

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

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

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

**mjr. Mgr. Vladimír Michalička, Ph.D.**

Vypracoval:

**rtm. Bc. Radek Telvák**

Praha, 2022

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou 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 diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou 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 diplomové práce, především panu mjr. Mgr. Vladimírovi Michalíčkovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc a cenné rady při vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Singing Rock s.r.o. za poskytnutý materiál, prostory, odbornou asistenci a umožnění realizace testování v jejich polygonu.

## **Abstrakt**

### **Název:**

Analýza dynamické pevnosti samosvorných uzlů používaných ve vojenském lezení

### **Cíl:**

Cílem této práce je zjistit výslednou rázovou sílu vznikající u vybraných samosvorných systémů při rozdílných hodnotách pádového faktoru. Vypočítat jakých maximálních hodnot délky pomocné Reep šňůry a maximální hmotnosti břemene lze dosáhnout, aniž by systém selhal. Zjistit korelaci mezi velikostí rázové síly a délkou prokluzu.

### **Metody:**

Tato práce popisuje experiment, při kterém byla zjištěna výsledná rázová síla působící na samosvorný systém při rozdílných pádových faktorech. Pro analýzu byla vybrána 6mm Reep šňůra a 11mm lano a samosvorné uzly používané v technikách vojenského lezení. Testování probíhalo v polygonu na pádové věži. Každý ze samosvorných uzlů byl podroben pěti testům při stejném pádovém faktoru. Jednotlivé uzly mezi sebou byly statisticky porovnány z hlediska rázové síly a prokluzu. Pomocí přímé úměrnosti byly zjištěny hodnoty maximální délky pomocné Reep šňůry a hmotnosti břemene. Korelační analýzou byl zjištěn vzájemný vztah mezi rázovou silou a prokluzem.

### **Výsledky:**

Bylo zjištěno, že při všech měřených hodnotách pádového faktoru, dosahoval nejnižších hodnot výsledné rázové síly Vánočkový prusík a pád tedy tlumil nejvýrazněji. Zároveň u Vánočkového prusíky byly naměřeny nejdelší průměrné délky prokluzu a u uzlu Blake nejkratší. Maximální hodnoty délky pomocné Reep šňůry a hmotnosti břemene u Vánočkového prusíku byly oproti zbylým samosvorným systémům nejvyšší. Korelace mezi velikostí rázové síly a délkou prokluzu nebyla potvrzena.

### **Klíčová slova:**

vojenské lezení, samosvorný uzel, rázová síla, pádový faktor, prokluz, pád

## **Abstract**

### **Title:**

Analysis of dynamic strength of friction knots used in military climbing

### **Objectives:**

The aim of this work is to determine the resulting impact force generated by selected friction systems at different values of the fall factor. To calculate what maximum values of auxiliary Reep cord length and maximum load weight can be achieved without system failure. Determine the correlation between the magnitude of the impact force and the slip length.

### **Methods:**

This thesis describes an experiment in which the resulting impact force acting on a friction system at different drop factors was determined. A 6mm Reep cord and an 11mm rope and friction knots used in military climbing techniques were selected for analysis. Testing was carried out in a polygon on a drop tower. Each of the friction knots was subjected to 5 tests at the same fall factor. The individual knots were statistically compared with each other in terms of impact force and slip. Using direct proportionality, the maximum possible values of the auxiliary Reep cord length and the weight of the load were determined. A correlation analysis was used to establish a correlation between impact force and slip.

### **Results:**

It was found that at all measured values of the fall factor, the Twist prusik achieved the lowest values of the resulting impact force and thus damped the fall most significantly. At the same time, the longest average slip lengths were measured for the Twist prusik and the shortest for the Blake node. The maximum values of auxiliary Reep cord length and load weight for the Twist prusik were the highest compared to the other self-locking systems. The correlation between the magnitude of impact force and slip length was not confirmed.

### **Keywords:**

military climbing, friction knot, impact force, fall factor, slip, fall

# Obsah

ÚVOD.....	13
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 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    Statická lana.....	25
2.4.1    Vlastnosti statických lan.....	25
2.4.2    Použití statických lan .....	26
2.5    Dynamická lana .....	26
2.5.1    Rozdělení dynamických lan.....	27
2.6    Pomocné Reep šňůry.....	28
3    Pád do lana.....	29
3.1    Rázová síla.....	29
3.2    Pádový faktor.....	30
3.3    Testování lan.....	31
3.3.1    Počet normovaných pádů .....	31
3.3.2    Maximální rázová síla .....	31

3.3.3	Uzlovatelnost .....	31
4	Samosvorné uzly .....	32
4.1	Rozdělení uzlů .....	32
4.2	Postup správného vázání uzlů .....	33
4.3	Terminologie vázání uzlů .....	33
4.4	Vybrané uzly .....	34
4.5	Pevnost uzlů .....	37
	EMPIRICKÁ ČÁST PRÁCE .....	39
5	Výzkumná otázka, Cíle, Úkoly, Hypotézy .....	39
5.1	Výzkumná otázka .....	39
5.2	Cíle .....	39
5.3	Úkoly .....	39
5.4	Hypotézy .....	39
6	Metodika výzkumu .....	40
6.1	Laboratorní měření .....	40
6.2	Testovaný soubor .....	41
6.2.1	Vybrané samosvorné uzly .....	41
6.2.2	Použité lano .....	41
6.2.3	Použitá pomocná Reep šňůra .....	42
6.2.4	Použité karabiny .....	42
6.3	Zkušební zařízení .....	43
6.4	Metodika získávání a popis dat .....	44
6.4.1	Rázová síla .....	44
6.4.2	Prokluz .....	44
6.5	Design měření .....	45
6.5.1	Počet pádů .....	45
6.5.2	Břemeno .....	45



6.5.3	Délka pádu.....	46
6.5.4	Příprava materiálu.....	46
6.5.5	Kotevní bod.....	46
6.5.6	Průběh experimentu.....	47
6.6	Postupy vázání využitých uzlů.....	48
6.7	Rozsah platnosti.....	53
6.8	Zpracování dat.....	53
6.8.1	Popisná analýza.....	53
6.8.2	Statistické zpracování.....	53
7	Výsledky.....	55
7.1	Dvojitý Prusíkův uzel (ABoK #1763).....	56
7.2	Trojité Prusíkův uzel (ABoK #1763).....	57
7.3	Uzel Blake (ABoK #1963).....	59
7.4	Distel (ABoK #1465).....	60
7.5	Vánočkový prusík (ABoK #1758).....	61
7.6	Machardův prusík (ABoK #1962).....	63
7.7	Komparace výsledných rázových sil.....	64
7.7.1	Komplex pádových faktorů.....	64
7.7.2	Pádový faktor 1.....	65
7.7.3	Pádový faktor 1,5.....	65
7.7.4	Pádový faktor 2.....	66
7.8	Komparace délek prokluzu.....	67
7.8.1	Komplex pádových faktorů.....	67
7.8.2	Pádový faktor 1.....	68
7.8.3	Pádový faktor 1,5.....	68
7.8.4	Pádový faktor 2.....	69
7.9	Maximální délka pomocné Reep šňůry.....	70

7.10 Maximální hmotnost břemene .....	71
7.11 Vztah mezi rázovou silou a prokluzem .....	72
DISKUZE .....	73
ZÁVĚR .....	76
Seznam použitých zdrojů .....	78
Seznam grafické dokumentace .....	83
Obrázky .....	83
Tabulky .....	84
Grafy .....	84
Přílohy .....	85

## Seznam použitých zkratk a symbolů

### Zkratky

AČR	Armáda České republiky
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
EN	Evropská norma
FTVS	Fakulta tělesné výchovy a sportu
HD	High Definition (Vysoké rozlišení)
ISZ	Integrovaný záchranný systém
NVMO	Normativní výnos ministerstva obrany
PA	Polyam
PAD	Polyamid
PE	Orientovaný polyetylén
PF	Pádový faktor
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

V průběhu studia vojenského oboru při Fakultě tělesné výchovy a sportu na Univerzitě Karlově jsem prošel mnoha odvětvími speciální tělesné přípravy, kde jsem se seznámil s problematikou uzlování a uzlů používaných ve vojenském lezení. Během těchto kurzů jsem získal instruktorskou licenci k vedení vyučovacích jednotek a kurzů vojenského lezení. Zkušenosti a dovednosti získané během studia mi umožňují připravovat vojáky chystající se na zahraniční mise či jiná kooperační cvičení probíhající v různých podmínkách a těžkém terénu.

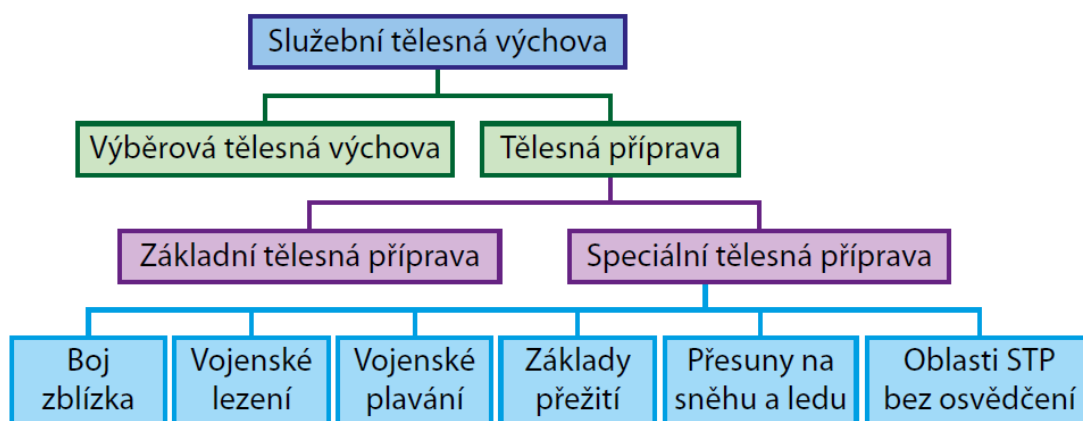
Vojenské lezení, jako příprava vojáků pro pohyb v horských a skalních terénech za použití jakýchkoli dostupných prostředků, spočívá ve využití technik lezení, překonání přírodních a umělých překážek za účelem získání taktické výhody. Techniky využívající samosvorné uzly jsou nedílnou částí vojenského lezení a každý voják by je měl alespoň na základní úrovni ovládat.

Tato diplomová práce bude navazovat na mou předchozí práci. Rozdělena bude na teoretická východiska a empirickou část. Tyto části se budou dále dělit na několik kapitol a podkapitol. Úvodní část teoretických východisek práce bude zaměřena na vhled do problematiky vojenského lezení a technik, které využívá. Druhá kapitola se bude zabývat konstrukcí a rozdělením lan na statická, dynamická a pomocné Reep šňůry. Následující kapitola bude věnována rázové síle působící při pádu na lezce a jistící řetězec a s tím souvisejícímu pádovému faktoru. Bude zde také zmíněno testování lan a požadavky norem. Čtvrtá kapitola se bude zaměřovat na rozdělení uzlů, jejich správný postup uvázání, terminologii vázání uzlů a pevnost. Dále se bude věnovat uzlům vybraným pro tuto práci. Empirická část práce bude popisovat laboratorní experiment, ve kterém bude zjištěna výsledná rázová síla vznikající u vybraných samosvorných systémů při rozdílných hodnotách pádového faktoru a s tím spojené cíle, hypotézy a úkoly. V šesté kapitole bude popsána metodika laboratorního měření, testovaný soubor a zkušební zařízení. Bude zde zmíněna také metodika získávání dat, design měření, postup vázání vybraných uzlů a zpracování dat. V poslední části budou prezentovány výsledky a jednotlivé uzly statisticky porovnány mezi sebou.

# TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

## 1 Vojenské lezení

Jednou z oblastí speciální tělesné přípravy je vojenské lezení (viz Obrázek 1). Věnuje se vysoce rizikovým a odborným činnostem vojenských profesionálů. Vojenské lezení se řadí do užitých forem horolezectví, které využívá horolezecké prostředky a techniky 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 (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 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 Reep šňůr. Pro statické namáhání slouží smyce ploché z normovaných textilních popruhů (Michalička a kol., 2019).

Pro účely této práce se budeme 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).

### 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 po fixním laně

Je to pohyb přímo vzhůru či dolů po fixním laně pomocí samosvorných uzlů. Ty zapříčiní 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 zapříčinit 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 Všetická v Encyklopedii fyziky (2022): „*Smykové tření je fyzikální jev, který vzniká při posouvání (smykání) 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 symetrický 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 (Barták a kol., 2012; Michalička a kol., 2019).

Pro slanění se sebejištěním využíváme samosvorný uzel uvázaný pod slaňovacím prostředkem (viz Obrázek 2). 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).



Obrázek 2 Slanění se sebejištěním

## 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).

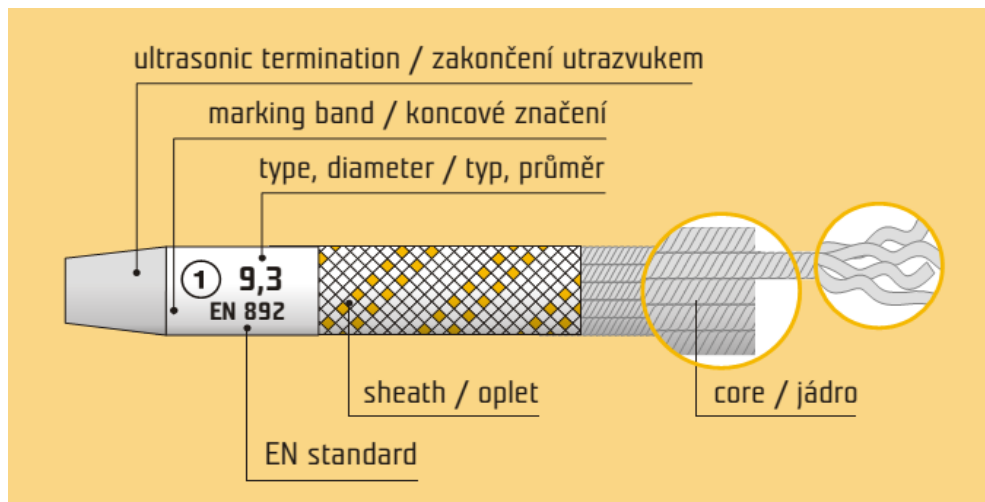
Lano je nejdůležitější součástí zajišťovacího řetězce a rozdělujeme ho podle použitého materiálu, konstrukce a chování při zatížení (Frank, Kublák a kol., 2007). Dle konstrukce dělíme na lana pletená s jádrem a opletem a na lana stáčená. Pro práce ve výšce, nad volnou hloubkou a pro lanové techniky se 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 3). 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 zneumožňuje 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, 2022).



Obrázek 3 Průřez lana Kernmantel (Rock Point, 2022)

Jádrom 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, 2022).

## 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

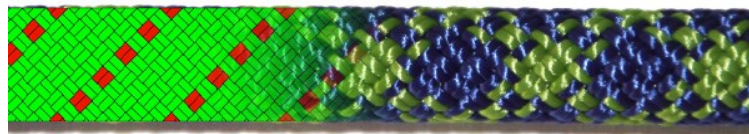
má svá specifika a výrobní technologii. Jak již bylo zmíněno výše, lana dělíme na stáčená a pletená. Pletenými se práce bude dále více zabývat.

Při výrobě opletu se používají dutinové splétací stroje s křídlovými koly, která jsou uspořádána do uzavřeného kruhu (viz Obrázek 4). 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).



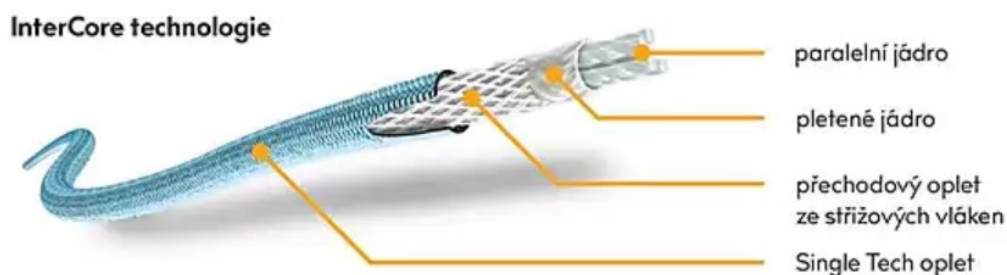
Obrázek 4 Pletení lan

Při standardním tandemovém systému pletení opletu jdou dvě nitě za sebou a v opletu se tak vytvářejí malé čtverce (viz Obrázek 5). U tohoto typu pletení se paličky uspořádají do hnízda a na paličkovém stroji vznikne 24 vazné lano (Lenfeldová, 2007).



Obrázek 5 Systém Tandem (Tendon, 2022)

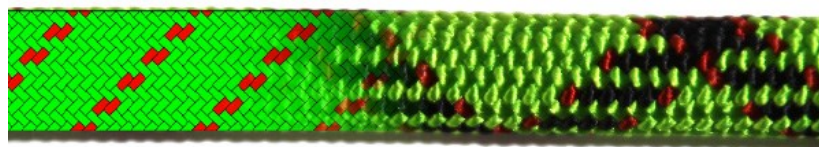
Zajištění maximální bezpečnosti lan od Singing Rocku v případě poškození opletu zajišťuje jejich patentovaná technologie společnosti zvaná InterCore (viz Obrázek 6). Lano je v tomto případě tvořeno čtyřmi vrstvami, a to jádro z paralelních vláken, pletené jádro, pletený mezioplet ze střížových vláken a nakonec oplet lana. Odolnost opletu se zvyšuje, pokud se do něho každá příze zaplétá samostatně (Singing Rock, 2022).



Obrázek 6 IntelCore Technologie (SingingRock,2022)

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, 2022).

Lanex tuto technologii nazývá SBS (viz Obrázek 7), Singing Rock Single Tech a Edelweiss HD Cover.



Obrázek 7 Systém SBS (Tendon,2022)

Lana vyrobená technologií Secure (viz Obrázek 8) 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, 2022).



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, 2022 Edelweiss, 2022).

Dalším příkladem technologie je patentovaná Route 44 společnosti Singing Rock. Kombinuje hodnoty lan, které dříve kombinovat nešly. Lano je kompaktnější, odolnější a měkčí než běžné lano a to díky optimalizaci napětí opletové příze, která je spojena do kruhu 44 paličkami (Singing Rock, 2022).

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, 2022).

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, 2022).

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 žmolovitost, která snižuje tažnost (Lanex a.s., 2022).

## 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 elasticitostí. 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, 2022). 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, 2022).

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 Statická lana

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 statických 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 průvės, protože pokud lezec sklouzne, tak se pouze zhoupne a kotevní bod je zatížen staticky s minimálním rázem. Pokud by mezi lezcem a kotvením byl průvės, 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).

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  $\varnothing 8,5$  až  $\varnothing 16,0$  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 statických lan

Tato lana našla svá uplatnění jak v armádě, tak ve složkách ISZ, při záchraně 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 tůňemi, skákání do tůní, sjíždění přírodních tobogánů a skluzavek (Česká asociace canyoningu, 2022).

