost jádra	min. 35 %	35 %
Max. rázová síla	max. 6 kN	-
Min. počet pádů - s osmičkovým uzlem - šité oko	min. počet pádů 5	20 20
Min. počet pádů bez zakončení: Typ A	22 kN působících minimálně po dobu 3 min. při trvalé síle	32kN
Min. pevnost s osmičkovým uzlem	15 kN působících minimálně po dobu 3 min. při trvalé síle	18kN
Min. pevnost s šitým okem	15 kN kN působících minimálně po dobu 3 min. při trvalé síle	22kN

Příloha 1 Technické parametry lana (Tendon, 2020)

(ČSN EN 564: 2015 and UIAA 102)	Požadavek normy	Parametry lana
Průměr	Mezní odchylka od průměru nesmí být větší než +0,7/-0,2 mm	6 mm
Pevnost v přetrhu	7,2 kN	10 kN
Hmotnost	nedefinováno	25 g/m

Příloha 2 Technické parametry Reep šňůry (Tendon, 2020)