#### 2.5 Dynamická lana

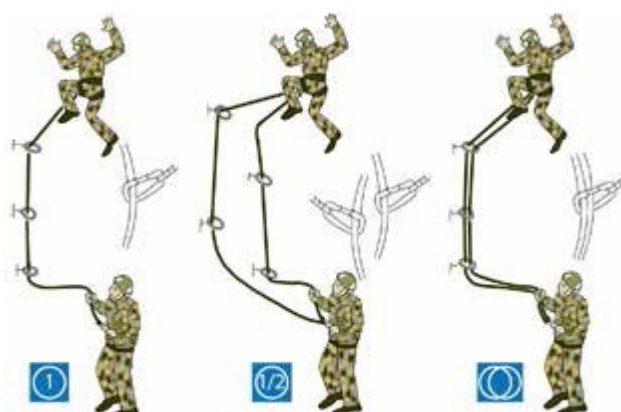
Vzhledem k tomu, že dynamické lano není předmětem našeho zkoumání, práce ho zmiňují pouze okrajově.

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+A2 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 9). Jednoduchá, tedy v jeden pramen, 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 pro vysoké horáky, 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 9 Rozdělení dynamických lan (Michalička a kol., 2019)

## 2.6 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, 2022).

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 Pád do lana

Četnost a způsob využití samosvorných uzlů ve vojenském lezení se o od ostatních odvětví, jako je arboristika či speleologie, odlišuje. Jelikož se ve vojenském lezení často využívá improvizovaných technik, je pomocná Reep šňůra či smyce nedílnou součástí vybavení vojáka. Při technikách vojenského lezení, jako je výstup po fixním laně či slánění se sebejistěním, má voják vždy nějaké to vybavení, se kterým mnohdy přesahuje hmotnost 100 kg.

#### 3.1 Rázová síla

V okamžiku zachycení pádu na lezcovo tělo působí rázová síla. Tato síla je přenášena lanem na celý jisticí řetězec. Závisí na kvalitě postupových bodů, parametrech konkrétního lana a způsobu jištění. Nejvyšší hodnoty dosáhne v okamžiku zastavení pádu, je to hodnota záchytného 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:  $15 \times 0,8 \text{ kN}$ , což je 12 kN. To je také normou (ČSN EN 892+A2) 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.“*

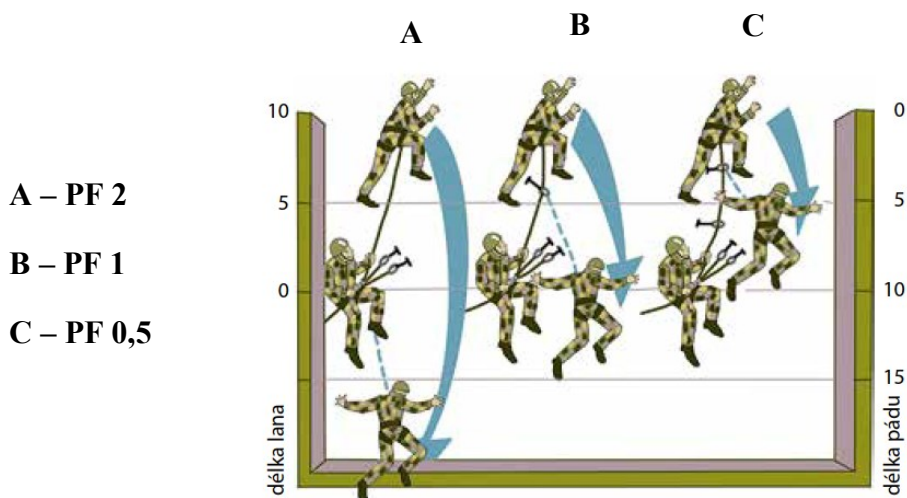
## 3.2 Pádový faktor

“Pádový faktor je bezrozměrná veličina, která nám popisuje vztah mezi tvrdostí pádu, délkou pádu a činnou délkou lana“ (Curtis, 2005). Čím je hodnota pádového faktoru vyšší, tím je potom vyšší rázová síla a pád tvrdší. Kvalitou a četností postupového jištění můžeme ovlivnit hodnotu pádového faktoru. Lze ho vyjádřit jako poměr délky pádu lezce a činné délky lana. (Michalička a kol., 2019). Za činnou délkou lana se považuje celý úsek lana od nejbližšího kotevního bodu k lezci. Délkou pádu se rozumí vzdálenost mezi bodem, ze kterého lezec spadl a bodem, ve kterém byl jeho pád zachycen (BUŘIČ, Petr a Richard FRANC, 2003). Na začátku cesty se postupové jištění zakládá častěji v kratších vzdálenostech, protože tam je činná délka lana nejkratší a hrozí největší nebezpečí selhání materiálu.

Při lezení se hodnota pádového faktoru pohybuje od nuly do dvou. Pádový faktor  $f$  se dle níže uvedeného vzorce může zmenšit zkrácením délky pádu  $h$ , či prodloužením délky lana  $l$  (Michalička a kol., 2019).

$$f = \frac{h \text{ (délka pádu)}}{l \text{ (činná délka lana)}}$$

Obrázek 10 znázorňuje tři různé pády lezce, který je vždy 10 m nad jisticím stanovištěm. U každého z těchto pádů je jiný pádový faktor a tím je i ovlivněna velikost rázové síly působící na jisticí řetězec a lezce.



Obrázek 10 Příklady hodnot pádového faktoru (Michalička a kol., 2019)

### **3.3 Testování lan**

Testování lan dle požadavků normy EN 892+A2 a EN 1891

#### **3.3.1 Počet normovaných pádů**

Počet normovaných pádů znamená, kolik musí testované lano zachytit pádů v podmínkách daných normou. U jednoduchých lan norma vyžaduje minimální počet pět pádů s 80 kg závažím. Poloviční lana se testují s 55 kg závažím a dvojitá lana s 80 kg. Pro dvojitá lana platí minimální počet pádu 12. Nízkoprůtažná lana se testují podobně jako dynamická. Jejich minimální počet normovaných pádů je 5. Příímím ukazatelem bezpečnostní rezervy lana je počet pádů zachycených při testování. Žádné nové lano, které je bez poškození a je s ním správně zacházeno, se v praxi nemůže přetrhnout při rázovém zatížení. Stárnutím materiálu a opotřebením vlivy působící na jeho pevnost se bezpečnost lana snižuje. Pevnost také snižuje vlhkost působící na vlákna polyamidu (Tendon,2022; EN 892+A2; EN 1891).

#### **3.3.2 Maximální rázová síla**

Rázová síla při testování stoupá v laně s každým dalším absolvovaným pádem. Výsledný počet zachycených normovaných pádů je závislý, na tom jak rychle rázová síla stoupá. Čím vyšší je normovaný počet pádů, tím delší je životnost lana.

Laboratorní podmínky jsou od praktického užívání odlišné, protože při standartním pádovém testu je konec lana pevně fixován. V praxi se využívají různá jisticí zařízení, která mají určitý prokluz a pád je potom zachycen dynamicky. Část pádové energie je dynamickým jištěním rozložena a to rázovou sílu sníží (Tendon,2022; EN 892+A2).

#### **3.3.3 Uzlovatelnost**

Jednoduchý uzel uvázaný na testovaném laně se zatíží 10 kg břemenem. Změřením vnitřního průměru uzlu se vypočte koeficient uzlovatelnosti. Maximální hodnota koeficientu může být 1,2 násobek průměru lana (Tendon,2022; EN 1891).

## 4 Samosvorné 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 vážali 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 vážali například staří Řekové. Římský a řecký lékař 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 je 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, 2002).

### 4.1 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 připevňování lana k jistícímu 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).

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

## 4.2 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. Zabrání 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.*“

## 4.3 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.

**Závít** 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).

#### 4.4 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). Uzly v této práci jsou pojmenovány dle literatury (Michalička a kol., 201.; Belica, 2014) a označeny kódem ABoK dle (Ashley, C. W.,1993).

##### **Prusíkův uzel (ABoK #1763)**

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 11)



Obrázek 11 Dvojité Prusíkův uzel

### **Uzel Blake (ABoK #1963)**

O popularizaci tohoto uzlu (viz Obrázek 12) 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 12 Uzel Blake

### **Uzel Distel (ABoK #1465)**

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 13). Oba volné konce lana jsou zavřeny do karabiny, čímž se vytvoří uzavřený horolezecký uzel. (Adams, 2005)



Obrázek 13 Uzel Distel

### **Machardův prusík (ABoK #1962)**

Machardův prusík (viz Obrázek 14) je téměř identický s Excentrickým prusíkem. Machardův prusík lze vytvořit jak z ploché smyce, tak z pomocné Reep šňůry, jako v této práci. Poskytuje velmi pevné spojení pomocné Reep šňůry a lana v jeho délce. Nevýhodou tohoto prusíku je, že funguje pouze v jednom směru, v opačném směru zátěže je nefunkční a prokluzuje. Další podobnou variantou tohoto prusíku je Prohaskův prusík, kde se využívá karabina, do které se provlékne volný konec. Prohaskův prusík díky využití karabiny má téměř nulovou ztrátu pevnosti oproti Machardovu prusíku, ale je náročnější na materiál (Radek Lienerth, 2018).



Obrázek 14 Machardův prusík

### Vánočkový prusík (ABoK #1758)

Vánočkový prusík (viz Obrázek 15) 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 zkušený 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 záchranných činnostech, protože se s ním dá pracovat i při zatížení jak již bylo zmíněno výše (Michalička a kol., 2019).









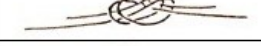
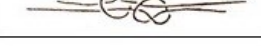


Obrázek 15 Vánočkový prusík

## 4.5 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 16). 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 utahání 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%
vúdcovská smyčka		50%
UZLY SPOJOVACÍ		
Název uzlu	Tvar	Pevnost lana s uzlem proti pevnosti lana nominální
dvojitý rybářský		56%
osmičkový protiběžný		48%
škotový uzel		45%
vúdcovský protiběžný		44%
jednoduchý rybářský		39%

Obrázek 16 Pevnost uzlů (Frank, Kublák a kol., 2007)

# EMPIRICKÁ ČÁST PRÁCE

## 5 Výzkumná otázka, Cíle, Úkoly, Hypotézy

### 5.1 Výzkumná otázka

Jsou výsledné rázové síly vznikající při dynamickém zatížení závislé na hodnotě pádového faktoru a použitém samosvorném systému?

### 5.2 Cíle

Pomocí experimentu zjistit výslednou rázovou sílu vznikající u vybraných samosvorných systémů při rozdílných hodnotách pádového faktoru.

Jakých maximálních hodnot délky pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem a maximální hmotnosti břemene lze dosáhnout, aniž by systém selhal.

Zjistit korelaci mezi velikostí rázové síly a délkou prokluzu.

### 5.3 Úkoly

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| a) Analýza provedených výzkumů               | e) Příprava materiálu           |
| b) Rešerše odborné literatury                | f) Provedení měření             |
| c) Zajištění materiálu a zkušebních prostorů | g) Shromáždění a zpracování dat |
| d) Pretestace                                | h) Vyhodnocení                  |
|  | i) Finalizace a obhajoba práce  |

### 5.4 Hypotézy

1. Předpokládáme že, výsledná rázová síla bude záviset na velikosti pádového faktoru.
2. Věříme že, nejvyšších hodnot maximální délky pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem (vzdálenost A) a maximální hmotnosti břemene bude dosahovat Vánočkový prusík.
3. Očekáváme že, délka prokluzu bude korelovat s velikostí výsledné rázové síly při jednotlivých pádových faktorech.

## 6 Metodika výzkumu

Diplomová práce popisuje laboratorní experiment, ve kterém byl zjišťován vliv pádového faktoru na vzniklou rázovou sílu působící na břemeno. Pro testování bylo vybráno stejných pět samosvorných uzlů jako v článku (Michalička a Telvák, 2021), na který tato práce navazuje a jeden samosvorný uzel byl přidán pro rozšíření výzkumného vzorku. Všechny samosvorné uzly byly uvázané z 6mm pomocné Reep šňůry na 11mm nízkoprůtažné lano. Tyto samosvorné uzly a materiál byly vybrány, z důvodu nejčastějšího používání ve vojenském lezení (Michalička a kol., 2019).

### 6.1 Laboratorní měření

Pro modelovou situaci této práce uvažujeme následovně. Lezec postupuje po laně pomocí techniky výstupu či sestupu po fixním laně (viz Kapitola 1.3). Nastane situace, kdy lezci při výstupu selže jeden ze samosvorných uzlů a on padá. V této fázi padá volným pádem až do zachycení druhým samosvorným uzlem (vzdálenost A) a působí na něj a celý systém rázová síla.

Vliv pádového faktoru na rázovou sílu byl zkoumán na certifikované zkušební pádové věži pro testování dynamického zatížení (viz Obrázek 17). Experiment probíhal v laboratorních podmínkách při teplotě od 21°C do 24°C. Vlhkost v polygonu se pohybovala mezi 46 a 58 % rh. Osvětlení bylo po celou dobu zajištěno zářivkovými trubnicemi. Testování probíhalo 10. 3. 2022 od 8:00 h do 16:00 h v polygonu společnosti Singing Rock v Poniklé.



Obrázek 17 Polygon



## 6.2 Testovaný soubor

### 6.2.1 Vybrané samosvorné uzly

Testovaný soubor byl tvořen šesti samosvornými uzly, které byly navázané z pomocné Reep šňůry na nízkoprůtažné lano. Všechn použitý materiál byl nový a nepoužívaný. Výzkumný vzorek obsahoval dvojitý, trojitý Prusíkův uzel (ABoK #1763), Vánočkový prusík (ABoK #1758) a Machardův prusík (ABoK #1962). Tyto uzly byly vybrány z důvodu nejčastějšího používání ve vojenském lezení (Michalička a kol., 2019). Uzly Blake (ABoK #1963) a Distel (ABoK #1465) byly vybrány na základě vyhodnocení kurzu speciální tělesné přípravy pro vedoucí instruktory vojenského lezení a byly nově zařazeny do kurzů „obnov“ licence Instruktora (Čj. MO 342612/2019-8297).

### 6.2.2 Použité lano

Ve vojenském lezení se nejčastěji používá statické lano 10 – 11 mm, proto jsem pro tento experiment zvolil lano STATIC 11.0 od Singing Rocku, které vyhovuje normě ČSN EN 1891:2000. Dle normy je minimální statická pevnost bez zakončení 22 kN pro nízkoprůtažné lana s opláštěným jádrem skupiny A. Minimální statická pevnost uváděná výrobcem je ale 34,5 kN (viz Příloha 1)

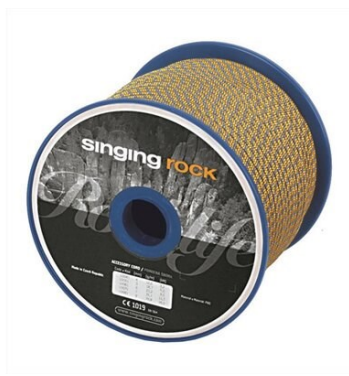
Toto lano je pleteno tandemovým typem a využívá se k tomu 48 paliček. Jádro lana je z polyamidu a je tvořeno z osmi přízí v zákrutu „S“ + sedm přízí v zákrutu „Z“ nebo sedmi přízí v zákrutu „S“ + osm přízí v zákrutu „Z“. Oplet lana je rovněž z polyamidu a zhotovují ho paličky ve směru „S“ při 24 cívkách po 1 přízi a paličky ve směru „Z“ také při 24 cívek po 1 přízi. Lano je vybaveno značící páskou Singing Rock A dle EN 1891 (viz Obrázek 18).



Obrázek 18 Značící páska Singing Rock A

### 6.2.3 Použitá pomocná Reep šňůra

Pro testování byla vybrána 6mm pomocná Reep šňůra značky Singing Rock (viz Obrázek 19). Tato Reep šňůra má dle normy ČSN EN 564: 2015 minimální pevnost v přetrhu 7,2 kN, výrobce udává vyšší pevnost a to 9 kN, nicméně reálná pevnost je 10 kN (viz Příloha 2), což bylo zjištěno při testování v průběhu předchozí práce (Michalička a Telvák, 2021). Tato šňůra je pletena jednoduchým typem pletení, kdy je využito 24 paliček. Jádro 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“.



Obrázek 19 Pomocná Reep šňůra (Singing Rock, 2022)

### 6.2.4 Použité karabiny

Pro všechna testování byly použity oválné karabiny značky Singing Rock. Karabiny jsou vyrobeny z oceli, jejich pevnost v podélné ose je 30 kN. Typ zámku karabin je šroubovací (viz Obrázek 20).



Obrázek 20 Oválná ocelová karabina (Singing Rock, 2022)

### 6.3 Zkušební zařízení

Pro experiment byla použita pádová věž v polygonu společnosti Singing Rock v Poniklé. Použitý tenzometr (viz Obrázek 21) snímal 50.000 snímků za sekundu, další informace o použitém tenzometru obsahuje Příloha 3. Pro digitální filtrování snímků byl použit typ filtru Butterworth. Jako měřící zařízení byl použit AD14ETH, což je DAQ modul 14 bitů/400 kHz připojený k PC. Má programovatelné zesílení 1 až 8 a inteligentní scan vstupů. Všestranný ARM Cortex M3 procesor umožňuje číslicovou filtraci se zvýšením rozlišení až na 16 bitů. Mezi tenzometrem a hardwarem AD14ETH se nachází ještě zařízení pro zesílení signálu tenzometru, které bylo vyráběno na zakázku a není k němu žádný technický list.

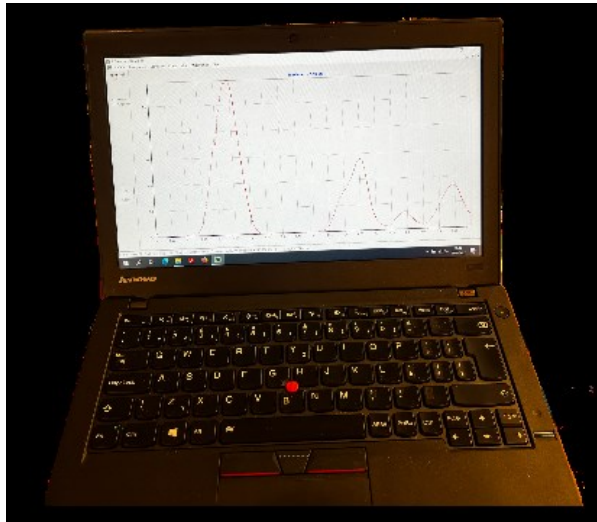


Obrázek 21 Tenzometr

## 6.4 Metodika získávání a popis dat

### 6.4.1 Rázová síla

Veškerá získaná data o rázové síle ze zkušebního zařízení se ukládala do připojeného počítače v podobě grafů (viz Obrázek 22). Jako výsledná rázová síla pro tento experiment byla považována nevyšší zaznamenaná hodnota neboli „peak“ (viz Graf 1).



Obrázek 22 Počítač s výsledným grafem

### 6.4.2 Prokluz

Délka prokluzu byla měřena svinovacím metrem. Na každém vzorku byla zakreslená značka pomocí popisovače k označování lan Singing Rock OOPP (Obrázek 24). Značka byla vyznačena na lano těsně nad samosvorným uzlem, který byl 2 cm po kotvicím uzlem (viz Obrázek 23). Jako prokluz byla zaznamenávána vzdálenost od označení popisovačem k samosvornému uzlu.



Obrázek 24 Popisovač OOPP (Hanibal, 2022)



Obrázek 23 Pozice značky

## 6.5 Design měření

Pro zjištění vlivu pádového faktoru na rázovou sílu a tím navázání na článek (Michalička a Telvák, 2021) bylo třeba zajistit prostory s vhodným měřicím zařízením a potřebný materiál. Oslovil jsem proto společnost Singing Rock, která byla ochotná poskytnout vše potřebné. V lednu proběhla osobní návštěva jejich polygonu pro testování horolezeckého materiálu, kde jsem ověřoval, zda měřicí zařízení odpovídá požadavkům experimentu této práce a také mi bylo umožněno udělat prvotní měření.

### 6.5.1 Počet pádů

Počet testů při daném pádovém faktoru pro jednotlivé uzly byl stanoven na základě rešerše literatury, materiálové a časové náročnosti. Díky těmto limitujícím faktorům bylo stanoveno pro jeden samosvorný uzel 5 testů při stejném pádovém faktoru. Ve výzkumech zabývajících se podobnou problematikou se počet pádů pohyboval obdobně (Lehner, 2012; Michalička, Oláh, Kučera, 2021; Michalička Telvák 2021).

### 6.5.2 Břemeno

Hmotnost břemene neboli lezce byla stanovena na 80 kg na základě normy ČSN EN 892+A2. Průměrná hmotnost vojáků z jednotlivých útvarů se nelišila (Pohl, 2020). Břemeno bylo v podobě železných kotoučů spojených ocelovým nosičem s okem pro karabinu (viz Obrázek 25).



Obrázek 25 Břemeno

### 6.5.3 Délka pádu

Délka pádu závisela na délce pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem. Dále ji určoval pádový faktor. Délka pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem byla stanovena na 40 cm. V lezeckých technikách, kde se využívají samosvorné uzly je tato vzdálenost podstatná pro dobrou manipulaci (Michalička, 2019). Pro experiment byl vybrán pádový faktor 1, kde byla délka pádu 40 cm, pádový faktor 1,5 s délkou pádu 60 cm a pádový faktor 2 s délkou pádu 80 cm.

Tyto pádové faktory byly vybrány na základě běžně používaných hodnot ve vědecké literatuře (Attaway, 1996) a praxe, aby si lezec mohl dobře představit přibližnou hodnotu pádového faktoru v případě pádu.

### 6.5.4 Příprava materiálu

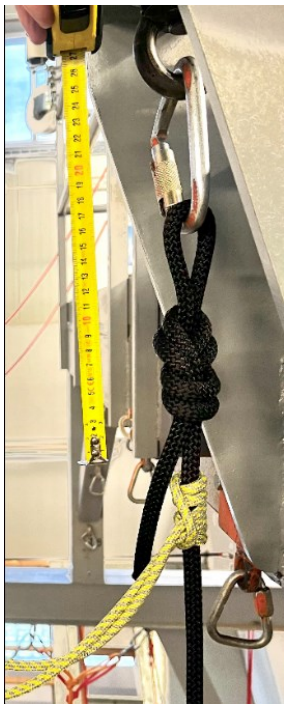
Poskytnuté lano a pomocnou Reep šňůru od společnosti Singing Rock bylo třeba nejprve nařezat tavným nožem. Všechny připravené vzorky lana měřily 2 m (EN 1891). Pomocná Reep šňůra byla nařezána tak aby splňovala po navázání samosvorného uzlu požadovanou vzdálenost A mezi ním a břemenem. Délky pomocné Reep šňůry (viz Tabulka 1). Následně byl na všech nařezaných lanech vytvořen kotvící bod pomocí stejnosměrného osmičkového uzlu a z pomocných Reep šňůr navázány vybrané samosvorné uzly. Celkem bylo vytvořeno 90 vzorků.

	Délka Reep šňůry (cm)
Dvojitý Prusíkův uzel (ABoK #1763)	165
Trojité Prusíkův uzel (ABoK #1763)	190
Blake (ABoK #1693)	150
Distel (ABoK #1465)	170
Vánočkový prusík (ABoK #1758)	320
Machardův prusík (ABoK #1962)	200

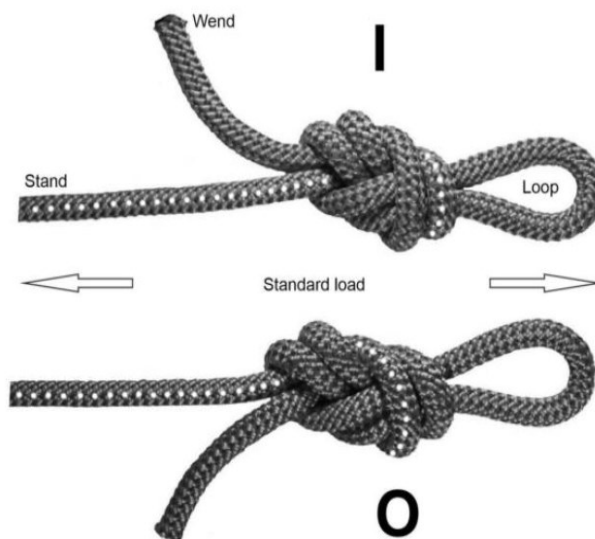
Tabulka 1 Délky pomocné Reep šňůry

### 6.5.5 Kotevní bod

Kotevní bod byl zhotoven pomocí stejnosměrného osmičkového uzlu z 11 mm lana a ocelové karabiny s pevností 30 kN, která byla připevněna do zabudovaného tenzometru (viz Obrázek 27). Tento uzel se používá při dynamickém testování lan (ČSN EN 892+A2). Pro experiment bylo využito uvázání osmičkového uzlu typu „I“, stejně jako se využívá pro testování lan dle normy EN 1891 a EN 892 (Šimon, Dekýš, Palček, 2020).



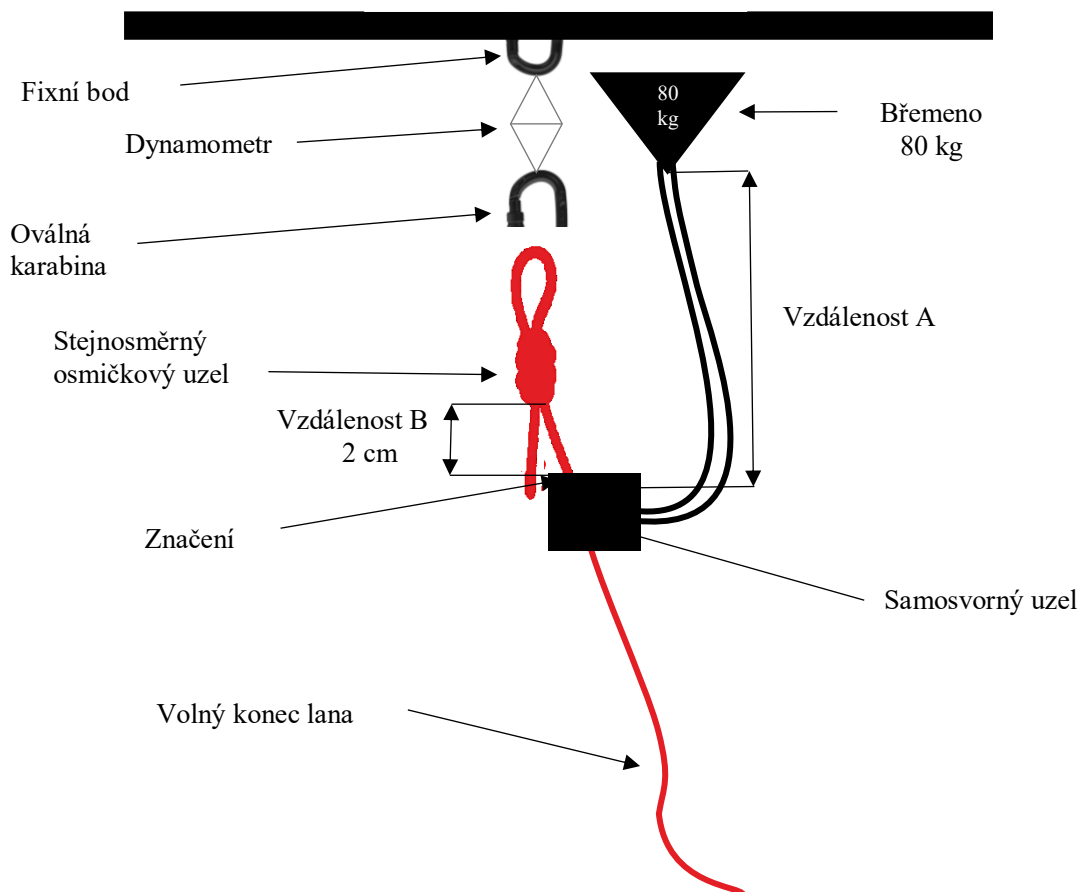
Obrázek 27 Kotevní bod



Obrázek 26 Standardně zatížený osmičkový uzel, geometrie I a O (Šimon, Dekýš, Palček, 2020)

### 6.5.6 Průběh experimentu

Před dynamickým testem bylo lano s navázaným stejnosměrným osmičkovým uzlem zatíženo osmdesáti kilovým závažím pro simulaci dotažení lezcem. Připravené vzorky byly ještě zatíženy pětakilovým závažím zavěšeným do samosvorného uzlu pro dosažení stejného dotažení (Komorous, 2016, Michalička a Telvák, 2021). Následně byl vzorek označen popisovačem lan a pomocí karabiny zavěšen na pádovou věž (viz Obrázek 28). Každý samosvorný uzel byl podroben pěti testům při stejném pádovém faktoru. Po testu byl změřen prokluz samosvorného uzlu svinovacím metrem a vzorek uschován (Michalička a Telvák, 2021).



Obrázek 28 Schéma experimentu

## 6.6 Postupy vázání využitých uzlů

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

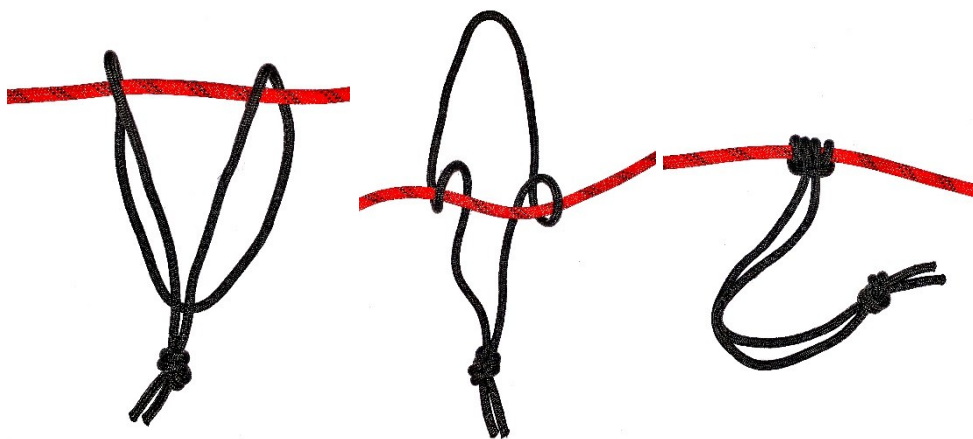
Samosvorné uzly dvojité, trojitý prusík a Vánočkový prusík se vážou z kulaté Reep šňůry spojené do smyčky pomocí stejnosměrného vůdcovského uzlu. Blake a Distel vážeme z volné Reep šňůry.



### Dvojitý a trojitý Prusíkův uzel (ABoK #1763)

1. Vytvoříme ohyb na uzavřené smyčce, položíme ho na lano a překlopíme 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

(viz Obrázek 29)

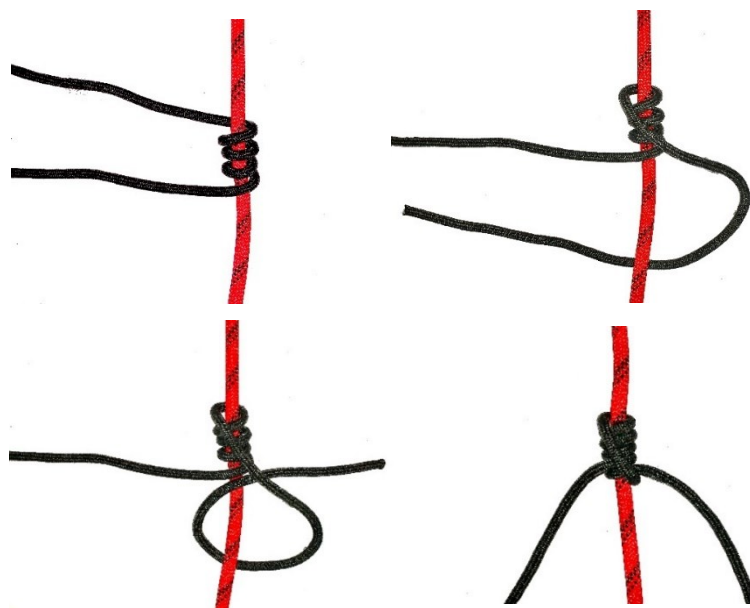


Obrázek 29 Postup vázání dvojitého Prusíkova uzlu

### Uzel Distel (ABoK #1465)

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

(viz Obrázek 30)

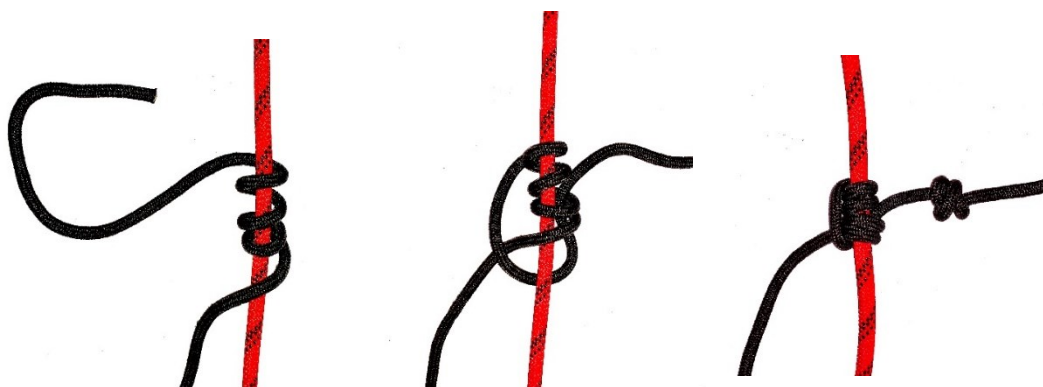


Obrázek 30 Postup vázání uzlu Distel

### **Uzel Blake (ABoK #1693)**

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

(viz Obrázek 31)



Obrázek 31 Postup vázání uzlu Blake

### **Vánočkový prusík (ABoK #1758)**

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 (viz Obrázek 32)



Obrázek 32 Postup vázání Vánočkového prusíku

### **Machardův prusík ABoK #1962)**

1. Pomocnou Reep šňůru minimálně čtyřikrát spirálovitě ovineme kolem lana směrem dolů
2. Volný konec spojený vůdcovským uzlem provlékneme vzniklým okem
3. Uzel srovnáme a dotáhneme

(viz Obrázek 33)

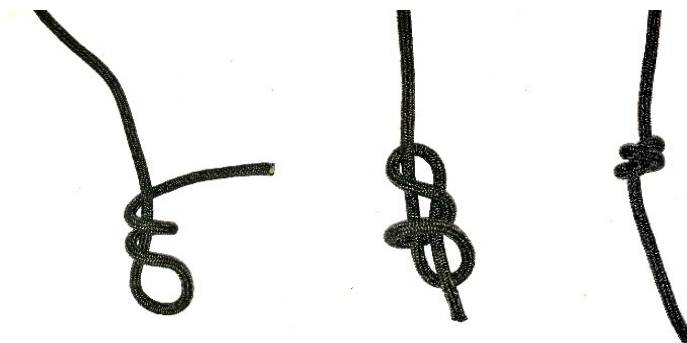


Obrázek 33 Postup vázání Machardova prusíku

### **Dvojitý rybářský uzel (ABoK #498)**

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

(viz Obrázek 34)

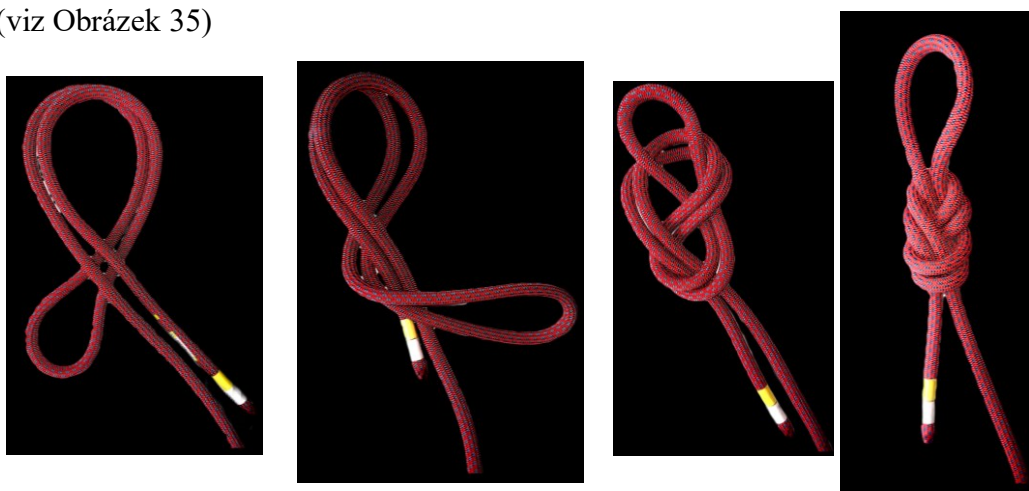


Obrázek 34 Postup vázání dvojitého rybářského uzlu

### **Stejnoseměrný osmičkový uzel (ABoK #518)**

1. Ze dvou pramenů lana vytvoříme ohyb
2. Vzniklé oko přehneme zpět přes oba prameny lana
3. Vzniklé oko provlékneme okem z obou pramenů lana
4. Uzel dotáhneme

(viz Obrázek 35)



Obrázek 35 Postup vázání stejnosměrného osmičkového uzlu

## 6.7 Rozsah platnosti

- Omezení

Rozsah výzkumného souboru byl limitován počtem pokusů, tedy pět dynamických testů při stejném pádovém faktoru pro každý samosvorný uzel. Dále byl limitován měřícím zařízením, ze kterého bylo možné získat pouze grafy v podobě PDF. Nebylo tedy možné z grafů vyčíst přesné hodnoty rázové síly v průběhu zatěžování, časové údaje a plochu grafu.

- Vymezení

Výsledky této práce se nedají zobecnit pro všechny pomocné Reep šňůry a lana. Platná jsou pouze pro výzkumný vzorek této práce (lano Singing Rock STATIC 11, pomocná Reep šňůra Singing Rock 6 mm)

## 6.8 Zpracování dat

### 6.8.1 Popisná analýza

Teoretická východiska práce byla zpracována na základě nashromážděných dat a informací z odborné literatury, zabývající se danou problematikou. Odborné výzkumy a články byly vyhledány pomocí internetového portálu scholar.google.com, pubmed.ncbi.nlm.nih.gov, webofknowledge.com a researchgate.net. Pomocí klíčových slov a filtrů byly články a výzkumy omezeny na související s cílem práce.

### 6.8.2 Statistické zpracování

Výsledky délek prokluzů a rázových sil byly vyhodnoceny pomocí deskriptivní statistiky (průměr, směrodatná odchylka, maximum, minimum). Jednotlivé hodnoty byly dále porovnány mezi sebou a zapsány do tabulek. Formou sloupcových grafů byly zobrazeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky. Spojnicovými grafy bylo vyjádřeno porovnání mezi samosvornými uzly v daných pádových faktorech. Pomocí přímé úměrnosti (viz Tabulka 2) byly vypočteny hodnoty maximální možné hmotnosti břemene a maximální délky pomocné Reep šňůry, což je vzdálenost A (viz Obrázek 28).

<b>Maximální možná vzdálenost A</b>	<b>Maximální možná hmotnost břemene</b>
$s_{max} = \frac{s}{f_1} \times f_2$	$m_{max} = \frac{m}{f_1} \times f_2$
<b>f<sub>1</sub></b> = Rázová síla	<b>f<sub>2</sub></b> = Maximální pevnost systému
<b>s</b> = Vzdálenost A	<b>m</b> = Hmotnost lezce
<b>s<sub>max</sub></b> = Maximální možná vzdálenost A	<b>m<sub>max</sub></b> = Maximální možná hmotnost břemene

Tabulka 2 Vzorce pro výpočet

Statistické testy byly zpracovány pomocí bezplatného off-line softwaru JASP (JASP Team, 2022). Výsledky jsou uváděny jako průměr ± SD. Parametrické testy byly provedeny po potvrzení předpokladu normality dat pomocí Shapiro-Wilkova W-testu. Sféricita byla posouzena pomocí Mauchlyho W, pokud byly porušeny předpoklady o sféricitě, byla použita Greenhouse-Geisserova korekce. Pro porovnání výsledné rázové síly a prokluzu pro jednotlivé uzly v odlišných pádových faktorech byla data analyzována pomocí dvoucestné analýzy rozptylu (ANOVA) s opakovanými měřeními (pádový faktor [1; 1,5; 2] x uzel [dvojitý Prusík; trojitý Prusík; Blake; Distel; Vánočkový prusík; Machardův prusík]). Pokud ANOVA prokázala významnou interakci mezi pádovým faktorem a uzly, byly rozdíly testovány pomocí post-hoc testu s Bonferroniho korekcí. Hladina statistické významnosti byla stanovena na  $p < 0,05$ .

## 7 Výsledky

Tato část práce se věnuje vyhodnocení a porovnání naměřeným hodnotám rázových sil a prokluzů. Všechny vybrané samosvorné uzly byly testovány pětkrát při stejném pádovém faktoru. Celkem každý samosvorný uzel patnáctkrát ve třech odlišných podmínkách, jež byly tvořeny pádovými faktory.

Výsledky byly vyhodnoceny deskriptivní statistikou. Byly dopočítány hodnoty maximální možné délky pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem, neboli vzdálenost A a maximální hodnoty hmotnosti břemene pomocí přímé úměrnosti (viz Kapitola 6.8.2).

Z naměřeným devadesáti testů bylo vybráno pět (jeden od každého uzlu), u kterých byl popsán průběh dynamického zatěžování samosvorného uzlu prostřednictvím grafu. Grafy ostatních pokusů jednotlivých uzlů jsou obdobné. Naměřené silové hodnoty jsou zaokrouhleny na setiny kilonewtonu, vzdálenostní na desetiny centimetru a hmotnostní na celé kilogramy.

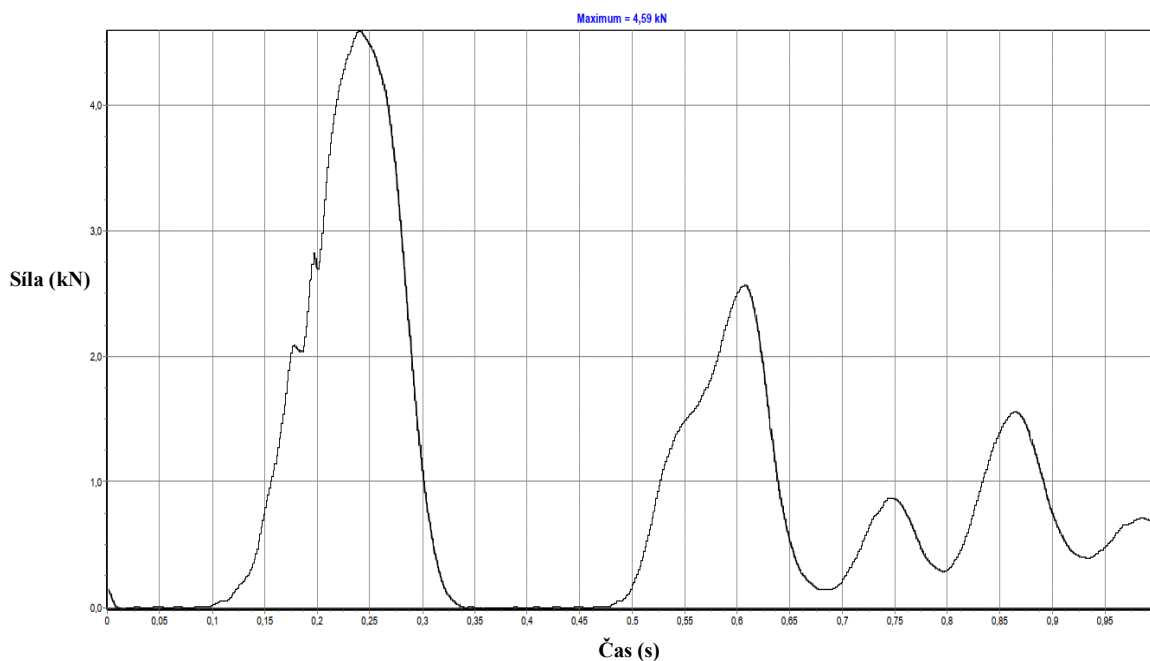
Výsledné hodnoty jsou zpracovány do tabulek, ve kterých jsou zobrazené jednotlivé hodnoty rázových sil v čase, ke kterým docházelo při dynamickém zatížení. Tyto data jsou maximální zaznamenané hodnoty, neboli „peaky“ z jednotlivých měření. Následně jsou zde popsány grafy, znázorňují dynamiku zatěžování samosvorných uzlů a grafy porovnávající jednotlivé samosvorné uzly mezi sebou. Poslední dvě tabulky zobrazují hodnoty maximální možné hmotnosti břemene a maximální délky pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem při jednotlivých pádových faktorech.

Při žádném z devadesáti měření nenastalo poškození lana či pomocné Reep šňůry, které by bylo natolik rozsáhlé, aby došlo k jejich přetržení. V žádném z pokusů tedy nedošlo k úplné destrukci systému.

V Grafu 15 a Grafu 16 není zahrnut Machardův prusík, jelikož nebyl předmětem testování v předchozí práci, a jeho hodnoty maximální pevnosti jsou nám neznámi.

## 7.1 Dvojitý Prusíkův uzel (ABoK #1763)

Hodnoty znázorněné Grafem 1 ilustrují obecné chování dvojitého Prusíkova uzlu při dynamickém zatížení. Graf 1 zobrazuje nárůst zatížení při pokusu č. 1 při pádovém faktoru 1. Maximální rázové síly 4,59 kN bylo dosaženo po 0,227 s. Na vzestupné křivce k „peaku“ můžeme vidět, jak se systém dotahoval a tím došlo k menším poklesům zatížení. V čase od 0,227 s do 0,325 s došlo k poklesu zatížení až na 0,00 kN. To je způsobeno kmitáním systému, které břemeno nadlehčilo. Zatížení začalo opět narůstat v 0,480 s až do 0,613 s, kdy dosáhlo 2,53 kN. Následně díky kmitání hodnota zatížení opět začala klesat až na 0,125 kN. Podobným způsobem dynamické zatížení pokračovalo až do úplného zastavení kmitajících pohybů a test byl ukončen.



Graf 1 Dvojitý Prusíkův uzel pokus č. 1, PF – 1

Tabulka 3 ukazuje průměrnou hodnotu rázové síly působící na dvojitý Prusíkův uzel při jednotlivých pádových faktorech. Průměrná hodnota rázové síly při pádovém faktoru 1 byla 4,70 kN, při pádovém faktoru 1,5 byla 5,57 kN a při pádovém faktoru 2 byla průměrně naměřena rázová síla 6,45 kN. Největší rázová síla byla naměřena při pádovém faktoru 2 při pokusu č. 1. Dále v této tabulce jsou zobrazeny délky prokluzů dvojitého



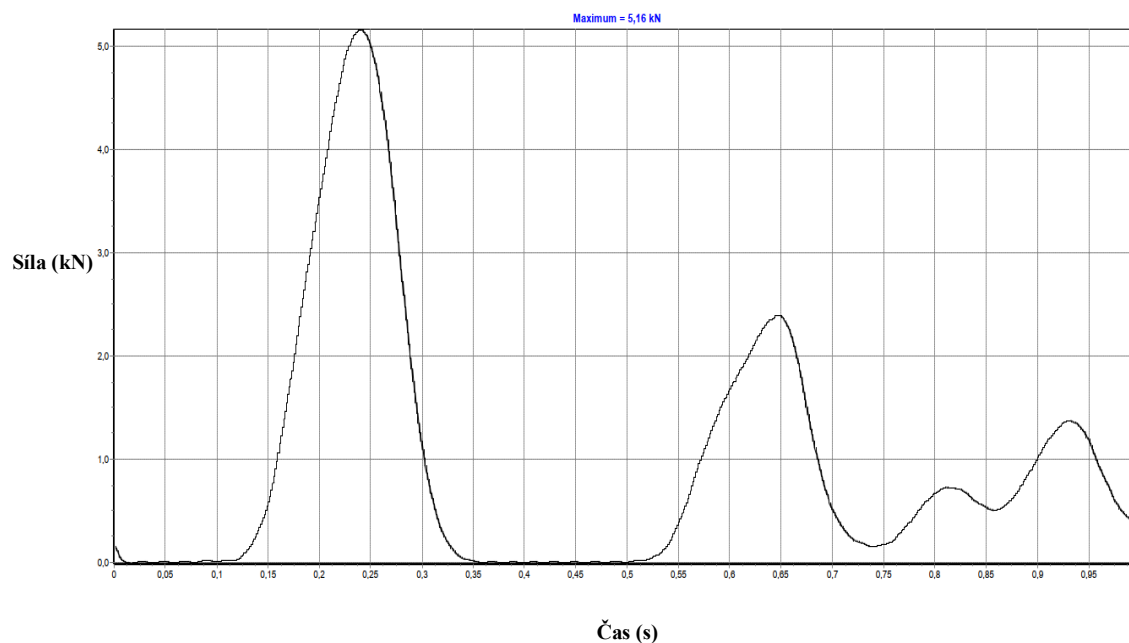
Prusíkova uzlu po laně. Při pádovém faktoru 1 byla průměrná délka prokluzu 5,20 cm. Průměrná délka prokluzu 4,30 cm byla naměřena při pádovém faktoru 1,5 a 6 cm při pádovém faktoru 2. Nejdelší prokluz 8 cm byl naměřen při pádovém faktoru 1 při 3. pokusu.

Pokus č.	Rázová síla (kN)			Délka prokluz (cm)		
	PF-1	PF-1,5	PF-2	PF-1	PF-1,5	PF-2
1	4,59	5,24	6,51	4,5	4,5	6,0
2	4,64	5,73	6,17	4,5	6,0	6,0
3	4,70	5,8	6,42	8,0	3,5	6,5
4	4,88	5,48	6,45	4,0	3,5	7,0
5	4,70	5,62	6,45	5,0	4,0	7,0
<b>Průměr</b>	<b>4,70</b>	<b>5,57</b>	<b>6,40</b>	<b>5,2</b>	<b>4,3</b>	<b>6,5</b>
<b>SD</b>	0,10	0,20	0,12	1,4	0,9	0,4
<b>Max.</b>	4,88	5,8	6,51	8,0	6,0	7,0
<b>Min.</b>	4,59	5,24	6,17	4,0	3,5	6,0

Tabulka 3 Výsledky dvojitého Prusíkova uzlu

## 7.2 Trojitý Prusíkův uzel (ABoK #1763)

Hodnoty obsažené v Grafu 2 nejlépe ilustrují obecné chování trojitého Prusíkova uzlu při dynamickém zatížení. Průběh dynamického zatížení trojitého Prusíkova uzlu je obdobný jako u Dvojitého Prusíkova uzlu. Tento graf, z měření č. 3 při pádovém faktoru 1, zobrazuje plynulý nárůst zatížení k „peaku“ bez sebemenšího prokluzu. První prokluz po byl až po dosažení maximální rázové síly 5,16 kN v čase 0,23 s. Tento prokluz trval 0,13 s a zatížení kleslo až na 0,00 kN, což opět způsobil kmit a následné nadlehčení systému. Zatížení začalo opět narůstat v 0,50 s až k rázové síle 2,27 kN. Poté samosvorný uzel opět proklouzl až na hodnotu 0,21 kN. Následovalo střídání nárůstů a poklesů zatížení, neboli kmitání systému až do zastavení.



Graf 2 Trojitý Prusíkův uzel pokus č. 4, PF – 1

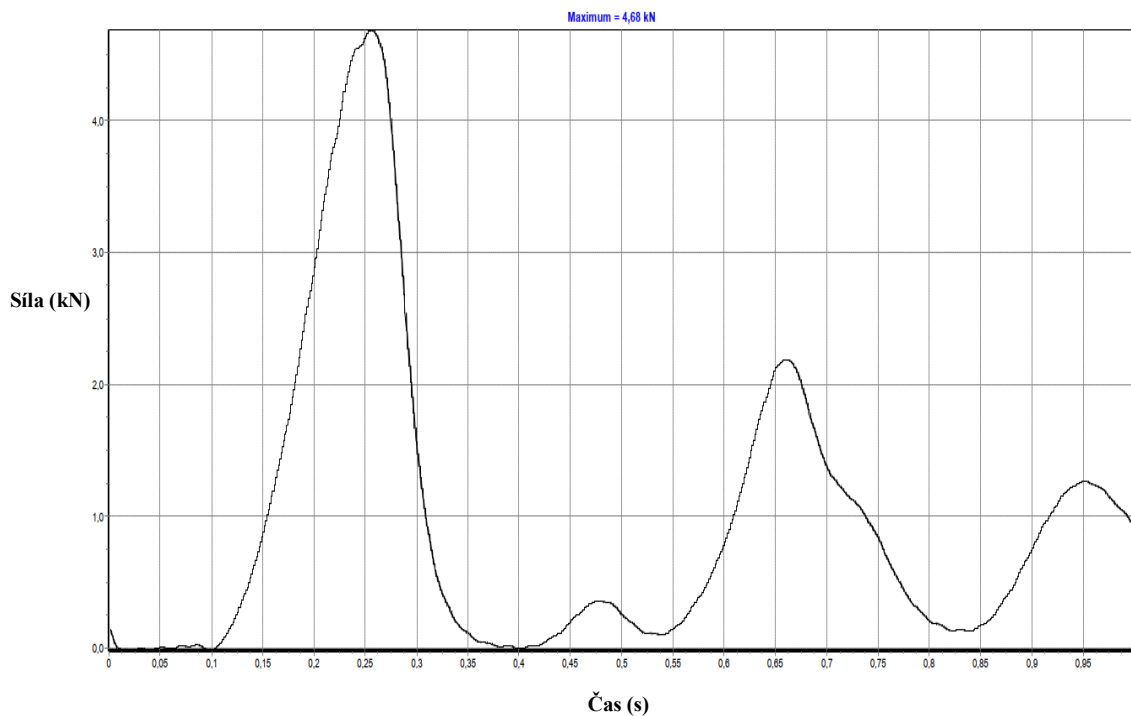
V Tabulce 4 jsou zobrazeny průměrné hodnoty rázové síly působící na dvojitý Prusíkův uzel při jednotlivých pádových faktorech. Při pádovém faktoru 1 byla průměrná rázová síla 5,37 kN, při pádovém faktoru 1,5 byla 6,01 kN a při pádovém faktoru 2 byla 6,99 kN. Nejvyšší rázová síla 5,17 kN byla u tohoto samosvorného uzlu naměřena při pokusu č. 5. V této tabulce dále vidíme hodnoty prokluzu při jednotlivých pokusech. Při pádovém faktoru 1 průměrně prokluzoval samosvorný uzel o 1,7 cm, při pádovém faktoru 1,5 prokluzoval o 2,1 cm a při pádovém faktoru 2 o 2,6 cm. Nejdelší prokluz 3,0 cm byl naměřen při dvou pokusech a to pokus č. 2 a č. 3.

Pokus č.	Rázová síla (kN)			Prokluz (cm)		
	PF-1	PF-1,5	PF-2	PF-1	PF-1,5	PF-2
1	5,59	6,23	6,92	1,5	2,0	2,5
2	5,42	6,19	6,74	2,0	2,0	3,0
3	5,37	6,15	7,12	1,8	2,5	3,0
4	5,16	5,86	7,01	1,0	2,0	2,1
5	5,30	5,64	7,17	2,0	2,0	2,3
<b>Průměr</b>	<b>5,37</b>	<b>6,01</b>	<b>6,99</b>	<b>1,7</b>	<b>2,1</b>	<b>2,6</b>
<b>SD</b>	0,14	0,23	0,15	0,4	0,2	0,4
<b>Max.</b>	5,59	6,23	7,17	2,0	2,5	3,0
<b>Min.</b>	5,16	5,64	6,74	1,0	2,0	2,1

Tabulka 4 Výsledky trojitého Prusíkova uzlu

### 7.3 Uzel Blake (ABoK #1963)

Graf 3 nejlépe vystihuje obecné chování uzlu Blake při dynamickém zatížení, grafy ze zbylých pokusů jsou obdobné. Z tohoto grafu naměřeného při pokusu č. 3 při pádovém faktoru 1 je patrné, že průběh dynamického zatížení až k dosažení „peaku“ je plynulý a bez proklouznutí. Zatížení narůstalo po dobu 0,27 s k hodnotě 4,68 kN, kdy se uzel maximálně dotáhl. Poté uzel Blake proklouzl až na hodnotu 0,00 kN díky kmitavému pohybu systému. Následovalo několik menších nárůstů zatížení a prokluzů až do zastavení systému.



Graf 3 Uzel Blake pokus č. 3, PF – 1

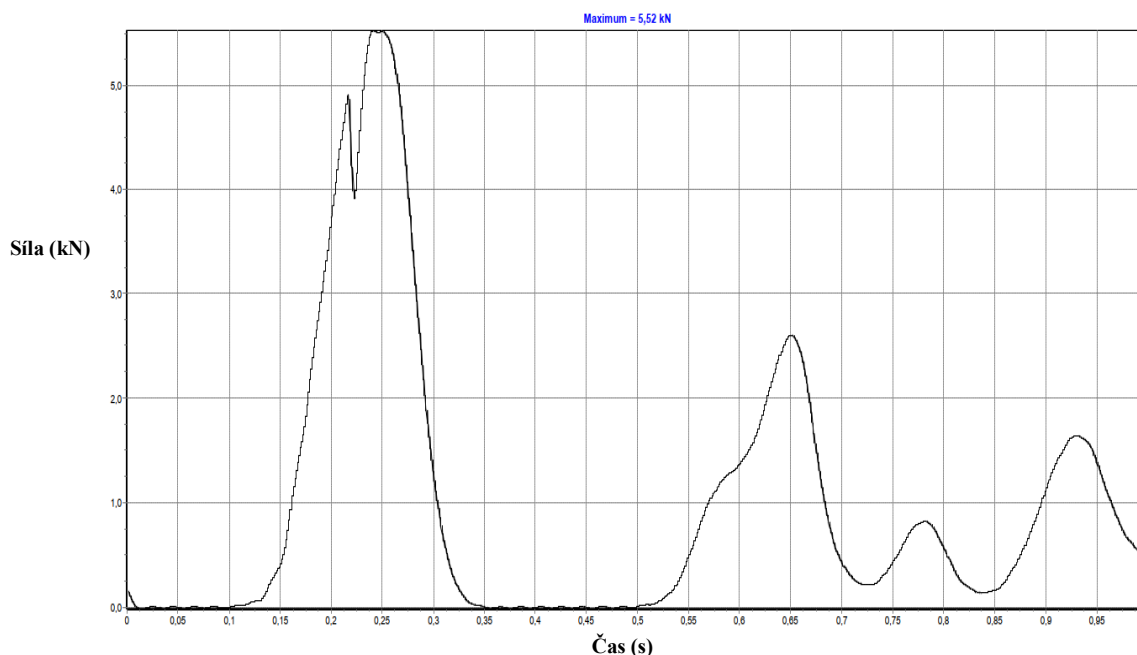
V Tabulce 5 můžeme vidět hodnoty rázové síly, kterých uzel Blake při měření dosahoval a délky jeho proklouznutí. Při pádovém faktoru 1 byla průměrně naměřena rázová síla o velikosti 4,92 kN, při pádovém faktoru 1,5 byla 5,83 a při pádovém faktoru 2 byla 6,62. Nejvyšší rázová síla 6,88 byla naměřena při pokusu č. 3 při pádovém faktoru 2. Uzel Blake průměrně prokluzoval při pádovém faktoru 1 o 0,8 cm, při pádovém faktoru 1,5 prokluzoval o 1,3 cm a o 1,5 cm při pádovém faktoru 2.

Pokus č.	Rázová síla (kN)			Prokluz (cm)		
	PF-1	PF-1,5	PF-2	PF-1	PF-1,5	PF-2
1	4,85	5,71	6,59	1,0	1,4	2,0
2	4,95	5,80	6,55	0,8	1,1	1,6
3	4,68	5,88	6,88	0,3	1,6	1,4
4	4,99	5,86	6,63	0,7	1,1	1,3
5	5,15	5,89	6,47	1,0	1,5	1,4
<b>Průměr</b>	<b>4,92</b>	<b>5,83</b>	<b>6,62</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>
<b>SD</b>	0,16	0,07	0,14	0,3	0,2	0,2
<b>Max.</b>	5,15	5,89	6,88	1,0	1,6	2,0
<b>Min.</b>	4,68	5,71	6,47	0,3	1,1	1,3

Tabulka 5 Výsledky uzlu Blake

## 7.4 Distel (ABoK #1465)

Graf 4 ilustruje obecné chování uzlu Distel při dynamickém zatížení, grafy z ostatních pokusů jsou podobné. Na první pohled můžeme na vzestupné křivce vidět menší prokluz při dotahování samosvorného uzlu. Při hodnotě 4,80 kN v čase 1,18 s Distel proklouzl, ale hned se opět zaklesl do lana a hodnota rázové síly stoupala až k „peaku“, kterého dosáhla po 0,23 s při hodnotě 5,52 kN. Poté samosvorný uzel opět proklouzl a hodnota rázové síly klesla až na 0,00 kN díky následnému kmitavému pohybu systému. Střídání zatížení a odlehčení systému díky kmitání opět pokračovalo až do zastavení.



Graf 4 Distel pokus č. 2, PF – 1,5

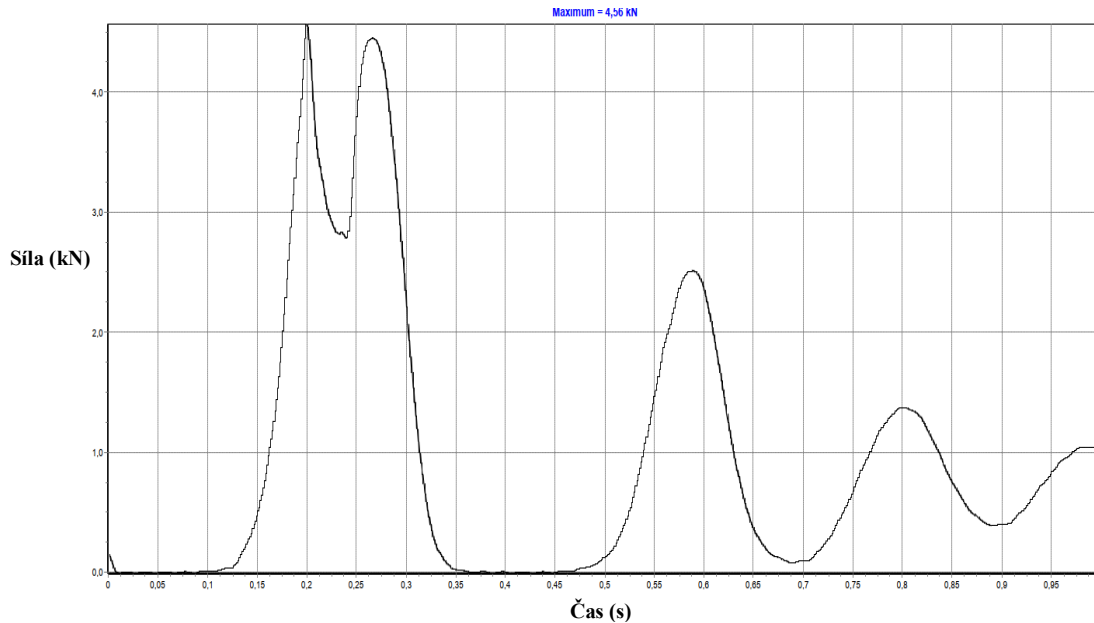
V Tabulce 6 jsou zobrazeny hodnoty rázové síly působící na uzel Distel při dynamickém zatížení a hodnoty délek prokluzů. Při pádovém faktoru 1 byla naměřena průměrná rázová síla 5,17 kN, při pádovém faktoru 1,5 byla rázová síla průměrně 5,77 kN a 6,73 kN při pádovém faktoru 2. Nejvyšší naměřená rázová síla 6,90 kN u tohoto samosvorného uzlu byla naměřena při pokusu č. 5 při pádovém faktoru 2. Uzel Distel průměrně prokluzoval při pádovém faktoru 1 o 2,4 cm, při pádovém faktoru 1,5 prokluzoval o 3,8 cm, a při pádovém faktoru 2 o 4,3 cm. Nejdélší prokluz 5,6 cm byl při pokusu č. 3.

Pokus č.	Rázová síla (kN)			Prokluz (cm)		
	PF-1	PF-1,5	PF-2	PF-1	PF-1,5	PF-2
<b>1</b>	5,12	5,90	6,60	2,8	3,3	5,0
<b>2</b>	5,07	5,52	6,89	2,1	5,4	3,1
<b>3</b>	5,29	5,80	6,50	2,2	2,1	5,6
<b>4</b>	5,08	5,44	6,78	1,6	4,5	3,5
<b>5</b>	5,30	6,21	6,90	3,4	3,6	4,5
<b>Průměr</b>	<b>5,17</b>	<b>5,77</b>	<b>6,73</b>	<b>2,4</b>	<b>3,8</b>	<b>4,3</b>
<b>SD</b>	0,10	0,28	0,16	0,6	1,1	0,9
<b>Max.</b>	5,30	6,21	6,90	3,4	5,4	5,6
<b>Min.</b>	5,07	5,44	6,50	1,6	2,1	3,1

Tabulka 6 Výsledky Uzlu Distel

## 7.5 Vánočkový prusík (ABoK #1758)

Měření zobrazené Grafem 5 nejlépe vystihuje obecné chování Vánočkového prusíky při dynamickém zatěžování, grafy ze zbylých pokusů jsou obdobné. U tohoto grafu vidíme poměrně velký prokluz hned po dotažení uzlu a dosažení „peaku“ rázovou silou při 4,56 kN v čase 0,20 s. Pokles zatížení při tomto prokluzu byl o 1,78 kN a následně se uzel opět zaklesl do lana a zatížení narůstalo až na hodnotu 4,48 kN. Poté zatížení kleslo až na hodnotu 0,00 kN díky nadlehčení systému způsobené kmitem. Celý systém se opět díky kmitům střídavě zatěžoval a nadlehčoval až do úplného zastavení.



Graf 5 Vánočkový prusík pokus č. 5, PF – 1

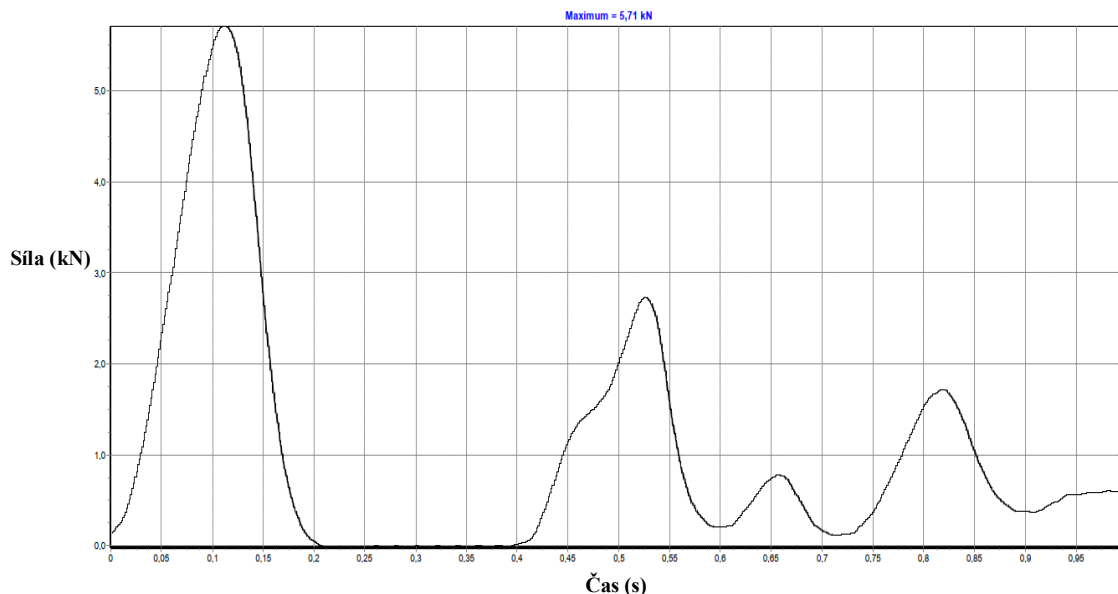
V Tabulce 7 jsou uvedeny výsledky z měření dynamického zatěžování Vánočkového prusíku. Průměrně tento uzel dosahoval při pádovém faktoru 1 rázové síly o 4,16 kN při pádovém faktoru 1,5 dosahoval 4,85 kN a 5,91 kN při pádovém faktoru 2. Maximální naměřená rázová síla 6,07 kN byla opět při pádovém faktoru 2. Vánočkový prusík průměrně prokluzoval při pádovém faktoru 1 o 18,2 cm, při pádovém faktoru 1,5 prokluzoval o 15,1 cm a o 9,8 cm při pádovém faktoru 2.

Pokus č.	Rázová síla (kN)			Prokluz (cm)		
	PF-1	PF-1,5	PF-2	PF-1	PF-1,5	PF-2
1	4,29	5,29	5,72	16,0	6,8	12,5
2	5,00	5,58	5,99	17,0	14,5	9,5
3	2,98	4,00	5,76	24,5	16,0	11,5
4	3,98	4,62	6,07	24,5	21,0	8,5
5	4,56	4,75	5,99	9,0	17,0	7,0
<b>Průměr</b>	<b>4,16</b>	<b>4,85</b>	<b>5,91</b>	<b>18,2</b>	<b>15,1</b>	<b>9,8</b>
<b>SD</b>	0,68	0,55	0,14	5,8	4,7	2,0
<b>Max.</b>	5,00	5,58	6,07	24,5	21,0	12,5
<b>Min.</b>	2,98	4,00	5,72	9,0	6,8	7,0

Tabulka 7 Výsledky Vánočkového prusíku

## 7.6 Machardův prusík (ABoK #1962)

Hodnoty obsažené v Grafu 6 nejlépe ilustrují obecné chování Machardova prusíku při dynamickém zatížení. V tomto grafu můžeme vidět plynulý nárůst zatížení bez prokluzu až k „peaku“, kde se uzel plně dotáhl v čase 0,12 s při hodnotě 5,71 kN. Následoval prokluz, který způsobil pokles zatížení až na hodnotu 0,00 kN. Poté se opět díky kmitavým pohybům systému střídal nárůst s poklesem zatížení až do zastavení.



Graf 6 Machardův prusík pokus č. 4, PF – 1,5

Tabulka 8 zobrazuje hodnoty rázové síly a délky prokluzů z jednotlivých měření dynamického zatížení Machardova prusíku. Při pádovém faktoru 1 byla průměrná rázová síla 5,23 kN, při pádovém faktoru 1,5 byla 6,00 kN a 6,71 kN při pádovém faktoru 2. Nejvyšší rázová síla 7,05 kN byla naměřena při pokusu č. 1 při pádovém faktoru 2. Tento uzel prokluzoval při pádovém faktoru 1 průměrně o 2,2 cm, při pádovém faktoru 1,5 o 1,6 cm a při pádovém faktoru 2 o 2,0 cm. Nejdelší prokluz 3 cm byl naměřen při pádovém faktoru 1,5 při pokusu č. 2 a stejná hodnota byla naměřena i při pokusu č. 1 při pádovém faktoru 2.

Pokus č.	Rázová síla (kN)			Prokluz (cm)		
	PF-1	PF-1,5	PF-2	PF-1	PF-1,5	PF-2
1	5,04	6,13	7,05	1,8	3,0	2,5
2	5,02	5,86	5,92	3,0	2,5	4,5
3	5,45	5,98	6,94	2,0	1,5	2,0
4	5,03	5,71	6,85	2,0	1,5	4,2
5	5,62	6,31	6,78	2,2	1,6	2,0
<b>Průměr</b>	<b>5,23</b>	<b>6,00</b>	<b>6,71</b>	<b>2,2</b>	<b>2,0</b>	<b>3,0</b>
<b>SD</b>	0,25	0,21	0,40	0,4	0,6	1,1
<b>Max.</b>	5,62	6,31	7,05	3,0	3,0	4,5
<b>Min.</b>	5,02	5,71	5,92	1,8	1,5	2,0

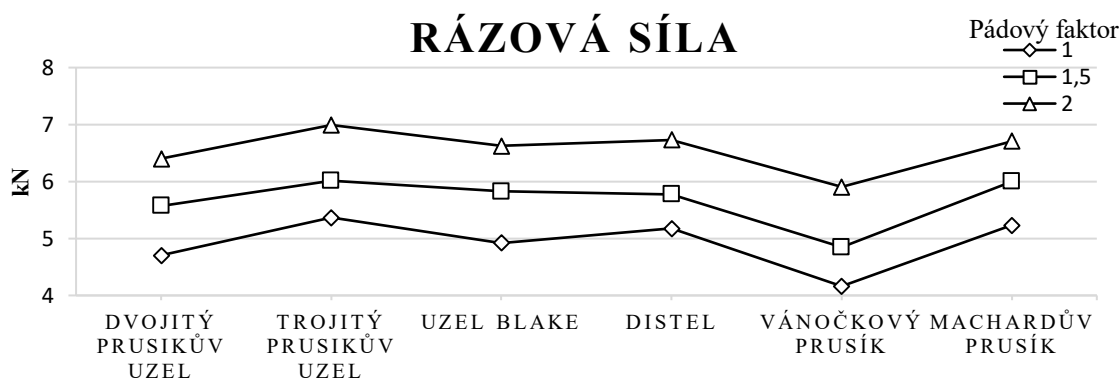
Tabulka 8 Výsledky Machardova prusíku

## 7.7 Komparace výsledných rázových sil

### 7.7.1 Komplex pádových faktorů

V Grafu 7 jsou vyobrazeny průměrné hodnoty rázové síly pro každý uzel v jednotlivých pádových faktorech.

Pro rázovou sílu nebyla nalezena významná interakce mezi pádovým faktorem a uzly ( $F = 0,621$ ;  $p \leq 0,05$ ). Byl však zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými pádovými faktory ( $F = 217,703$ ;  $p \leq 0,05$ ). Přičemž při pádovém faktoru 2 ( $6,56 \pm 0,40$  kN;  $p \leq 0,05$ ) byla produkována vyšší průměrná rázová síla, než u pádového faktoru 1,5 ( $5,67 \pm 0,49$  kN;  $p \leq 0,05$ ) a pádového faktoru 1 ( $4,92 \pm 0,51$  kN;  $p \leq 0,05$ ). Zároveň byl potvrzen statisticky významný rozdíl mezi samosvornými uzly ( $F = 14,636$ ;  $p \leq 0,05$ ), kde průměrná rázová síla dvojitého Prusíkova uzlu ( $5,55 \pm 0,70$  kN;  $p \leq 0,05$ ) ve všech pádových faktorech byla nižší než u trojitého Prusíkova uzlu ( $6,12 \pm 0,69$  kN;  $p \leq 0,05$ ) a uzlu Blake ( $5,79 \pm 0,70$  kN;  $p \leq 0,05$ ).

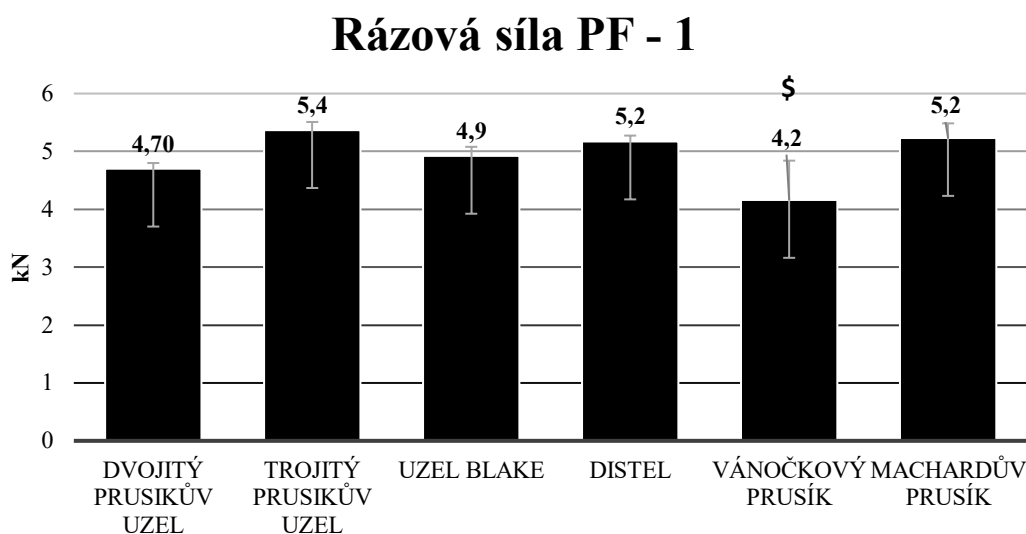


Graf 7 Rázová síla



### 7.7.2 Pádový faktor 1

Graf 8 znázorňuje průměrnou rázovou sílu jednotlivých samosvorných uzlů při pádovém faktoru 1. Zde byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými uzly ( $F = 7,936$ ;  $p \leq 0,05$ ). Přičemž Vánočkový prusík ( $4,162 \pm 0,75$  kN) dosáhl nižší rázové síly než trojitý Prusíkův uzel ( $5,36 \pm 0,15$  kN), uzel Blake ( $4,92 \pm 0,17$  kN), Distel ( $5,17 \pm 0,11$  kN) a Machardův prusík ( $5,23 \pm 0,28$  kN). Pro všechny p hodnoty platí ( $p \leq 0,05$ ).



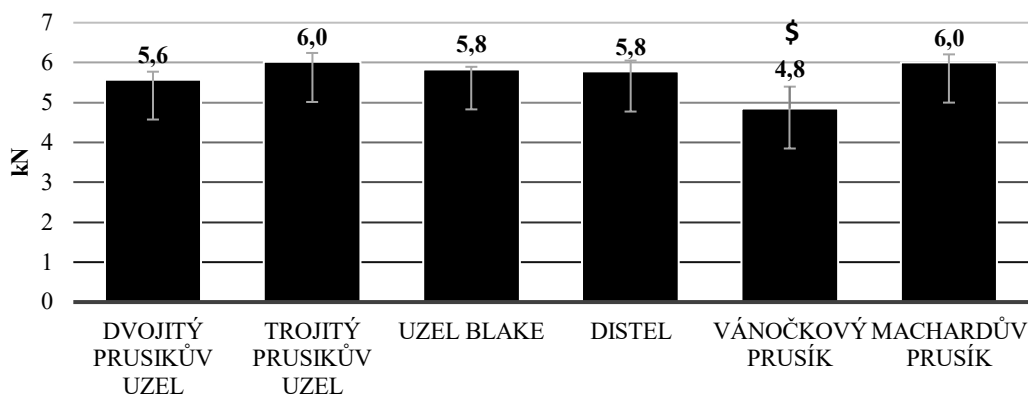
Graf 8 Rázová síla PF – 1

§ - statisticky významně nižší rázová síla od zbylých samosvorných uzlů ( $p < 0,05$ )

### 7.7.3 Pádový faktor 1,5

Graf 9 znázorňuje průměrnou rázovou sílu jednotlivých samosvorných uzlů při pádovém faktoru 1,5. Zde byl rovněž zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými samosvornými uzly ( $F = 8,442$ ;  $p \leq 0,05$ ). Přičemž Vánočkový prusík ( $4,84 \pm 0,61$  kN) dosáhl nižší rázové síly než dvojitý Prusíkův uzel ( $5,57 \pm 0,22$  kN), trojitý Prusíkův uzel ( $6,01 \pm 0,25$  kN), uzel Blake ( $5,82 \pm 0,07$  kN;  $p < 0,05$ ), Distel ( $5,77 \pm 0,30$  kN) a Machardův prusík ( $5,99 \pm 0,23$  kN). Pro všechny p hodnoty platí ( $p \leq 0,05$ ).

## Rázová síla PF - 1,5



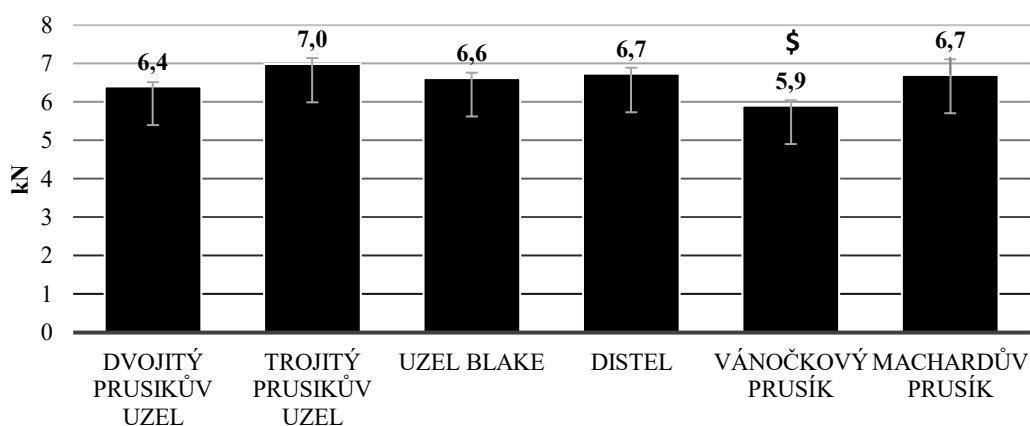
Graf 9 Rázová síla PF – 1,5

\$ - statisticky významně nižší rázová síla od zbylých samosvorných uzlů ( $p < 0,05$ )

### 7.7.4 Pádový faktor 2

Graf 10 znázorňuje průměrnou rázovou sílu jednotlivých samosvorných uzlů při pádovém faktoru 2. Byl zde zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými uzly ( $F=13,22$ ;  $p \leq 0,05$ ). Přičemž Vánočkový prusík ( $5,91 \pm 0,16$  kN) dosáhl nižší rázové síly než dvojitý Prusíkův uzel ( $6,40 \pm 0,13$  kN), trojitý Prusíkův uzel ( $6,99 \pm 0,17$ ), uzel Blake ( $6,62 \pm 0,16$  kN), Distel ( $6,73 \pm 0,18$  kN), Machardův prusík ( $6,71 \pm 0,45$  kN). Pro všechny  $p$  hodnoty platí ( $p \leq 0,05$ ).

## Rázová síla PF - 2



Graf 10 Rázová síla PF – 2

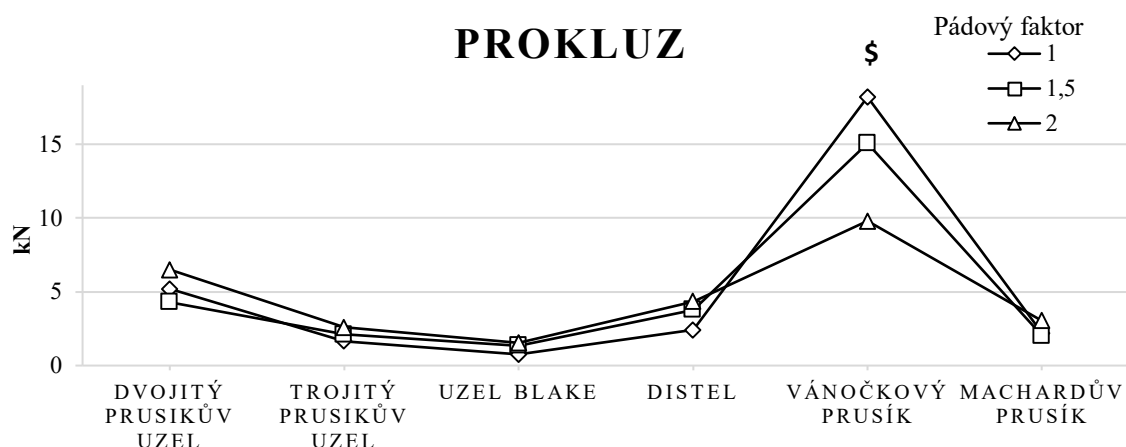
\$ - statisticky významně nižší rázová síla od zbylých samosvorných uzlů ( $p < 0,05$ )

## 7.8 Komparace délek prokluzu

### 7.8.1 Komplex pádových faktorů

V Grafu 11 jsou vyobrazeny průměrné hodnoty prokluzu (cm) pro každý uzel v jednotlivých pádových faktorech.

U prokluzu nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými pádovými faktory ( $F = 0,429$ ;  $p \leq 0,05$ ). Byl však zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými uzly ( $F = 62,702$ ;  $p \leq 0,05$ ), přičemž průměrný prokluz Vánočkového prusíku ( $14,4 \pm 5,6$  cm) napříč všemi pádovými faktory byl delší než už dvojitého Prusíkova uzlu ( $5,3 \pm 1,4$  cm), trojitého Prusíkova uzlu ( $2,1 \pm 0,5$  cm), uzlu Blake ( $1,2 \pm 0,4$  cm), uzlu Distel ( $3,5 \pm 1,2$  cm) a Machardova prusíku ( $2,4 \pm 0,9$  cm). Pro všechny  $p$  hodnoty platí ( $p \leq 0,05$ ). Navíc byla zjištěna významná interakce mezi pádovým faktorem a uzly ( $F = 4,612$ ;  $p < 0,05$ ). Detailní tabulka post hoc výsledků interakce viz Příloha 4.



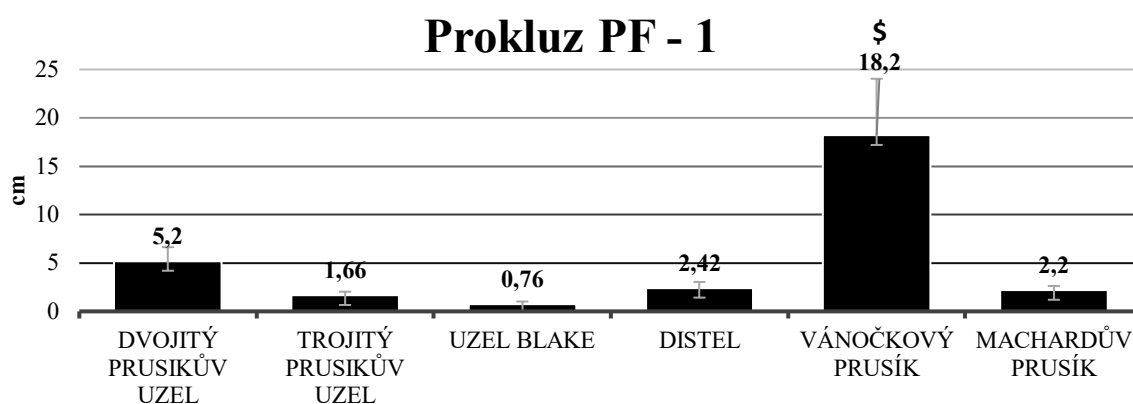
Graf 11 Prokluz

\$ - statisticky významně delší prokluz od zbylých samosvorných uzlů ( $p < 0,05$ )

### 7.8.2 Pádový faktor 1

V Grafu 12 jsou vyobrazeny průměrné hodnoty prokluzu (cm) pro každý samosvorný uzel při pádovém faktoru 1.

Zde byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými prokluzy ( $F = 27,380$ ;  $p \leq 0,05$ ). Přičemž Vánočkový prusík ( $18,2 \pm 6,5$  cm) dosáhl nejdelšího průměrného prokluzu ze všech uzlů. Dvojitý Prusíkův uzel dosáhl průměrné hodnoty ( $5,2 \pm 1,6$  cm), uzel Distel ( $2,4 \pm 0,7$  cm), Machardův prusík ( $2,2 \pm 0,5$  cm), trojitý Prusíkův uzel ( $1,7 \pm 0,4$  cm) a uzel Blake ( $0,8 \pm 0,3$  cm). Pro všechny p hodnoty platí ( $p \leq 0,05$ ).



Graf 12 Prokluz PF – 1

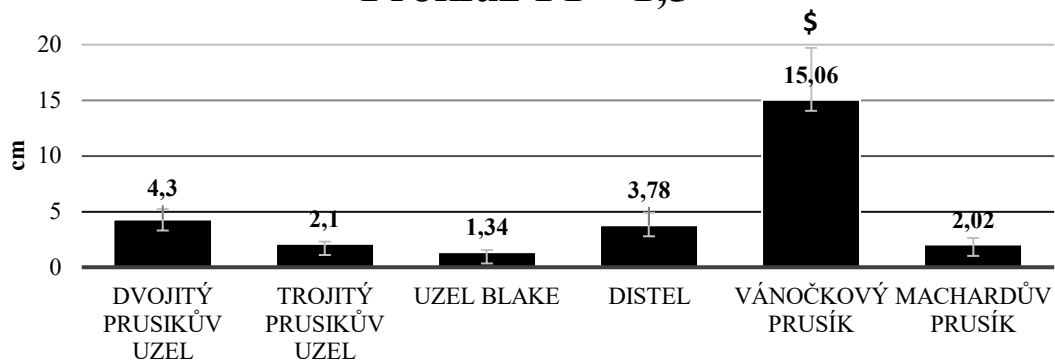
\$ - statisticky významně delší prokluz od zbylých samosvorných uzlů ( $p < 0,05$ )

### 7.8.3 Pádový faktor 1,5

V Grafu 13 jsou zobrazeny průměrné hodnoty prokluzu (cm) pro každý samosvorný uzel při pádovém faktoru 1,5.

Byl zde zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými prokluzy ( $F = 25,293$ ;  $p \leq 0,05$ ). Přičemž Vánočkový prusík ( $15,1 \pm 5,2$  cm) dosáhl nejdelšího průměrného prokluzu ze všech samosvorných uzlů. Dvojitý Prusíkův uzel průměrně prokluzoval ( $4,3 \pm 1,0$  cm), trojitý Prusíkův uzel ( $2,1 \pm 0,2$  cm), uzel Distel ( $3,8 \pm 0,3$  cm), Machardův prusík ( $2,0 \pm 0,7$  cm). Nejkratších prokluzů průměrně dosahoval uzel Blake ( $1,3 \pm 0,2$  cm). Pro všechny p hodnoty platí ( $p \leq 0,05$ ).

## Prokluz PF - 1,5



Graf 13 Prokluz PF – 1,5

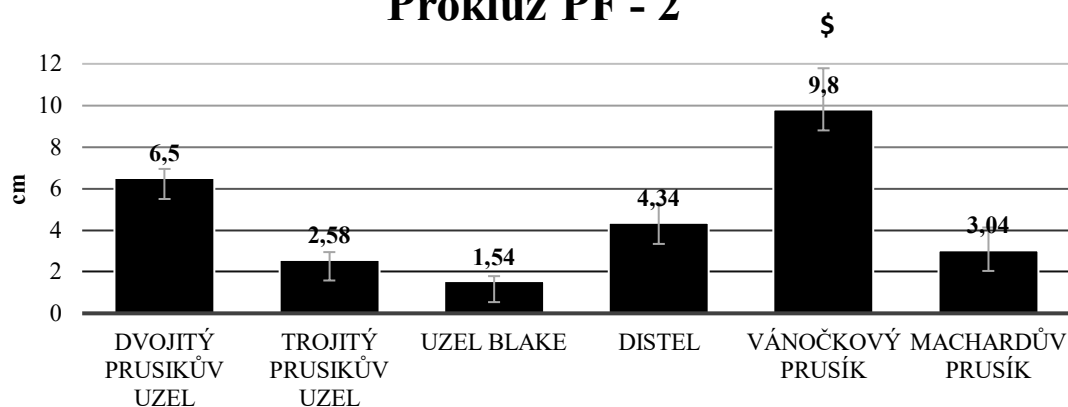
\$ - statisticky významně delší prokluz od zbylých samosvorných uzlů ( $p < 0,05$ )

### 7.8.4 Pádový faktor 2

V Grafu 14 jsou vyobrazeny hodnoty průměrného prokluzu (cm) pro každý samosvorný uzel při pádovém faktoru 2.

Byl zde zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými prokluzy ( $F = 33,783$ ;  $p \leq 0,05$ ). Vánočkový prusík dosahoval nejdelšího průměrného prokluzu ( $9,8 \pm 2,2$  cm) ze všech samosvorných uzlů. Uzel Distel průměrně prokluzoval o ( $4,3 \pm 1,0$  cm), dvojitý Prusíkův uzel ( $6,5 \pm 0,5$  cm), trojitý Prusíkův uzel ( $2,58 \pm 0,4$  cm), Machardův prusík ( $3,0 \pm 1,2$  cm). Nejkratší průměrný prokluz byl opět u uzlu Blake ( $1,5 \pm 0,3$  cm). Pro všechny  $p$  hodnoty platí ( $p \leq 0,05$ ).

## Prokluz PF - 2



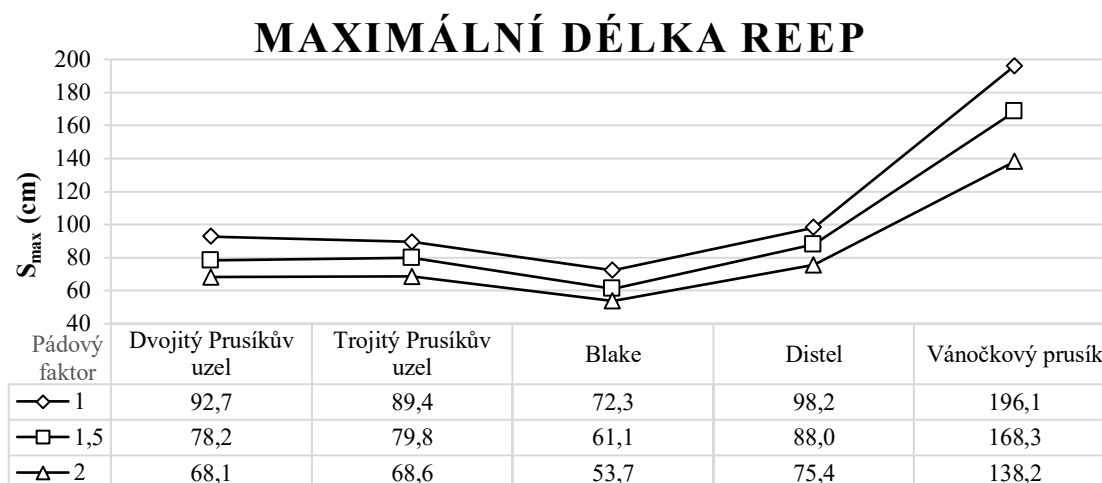
Graf 14 Prokluz PF – 2

\$ - statisticky významně delší prokluz od zbylých samosvorných uzlů ( $p < 0,05$ )

## 7.9 Maximální délka pomocné Reep šňůry

V Grafu 15 jsou zobrazeny hodnoty maximální možné délky pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a 80kg břemenem, neboli vzdálenost A (viz Kapitola 6.5.6). Při používání samosvorných uzlů by nemělo dojít k přiblížení se hodnotám uvedených v tabulce, protože by při pádu došlo k přetržení pomocné Reep šňůry.

Při použití uzlu Blake je maximální vzdálenost A nejkratší oproti ostatním měřeným samosvorným uzlům. Při pádovém faktoru 1 je maximální vzdálenost A 72,3 cm, při pádovém faktoru 1,5 je maximální vzdálenost A 61,1 cm a 53,0 cm při pádovém faktoru 2. Naopak při využití Vánočkového prusíku může být vzdálenost A o poznání delší než u zbylých samosvorných uzlů. Při pádovém faktoru 1 může být 196,1 cm dlouhá, 168,3 cm při pádovém faktoru 1,5 a při pádovém faktoru 2 je maximálně 138,2 cm dlouhá.

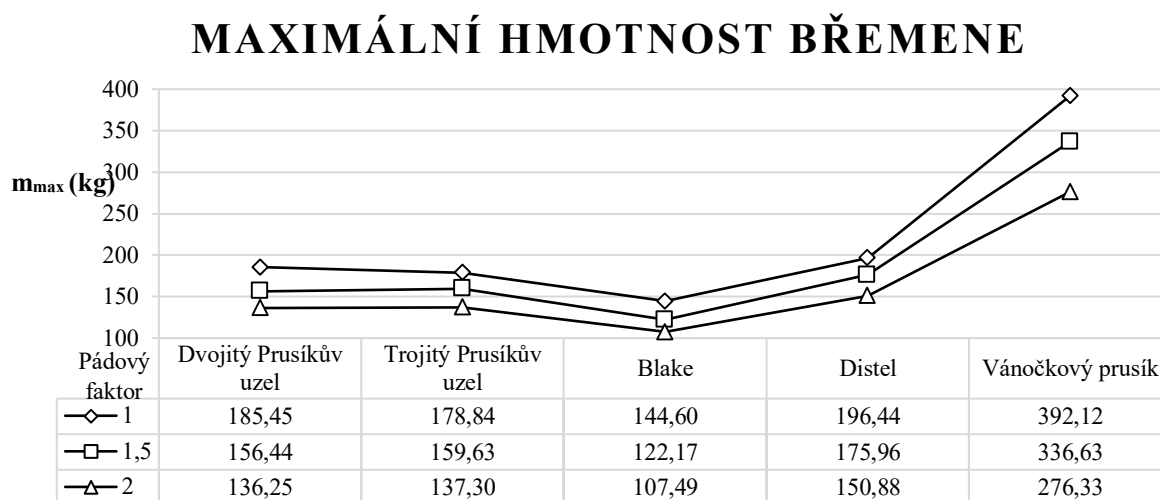


Graf 15 Maximální délka pomocné Reep šňůry

## 7.10 Maximální hmotnost břemene

Graf 16 zobrazuje hodnoty maximální hmotnosti břemene při použití 40 cm pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem (vzdálenost A, viz Kapitola 6.5.6). Pokud by se lezec s výbavou přibližoval hodnotám uvedených v tabulce při pádu do pomocné Reep šňůry, došlo by k jejímu přetržení.

Vánočkový prusík stejně jako v předchozí tabulce dosahoval mnohem vyšších hodnot oproti ostatním samosvorným uzlům. Lze tedy říct, že jeho používání je nejbezpečnější. Hodnota maximální hmotnosti břemene u Vánočkového prusíku při pádovém faktoru 1 je 392 kg, při pádovém faktoru 1,5 je 336 kg a při pádovém faktoru 2 je 276 kg. Naopak při používání uzlu Blake bychom měli být mnohem více opatrní. Jeho hodnoty maximální hmotnosti břemene jsou o poznání nižší než u zbylých samosvorných uzlů. Mezi samosvornými uzly Distel, dvojitý a trojitý Prusíkův uzel nelze pozorovat žádné velké disproporce v maximální možné hmotnosti břemene ani maximální délce Reep šňůry.



Graf 16 Maximální hmotnost břemene

## 7.11 Vztah mezi rázovou silou a prokluzem

Pro zjištění vzájemných vztahů mezi rázovou silou a prokluzem v jednotlivých pádových faktorech byla využita korelační analýza za použití Pearsonova korelačního koeficientu.

Ve výsledcích korelačních matic nebyl nalezen žádný statisticky významný ( $p \leq 0,05$ ) vztah mezi jednotlivými rázovými silami a prokluzy pro jednotlivé uzly v jednotlivých pádových faktorech.

Celkové korelační matice pro každý pádový faktor jsou pro přehlednost zobrazeny v Příloze 5.



## DISKUZE

Předkládaná diplomová práce „*Analýza dynamické pevnosti samosvorných uzlů používaných ve vojenském lezení*“ navazuje na předchozí práci „*Friction knots - their strength under static load*“ (Michalička, Telvák, 2021). Tato práce měla za cíl analýzu pevnosti vybraných uzlů při statickém zatížení na nízkoprůtažných lanech, kde bylo vybráno pět samosvorných uzlů používaných ve vojenském lezení. Uzly byly navázané z 6mm pomocné Reep šňůry na 10,5mm lano. Měření probíhalo na vertikálním zkušebním zařízení pro zjišťování maximální pevnosti textilních materiálů. Výsledné hodnoty byly porovnávány z několika hledisek, z nichž pro současnou práci měla podstatný význam data maximální pevnosti, která byla využita při zjišťování maximální možné hmotnosti břemene a maximální délky pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem (vzdálenost A).

Cílem této diplomové práce je zjistit pomocí laboratorního experimentu výslednou rázovou sílu vznikající u vybraných samosvorných systémů při rozdílných hodnotách pádového faktoru. Dále, jak již bylo zmíněno, vypočítat jakých maximálních hodnot hmotnosti břemene a délky pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem (vzdálenost A) lze dosáhnout bez selhání systému. Posledním cílem je zjistit vzájemnou korelaci mezi velikostí rázové síly a délkou prokluzu.

Očekávalo se a statisticky potvrdilo, že velikost rázové síly roste při zvýšení pádového faktoru při stejné hmotnosti břemene a délce pomocné Reep šňůry mezi břemenem a samosvorným uzlem. Attaway (1996) tvrdí, že pád při stejném pádovém faktoru, ale rozdílné délce lana, bude mít stejnou výslednou rázovou sílu. I když je jeden pád delší, je zde více lana, které energii pádu pohltí. Rozdíl je pouze v tom, že při delším pádu bude působení síly na lezce delší než při krátkém pádu. Což znamená, že další zkoumání pádů s rozdílnou délkou lana a stejným pádovým faktorem, by nebylo přínosné.

Při měření této práce bylo využito kotevního bodu stejnosměrným osmičkovým uzlem s geometrií typu „I“. Dle Šimona (2020) standardně zatížené osmičkové uzly v geometrii „I“ a „O“ jsou statisticky nerozlišitelné na hladině signifikance ( $p < 0,5$ ). Tento závěr je podpořen i dalšími studiemi. Nicméně normy EN 1891 a EN 892 uznávají geometrii „I“ jako zakončení lana pro testování. Proto byla pro tuto práci vybraná stejná geometrie.

Během testování při této i předchozí práci bylo pozorováno poškození opletu lana a pomocné Reep šňůry vzniklým teplem při prokluzování samosvorného uzlu. Toto tvrzení podporuje Bianchini a kol. (2021) ve studii Forests, ve které tvrdí, že v dynamických situacích při pádu se třením zvyšuje teplota a prameny mají tendenci se tavit, což vede k trvalému poškození lan. V této studii testovali dva typy samosvorných uzlů při zatížení. Během toho měřili teploty vzduchu pomocí psychrometru, které se během testů pohybovaly od 18,5 °C do 22,1 °C, zatímco vlhkost se pohybovala v průměru kolem 60%. Předpokládají, že tento rozdíl neměl významný vliv na reakci materiálů, dle analýzy ANOVA, která neposkytla žádné významné rozdíly pro ( $p < 0,5$ ). Rozdíl teplot lana na začátku a na konci pokusu, měřený termokamerou, byl zjištěn u čtyř testů, které vykazovaly pouze malé teplotní rozdíly a dle očekávání nebyly statisticky významné.

### Výsledky předkládané práce

Empirická část práce se věnuje porovnání jednotlivých samosvorných uzlů, při rozdílných pádových faktorech, z hlediska rázové síly a prokluzu. Hlavním zaměřením bylo zjistit, zda se některý samosvorný uzel významně odlišuje od ostatních ve velikosti výsledné rázové síly působící na samosvorný systém a délce prokluzu.

Pro zjištění těchto dat bylo využito pádové věže v polygonu za spolupráce společnosti Singing Rock. Testováno bylo šest samosvorných uzlů [dvojitý Prusíkův uzel (ABoK #1763), trojitý Prusíkův uzel (ABoK #1763), Uzel Blake (ABoK #1963), Uzel Distel (ABoK #1465), Machardův prusík (ABoK #1962), Vánočkový prusík (ABoK #1758)] navázaných na 11mm lano pomocí 6mm pomocné Reep šňůry. Všechny uzly byly testovány pětikrát při pádovém faktoru 1, při pádovém faktoru 1,5 a pádovém faktoru 2. Výsledné rázové síly byly změřeny pomocí tenzometru a délky prokluzů svinovacím metrem.

V rámci výzkumu byla stanovena výzkumná otázka a hypotézy, které z ní vychází. **První hypotéza**, předpokládající, že rázová síla bude záviset na velikosti pádového faktoru, **byla potvrzena**. Mezi jednotlivými pádovými faktory byl zjištěn statisticky významný rozdíl ( $F = 217,703$ ;  $p < 0,05$ ), přičemž při pádovém faktoru 2 byla produkována průměrně nejvyšší rázová síla oproti zbylým pádovým faktorům. Byl také potvrzen statisticky významný rozdíl mezi samosvornými uzly ( $F = 14,636$ ;  $p < 0,05$ ).

**Druhá hypotéza**, tvrdící, že nejvyšších hodnot maximální délky pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a břemenem (vzdálenost A) a maximální hmotnosti břemene bude dosahovat Vánočkový prusík, **byla potvrzena**. Při použití Vánočkového prusíku může být pomocná Reep šňůra (vzdálenost A) znatelně delší než u ostatních samosvorných uzlů a to při všech měřených pádových faktorech:  $s_{\max} = 196,1$  cm (PF1);  $s_{\max} = 168,3$  cm (PF1,5);  $s_{\max} = 138,2$  cm (PF2). Stejně tak s využitím Vánočkového prusíku může být nejvyšší maximální hmotnost břemene při všech měřených pádových faktorech:  $m_{\max} = 392$  kg (PF1);  $m_{\max} = 336$  kg (PF1,5);  $m_{\max} = 276$  kg (PF2). Těchto hodnot Vánočkový prusík dosahoval pravděpodobně díky tomu, že je tvořen ze čtyř pramenů pomocné Reep šňůry, které absorbují vzniklou energii při pádu.

**Třetí hypotéza**, očekávající, že délka prokluzu bude korelovat s velikostí rázové síly při jednotlivých pádových faktorech, **nebyla potvrzena**. Mezi jednotlivými prokluzy a rázovými silami pro jednotlivé pádové faktory nebyl ve výsledcích korelačních matic nalezen žádný statisticky významný vztah ( $p < 0,05$ ).

### **Limitující faktory práce**

Výsledky diplomové práce mohly být ovlivněny některými faktory, kterými byla limitována.

Rozsah výzkumného souboru byl limitován materiálním a časovým zabezpečením. Pro každý samosvorný uzel, při stejném pádovém faktoru, bylo možné udělat pouze pět testů.

Ze zařízení neboli tenzometru, který měřil výslednou rázovou sílu, nebylo možné získat detailní data, která by poskytla informace o přesných hodnotách rázové síly v průběhu dynamického zatížení, časové údaje a plochu grafu. Získaná data byla pouze v podobě grafů v PDF formátu a bylo tak možno využít pouze hodnoty „peak“ rázové síly, nikoli průběh proměnných.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navázat na předchozí práci a pomocí experimentu zjistit výslednou rázovou sílu vznikající u vybraných samosvorných systémů při rozdílných hodnotách pádového faktoru. Dále vypočítat z dat této a předchozí práce, jakých maximálních hodnot délky pomocné Reep šňůry a maximální hmotnosti břemene lze dosáhnout bez selhání systému. Posledním cílem bylo zjistit vzájemný vztah mezi velikostí rázové síly a délkou prokluzu. Všechny cíle a úkoly se podařilo naplnit v souladu se stanovenou metodikou. Nashromážděná data byla dílem vlastního měření autora v prostorách polygonu společnosti Singing Rock v Poniklé. Potřebný materiál pro výzkum byl poskytnut stejnou společností. Pro experiment bylo k dispozici 200 m statického lana z polyamidu o průměru 11 mm a 200 m pomocné Reep šňůry o průměru 6 mm též z polyamidu. Tento materiál je nejčastěji využíván při vojenském lezení.

Teoretická část práce byla zaměřena na seznámení s problematikou vojenského lezení, popisu a rozdělení lan, testování lan a uzlování. Empirická část práce obsahovala shrnutí cílů, úkolů, stanovení hypotéz a výzkumné otázky. Dále detailní popis metodiky výzkumu včetně zisku a zpracování dat. Získané hodnoty jednotlivých samosvorných uzlů byly porovnány mezi sebou a vyhodnoceny pomocí grafů a jejich popisu.

S jistotou můžeme říci, že samosvorný systém s využitím Vánočkového prusíku obstál i v tomto experimentu jako nejpevnější. Přestože prokluzoval nejvíce oproti zbylým samosvorným uzlům, což způsobovalo částečné poškození opletu lana vzniklým teplem, tak tento systém nejvýrazněji tlumil pád a jeho hodnoty rázové síly napříč pádovými faktory byly nejnižší. Následně i při výpočtu hodnot maximální délky pomocné Reep šňůry a maximální hmotnosti břemene hodnoty Vánočkového prusíku vysoce převyšovaly ostatní samosvorné uzly. Zajímavé hodnoty můžeme pozorovat také u uzlu Blake, který prokluzoval nejméně, ale nejvyšších hodnot rázové síly nedosahoval. To poukazuje na to, že není vzájemný vztah mezi velikostí rázové síly a délkou prokluzu, což bylo také potvrzeno korelační analýzou.

Data získaná při tomto experimentu mají velkou hodnotu pro vojenské lezení. Při výběru samosvorného uzlu vojáci budou vědět, který je vhodný vzhledem k hmotnosti samotného lezce a jeho vybavení, dále také jakou zvolit délku pomocné Reep šňůry mezi samosvorným uzlem a centrálním bodem.

Další výzkum týkající se samosvorných uzlů by mohl směřovat ke zkoumání při více variacích pádového faktoru a více testech pro každý samosvorný uzel při daném pádovém faktoru. Výzkum by se také mohl zabývat vlivem různých hmotností břemene při stejném pádovém faktoru na velikost rázové síly. Při dalších testech samosvorných uzlů, by bylo vhodné použít měřicí zařízení, které poskytne kompletní data o průběhu zatížení. Z těchto dat by bylo možné získat například informace o ploše grafu.

Věřím, že data získaná touto prací mohou posloužit všem, co se zabývají lezením a jiným autorům, kteří se budou věnovat této problematice.

## Seznam použitých zdrojů

1. ADAMS, Mark. Son of a Hitch: A Genealogy of Arborists' Climbing Hitches. *Arborist news: Climbers' Corner*. [online]. International society of arboriculture, 2005. [cit. 2022-05-22]. Dostupné z:  
[http://ology.www.treebuzz.com/pdf/0505\\_genepdf](http://ology.www.treebuzz.com/pdf/0505_genepdf)
2. ATTAWAY, Stephen W. *Rope System Analysis*. 1996, 13. Dostupné také z:  
<http://lamountaineers.org/pdf/xRopes.pdf>
3. ASHLEY, Clifford W. *The Ashley Book Of Knots*. Great Britain: Doubleday, Doran and Co., Inc, New York, 1944. 620 s. ISBN 057109659-X.
4. BARTÁK, Erik. *Pomůcka pro základní a zdokonalovací kurz vojenského lezení*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2012. 133 s. ISBN 978-80-7231-916-9.
5. BAVARESCO, Paolo. *Ropes and Friction Hitches used in Tree Climbing Operations* [online]. 2002, 64 p. [cit. 2022-06-12]. Dostupné z:  
[http://www.paci.com.au/downloads\\_public/knots/14\\_Report\\_hitches\\_PBavaresco.pdf](http://www.paci.com.au/downloads_public/knots/14_Report_hitches_PBavaresco.pdf)
6. BELICA, Ondřej. *Práce a záchrana ve výškách a nad volnou hloubkou*. Praha: Grada, 2014. 216 s. ISBN 978-80-247-5055-2.
7. BIANCHINI, Leonardo, Rodolfo PICCHIO, Andrea COLANTONI, Marco SCOTOLATI, Valerio DI STEFANO a Massimo CECCHINI. *Tensile Strength of Ropes and Friction Hitch Used in Tree Climbing Work. Forests* [online]. 2021, **12**(11) [cit. 2022-06-22]. ISSN 1999-4907. Dostupné z:  
doi:10.3390/f12111457
8. BUDWORTH, Geoffrey and HOPKINS, Richard. *Všechno o uzlech*. 1. vyd. Praha: Svojtka&Co, 2008. 256 s. ISBN 978-80-7352-958-1
9. BUDWORTH, Geoffrey. *Uzly krok za krokem*. Praha: Svojtka&Co, 2002. 128 s. ISBN 80-7237-538-5
10. BUŘIČ, Petr a Richard FRANČ. *Práce ve výšce a nad volnou hloubkou v podmínkách požární ochrany*. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2003. ISBN isbn80-86640-07-8.

11. Česká asociace canyoningu [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z:  
<http://www.canyoning.cz/>
12. ČSN EN 1891: *Osobní ochranné prostředky pro prevenci pádů z výšky - Nízko průtažná lana s opláštěným jádrem*. 01. Česká republika: © Český normalizační institut, 2002.
13. ČSN EN 892+A2: *Horolezecká výzbroj - Dynamická horolezecká lana - Bezpečnostní požadavky a zkoušení*. Česká republika: © Český normalizační institut, 2022.
14. ČSN EN 564: *Horolezecká výzbroj - Pomocná šňůra - Bezpečnostní požadavky a zkušební metody*. Česká republika: © Český normalizační institut, 2015.
15. CURTIS, Dan. *Taking a Whipper: The Fall-Factor Concept in Rock Climbing*, The College Mathematics Journal, 2005. 140 s. DOI: 10.1080/07468342.2005.11922120.
16. Edelweiss, *Concepts* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <http://www.edelweissropes.com/>
17. EVANS, Thomas. *Empirical breaking strength of single prusiks of four diameters on 11mm static rope* [online]. 11.01.2014, 18 p. [cit. 2022-06-21]. Dostupné z:  
<http://sarr.weebly.com/sar3-original-research>
18. FÁBORSKÝ, *Statická lana a vliv vody* [online]. c2001 [cit. 2022-05-015].  
Dostupné z: <https://www.horosvaz.cz/metodika-medicina/staticka-lana-a-vliv-vody/>
19. FRANK, Tomáš a KUBLÁK Tomáš a kol.. *Horolezecká abeceda*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství Epoque, 2007. 664 s. ISBN 978-80-87027-35-6.
20. Hasičský záchranný sbor ČR, *Metodika lezci* [online]. c2009 [cit. 2022-6-03].  
Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/>
21. Honeywell, *Products* [online]. [cit. 2022-06-03]. Dostupné z:  
<https://www.packagingcomposites-honeywell.com/>
22. JASP Team. *JASP (Version 0.16.2): Computer software* [online]. 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://jasp-stats.org/>

23. 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.
24. KUBLÁK, Tomáš. *Horolezecká metodika: Výzbroj a výstroj*. Praha: MMPublishing, 2015. 189 s. ISBN 9788087715185.
25. 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.
26. Lanex, *Průduky* [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://eshop.lanex.cz/>
27. LEHNER Stefan, SOMSCHOR Anne a SENERVeit. *Mathematical model of the energy absorbing stitch brake used in via ferrata climbing*. Procedia Engineering. 2012, 2012(34), 6. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.111>.
28. LENFELDOVÁ, I., Ing., PhD. *Speciální pletářské výroby: Technologie 2D a 3D splétání* [online]. TU Liberec, 2013 [cit. 2022-5-23]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-09-10/11-32-51.pdf>
29. LIENERTH, Radek. Uzly pro provozování horolezectví a lanových technik. *ClimbOn* [online]. 2016, 23 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.horosvaz.cz/res/archive/007/004247.pdf?seek=1324309534>
30. MICHALIČKA, Vladimír a kol.. *Speciální tělesná příprava: Vojenské lezení*. 1. vyd. Praha. 2019. Pub-71-84-06.
31. MICHALIČKA, V.; TELVÁK, R. *Friction knots – Their strength under static load*. J. Outdoor Act. 2021,
32. MICHALIČKA, Vladimír, Vladan OLÁH a Václav KUČERA. Impact forces at improvised via ferrata. *International Journal of Mountaineering and Climbing*. 2021, 4(2), 10. ISSN 2667-6923.
33. *Normativní výnos Ministerstva obrany č. 12 ze dne 15. března 2011*



34. PEŘINA, Jan. *Horolezecká metodika: Horolezectví a sport* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <http://horolezeckametodika.cz/ucebnice/horolezectvi-a-sport>
35. POHL, Tomáš. *Pohybová aktivita příslušníků různých vojenských útvarů* [online]. Brno, 2020 [cit. 2022-5-21]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/m4nff/Pohl\\_magisterska\\_prace.pdf](https://is.muni.cz/th/m4nff/Pohl_magisterska_prace.pdf). Magisterská práce. MASARYKOVA UNIVERZITA Fakulta sportovních studií. Vedoucí práce Ing. Mgr. Jana Juříková, Ph.D..
36. PROHASKA, Heinz. *Two jamming knots for thick cord and webbing. Nylon Highway* [online]. 1990, č. 30, **32**(3) [cit. 2022-05-26]. Dostupné z: <http://caves.org/section/vertical/nhback/NH30.pdf>
37. RALEIGH, Duane. *Uzly a lana pro horolezce*. 1. vyd. Praha: Fragment 2009. 95 s. ISBN 978-80-253-0816-5
38. REICHL, J., VŠETIČKA, M. *Encyklopedie Fyziky*. [online]. c2012 [cit. 2022-6-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
39. Rock Point. *Co byste měli vědět o lanech* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.rockpoint.cz/>
40. Singing rock, *Technické informace* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.singingrock.cz/>
41. STRÁNSKÝ, Martin. *Patrola* [online]. HOLÁN, Michal a MOTTLOVÁ, Barbora. Režie O. Kallus. Česká televize, 2017 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/11559917535-patrola/216562222150002>
42. ŠIMON, J., V. DEKÝŠ a P. PALČEK. Revision of Commonly Used Loop Knots Efficiencies. *Acta Physica Polonica A*. 2020, **138**(3), 404-420. ISSN 1898-794X. Dostupné z: doi:10.12693/APhysPolA.138.404
43. Tendon, *Produkty* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.mytendon.cz/cs/>
44. 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.

45. 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 Slanění se sebejištěním .....	17
Obrázek 3 Průřez lana Kernmantel (Rock Point, 2022) .....	19
Obrázek 4 Pletení lan.....	20
Obrázek 5 Systém Tandem (Tendon, 2022) .....	20
Obrázek 6 IntelCore Technologie (SingingRock,2022).....	21
Obrázek 7 Systém SBS (Tendon,2022).....	21
Obrázek 8 Řez lanem Secure (Tendon,2022) .....	22
Obrázek 9 Rozdělení dynamických lan (Michalička a kol., 2019) .....	27
Obrázek 10 Příklady hodnot pádového faktoru (Michalička a kol., 2019) .....	30
Obrázek 11 Dvojitý Prusíkův uzel .....	35
Obrázek 12 Uzel Blake.....	35
Obrázek 13 Uzel Distel.....	36
Obrázek 14 Machardův prusík .....	36
Obrázek 15 Vánočkový prusík.....	37
Obrázek 16 Pevnost uzlů (Frank, Kublák a kol., 2007) .....	38
Obrázek 17 Polygon .....	40
Obrázek 18 Značící páska Singing Rock A.....	41
Obrázek 19 Pomocná Reep šňůra (Singing Rock, 2022) .....	42
Obrázek 20 Oválná ocelová karabina (Singing Rock, 2022).....	42
Obrázek 21 Tenzometr .....	43
Obrázek 22 Počítač s výsledným grafem.....	44
Obrázek 23 Popisovač OOPP (Hanibal, 2022) .....	44
Obrázek 24 Pozice značky .....	44
Obrázek 25 Břemeno .....	45
Obrázek 26 Standardně zatížený osmičkový uzel, geometrie I a O (Šimon, Dekýš, Palček, 2020).....	47
Obrázek 27 Kotevní bod.....	47

Obrázek 28 Schéma experimentu.....	48
Obrázek 29 Postup vázání dvojitého Prusíkova uzlu .....	49
Obrázek 30 Postup vázání uzlu Distel.....	50
Obrázek 31 Postup vázání uzlu Blake .....	50
Obrázek 32 Postup vázání Vánočkového prusíku.....	51
Obrázek 33 Postup vázání Machardova prusíku .....	51
Obrázek 34 Postup vázání dvojitého rybářského uzlu .....	52
Obrázek 35 Postup vázání stejnosměrného osmičkového uzlu .....	52

## Tabulky

Tabulka 1 Délky pomocné Reep šňůry .....	46
Tabulka 2 Vzorce pro výpočet.....	54
Tabulka 3 Výsledky dvojitého Prusíkova uzlu .....	57
Tabulka 4 Výsledky trojitého Prusíkova uzlu.....	58
Tabulka 5 Výsledky uzlu Blake .....	60
Tabulka 6 Výsledky Uzlu Distel.....	61
Tabulka 7 Výsledky Vánočkového prusíku.....	62
Tabulka 8 Výsledky Machardova prusíku .....	64

## Grafy

Graf 1 Dvojitý Prusíkův uzel pokus č. 1, PF – 1 .....	56
Graf 2 Trojitý Prusíkův uzel pokus č. 4, PF – 1.....	58
Graf 3 Uzel Blake pokus č. 3, PF – 1 .....	59
Graf 4 Distel pokus č. 2, PF – 1,5 .....	60
Graf 5 Vánočkový prusík pokus č. 5, PF – 1 .....	62
Graf 6 Machardův prusík pokus č. 4, PF – 1,5 .....	63
Graf 7 Rázová síla .....	64
Graf 8 Rázová síla PF – 1 .....	65
Graf 9 Rázová síla PF – 1,5 .....	66
Graf 10 Rázová síla PF – 2 .....	66
Graf 11 Prokluz .....	67

Graf 12 Prokluz PF – 1 .....	68
Graf 13 Prokluz PF – 1,5 .....	69
Graf 14 Prokluz PF – 2 .....	69
Graf 15 Maximální délka pomocné Reep šňůry .....	70
Graf 16 Maximální hmotnost břemene.....	71

## **Přílohy**

Příloha 1 Technické parametry lana (Singing Rock, 2022).....	86
Příloha 2 Technické parametry pomocné Reep šňůry (Singing Rock, 2022).....	86
Příloha 3 Technické parametry tenzometru .....	87
Příloha 4 Post hoc výsledky interakce .....	88
Příloha 5 Vztah délky prokluzu a rázové síly .....	90

Příloha 1 Technické parametry lana (Singing Rock, 2022)

ČSN EN 1891: 2000 and UIAA 107	Požadavek normy	Parametry lana
Průměr lana	min. 8,5 mm max. 16 mm	<b>11 mm</b>
Uzlovatelnost	max. 1,2	<b>0,7 +/-1</b>
Posuv opletu	max. 20 mm + 10 (D – 9 mm)	<b>0 %</b>
Prodloužení (50 – 150 kg)	max. 5 %	<b>3,3 %</b>
Srážení	nedefinováno	<b>1,0 % +/-1</b>
Hmotnost	nedefinováno	<b>80 g/m</b>
Hmotnost opletu	min. 44 %	<b>39 %</b>
Hmotnost jádra	min. 35 %	<b>61 %</b>
Max. rázová síla	max. 6 kN	-
Min. počet pádů - s osmičkovým uzlem - šité oko	min. počet pádů 5	<b>&gt; 20</b>
Min. počet pádů bez zakončení: Typ A	22 kN působících minimálně po dobu 3 min. při trvalé síle	<b>34,5kN</b>
Min. pevnost s osmičkovým uzlem	15 kN působících minimálně po dobu 3 min. při trvalé síle	<b>22kN</b>
Min. pevnost s šitým okem	15 kN kN působících minimálně po dobu 3 min. při trvalé síle	<b>28,1kN</b>

Příloha 2 Technické parametry pomocné Reep šňůry (Singing Rock, 2022)

ČSN EN 564	Požadavek normy	Parametry lana
Průměr	Mezní odchylka od průměru nesmí být větší než +0,7/-0,2 mm	<b>6 mm</b>
Pevnost v přetrhu	7,2 kN	<b>10 kN</b>
Hmotnost	nedefinováno	<b>23,2 g/m</b>

### Příloha 3 Technické parametry tenzometru

<b>TECHNICKÉ ÚDAJE SNÍMAČE</b>	<b>v.č.0318</b>
--------------------------------	-----------------

Zapojení		
zelená (+)	napájení	žlutá (+)
hnědá (-)		výstup bílá (-)
Typ		S-35
Měřicí rozsah	kN	40
Měřicí signál jmenovitý - Un	mV/V	-3,325
Napájení	Vdc	5
Nelinearita	% Un	0,05
Sloučená chyba	% Un	0,05
Reprodukovatelnost	% Un	0,02
Nulová hodnota	mV	-0,07
Vstupní odpor	Ω	766
Výstupní odpor	Ω	702
Izolační odpor	MΩ	5000
Teplotní rozsah kompenzovaný	°C	-10.....+50
Teplotní rozsah bezpečný	°C	-20.....+60
Vliv teploty na nulovou hodnotu	%Un/10K	0,02
Vliv teploty na měřicí signál	%Un/10K	0,02
Tečení při normální hodnotě		
Rozměry	mm	98 x 35
Hmotnost	kg	1,4

Datum: 19.11.2018

## Příloha 4 Post hoc výsledky interakce

Post Hoc Comparisons - padfaktor * uzel					Post Hoc Comparisons - padfaktor * uzel							
		Mean Difference	SE	t	P <sub>boot</sub>			Mean Difference	SE	t	P <sub>boot</sub>	
1, dvojrpus	1.5, dvojrpus	0.900	1.313	0.685	1.000	1, vanočka	1, vanočka	-16.540	1.396	-11.848	< .001 ***	
	2, dvojrpus	-1.300	1.313	-0.990	1.000		1.5, vanočka	-13.400	1.374	-9.750	< .001 ***	
	1, trojrpus	3.540	1.396	2.536	1.000		2, vanočka	-8.140	1.374	-5.923	< .001 ***	
	1.5, trojrpus	3.100	1.374	2.256	1.000		1, machard	-0.540	1.396	-0.387	1.000	
	2, trojrpus	2.620	1.374	1.906	1.000		1.5, machard	-0.360	1.374	-0.262	1.000	
	1, blake	4.440	1.396	3.180	0.358		2, machard	-1.380	1.374	-1.004	1.000	
	1.5, blake	3.860	1.374	2.809	1.000		1.5, trojrpus	-0.480	1.313	-0.365	1.000	
	2, blake	3.660	1.374	2.663	1.000		1, blake	1.340	1.374	0.975	1.000	
	1, distel	2.780	1.396	1.991	1.000		1.5, blake	0.760	1.396	0.544	1.000	
	1.5, distel	1.420	1.374	1.033	1.000		2, blake	0.560	1.374	0.407	1.000	
	2, distel	0.860	1.374	0.626	1.000		1, distel	-0.320	1.374	-0.233	1.000	
	1, vanočka	-13.000	1.396	-9.312	< .001 ***		1.5, distel	-1.680	1.396	-1.203	1.000	
	1.5, vanočka	-9.860	1.374	-7.174	< .001 ***		2, distel	-2.240	1.374	-1.630	1.000	
	2, vanočka	-4.600	1.374	-3.347	0.210		1, vanočka	-16.100	1.374	-11.715	< .001 ***	
	1, machard	3.000	1.396	2.149	1.000		1.5, vanočka	-12.960	1.396	-9.284	< .001 ***	
	1.5, machard	3.180	1.374	2.314	1.000		2, vanočka	-7.700	1.374	-5.603	< .001 ***	
	2, machard	2.160	1.374	1.572	1.000		1, machard	-0.100	1.374	-0.073	1.000	
	1.5, dvojrpus	2, dvojrpus	-2.200	1.313	-1.675		1.000	1.5, machard	0.080	1.396	0.057	1.000
		1, trojrpus	2.640	1.374	1.921		1.000	2, machard	-0.940	1.374	-0.684	1.000
		1.5, trojrpus	2.200	1.396	1.576		1.000	1, blake	1.820	1.374	1.324	1.000
2, trojrpus		1.720	1.374	1.252	1.000	1.5, blake	1.240	1.374	0.902	1.000		
1, blake		3.540	1.374	2.576	1.000	2, blake	1.040	1.396	0.745	1.000		
1.5, blake		2.960	1.396	2.120	1.000	1, distel	0.160	1.374	0.116	1.000		
2, blake		2.760	1.374	2.008	1.000	1.5, distel	-1.200	1.374	-0.873	1.000		
1, distel		1.880	1.374	1.368	1.000	2, distel	-1.760	1.396	-1.261	1.000		
1.5, distel		0.520	1.396	0.372	1.000	1, vanočka	-15.620	1.374	-11.365	< .001 ***		
2, distel		-0.040	1.374	-0.029	1.000	1.5, vanočka	-12.480	1.374	-9.081	< .001 ***		
1, vanočka		-13.900	1.374	-10.114	< .001 ***	2, vanočka	-7.220	1.396	-5.172	< .001 ***		
1.5, vanočka		-10.760	1.396	-7.708	< .001 ***	1, machard	0.380	1.374	0.276	1.000		
2, vanočka		-5.500	1.374	-4.002	0.025 *	1.5, machard	0.560	1.374	0.407	1.000		
1, machard		2.100	1.374	1.528	1.000	2, machard	-0.460	1.396	-0.330	1.000		
1.5, machard		2.280	1.396	1.633	1.000	1, blake	-0.580	1.313	-0.442	1.000		
2, machard		1.260	1.374	0.917	1.000	2, blake	-0.780	1.313	-0.594	1.000		
1, trojrpus		4.840	1.374	3.522	0.122	1, distel	-1.660	1.396	-1.189	1.000		
1.5, trojrpus		4.400	1.374	3.202	0.326	1.5, distel	-3.020	1.374	-2.197	1.000		
2, trojrpus		3.920	1.396	2.808	1.000	2, distel	-3.580	1.374	-2.605	1.000		
1, blake		5.740	1.374	4.177	0.014 *	1, vanočka	-17.440	1.396	-12.493	< .001 ***		
1.5, blake	5.160	1.374	3.755	0.058	1.5, vanočka	-14.300	1.374	-10.405	< .001 ***			
2, blake	4.960	1.396	3.553	0.116	2, vanočka	-9.040	1.374	-6.578	< .001 ***			
1, distel	4.080	1.374	2.969	0.643	1, machard	-1.440	1.396	-1.032	1.000			
1.5, distel	2.720	1.374	1.979	1.000	1.5, machard	-1.260	1.374	-0.917	1.000			
2, distel	2.160	1.396	1.547	1.000	2, machard	-2.280	1.374	-1.659	1.000			
1, vanočka	-11.700	1.374	-8.513	< .001 ***	1.5, blake	-0.200	1.313	-0.152	1.000			
1.5, vanočka	-8.560	1.374	-6.228	< .001 ***	1, distel	-1.080	1.374	-0.786	1.000			
2, vanočka	-3.300	1.396	-2.364	1.000	1.5, distel	-2.440	1.396	-1.748	1.000			
1, machard	4.300	1.374	3.129	0.404	2, distel	-3.000	1.374	-2.183	1.000			
1.5, machard	4.480	1.374	3.260	0.274	1, vanočka	-16.860	1.374	-12.268	< .001 ***			
2, machard	3.460	1.396	2.478	1.000	1.5, vanočka	-13.720	1.396	-9.828	< .001 ***			
1, trojrpus	1.5, trojrpus	-0.440	1.313	-0.335	1.000	2, vanočka	-8.460	1.374	-6.156	< .001 ***		
2, trojrpus	-0.920	1.313	-0.700	1.000	1, machard	-0.860	1.374	-0.626	1.000			
1, blake	0.900	1.396	0.645	1.000	1.5, machard	-0.680	1.396	-0.487	1.000			
1.5, blake	0.320	1.374	0.233	1.000	2, machard	-1.700	1.374	-1.237	1.000			
2, blake	0.120	1.374	0.087	1.000	1, distel	-0.880	1.374	-0.640	1.000			
1, distel	-0.760	1.396	-0.544	1.000	1.5, distel	-2.240	1.374	-1.630	1.000			
1.5, distel	-2.120	1.374	-1.543	1.000	2, distel	-2.800	1.396	-2.006	1.000			
2, distel	-2.680	1.374	-1.950	1.000	1, vanočka	-16.660	1.374	-12.122	< .001 ***			



Post Hoc Comparisons - padfaktor \* uzel

		Mean Difference	SE	t	P <sub>boot</sub>
	1.5, vanočka	-13.520	1.374	-9.837	< .001 ***
	2, vanočka	-8.260	1.396	-5.917	< .001 ***
	1, machard	-0.660	1.374	-0.480	1.000
	1.5, machard	-0.480	1.374	-0.349	1.000
	2, machard	-1.500	1.396	-1.074	1.000
1, distel	1.5, distel	-1.360	1.313	-1.035	1.000
	2, distel	-1.920	1.313	-1.462	1.000
	1, vanočka	-15.780	1.396	-11.304	< .001 ***
	1.5, vanočka	-12.640	1.374	-9.197	< .001 ***
	2, vanočka	-7.380	1.374	-5.370	< .001 ***
	1, machard	0.220	1.396	0.158	1.000
	1.5, machard	0.400	1.374	0.291	1.000
	2, machard	-0.620	1.374	-0.451	1.000
1.5, distel	2, distel	-0.560	1.313	-0.426	1.000
	1, vanočka	-14.420	1.374	-10.492	< .001 ***
	1.5, vanočka	-11.280	1.396	-8.080	< .001 ***
	2, vanočka	-6.020	1.374	-4.380	0.007 **
	1, machard	1.580	1.374	1.150	1.000
	1.5, machard	1.760	1.396	1.261	1.000
	2, machard	0.740	1.374	0.538	1.000
2, distel	1, vanočka	-13.860	1.374	-10.085	< .001 ***
	1.5, vanočka	-10.720	1.374	-7.800	< .001 ***
	2, vanočka	-5.460	1.396	-3.911	0.037 *
	1, machard	2.140	1.374	1.557	1.000
	1.5, machard	2.320	1.374	1.688	1.000
	2, machard	1.300	1.396	0.931	1.000
1, vanočka	1.5, vanočka	3.140	1.313	2.391	1.000
	2, vanočka	8.400	1.313	6.396	< .001 ***
	1, machard	16.000	1.396	11.461	< .001 ***
	1.5, machard	16.180	1.374	11.773	< .001 ***
	2, machard	15.160	1.374	11.031	< .001 ***
1.5, vanočka	2, vanočka	5.260	1.313	4.005	0.033 *
	1, machard	12.860	1.374	9.357	< .001 ***
	1.5, machard	13.040	1.396	9.341	< .001 ***
	2, machard	12.020	1.374	8.746	< .001 ***
2, vanočka	1, machard	7.600	1.374	5.530	< .001 ***
	1.5, machard	7.780	1.374	5.661	< .001 ***
	2, machard	6.760	1.396	4.842	0.001 **
1, machard	1.5, machard	0.180	1.313	0.137	1.000
	2, machard	-0.840	1.313	-0.640	1.000
1.5, machard	2, machard	-1.020	1.313	-0.777	1.000

Note. P-value adjusted for comparing a family of 153

\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

Příloha 5 Vztah délky prokluzu a rázové síly

**Pearson's Correlations PF – 1**

<b>Prokluz</b>	<b>Rázová síla</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>p</b>
Dvojitý Prusíkův uzel	- Dvojitý Prusíkův uzel	-0.138	0.825
Trojité Prusíkův uzel	- Trojité Prusíkův uzel	0.362	0.549
Blake	- Blake	0.727	0.164
Distel	- Distel	0.594	0.291
Vánočkový prusík	- Vánočkový prusík	-0.683	0.204
Machardův prusík	- Machardův prusík	-0.181	0.771

\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

**Pearson's Correlations PF – 1,5**

<b>Prokluz</b>	<b>Rázová síla</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>p</b>
Dvojitý Prusíkův uzel	- Dvojitý Prusíkův uzel	0.086	0.891
Trojité Prusíkův uzel	- Trojité Prusíkův uzel	0.298	0.626
Blake	- Blake	0.224	0.717
Distel	- Distel	-0.541	0.347
Vánočkový prusík	- Vánočkový prusík	-0.500	0.391
Machardův prusík	- Machardův prusík	0.142	0.820

\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

**Pearson's Correlations PF – 2**

<b>Prokluz</b>	<b>Rázová síla</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>p</b>
Dvojitý Prusíkův uzel	- Dvojitý Prusíkův uzel	0.415	0.488
Trojité Prusíkův uzel	- Trojité Prusíkův uzel	-0.375	0.534
Blake	- Blake	-0.207	0.738
Distel	- Distel	-0.798	0.105
Vánočkový prusík	- Vánočkový prusík	-0.884*	0.047
Machardův prusík	- Machardův prusík	-0.675	0.211

\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001