

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Komparace hodnot rázových sil  
u improvizovaných a tradičních zajištěných cest**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

**Mgr. Vladimír Michalička, Ph.D.**

Vypracoval:

**Bc. Václav Kučera**

Praha, 2021

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

.....

Bc. Václav Kučera

## 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 Mgr. Vladimíru Michalíčkovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc a věcné rady při vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Lanex a.s. za poskytnutý materiál. Dále bych chtěl poděkovat vedení hasičského sboru Královehradeckého kraje za poskytnuté prostory pro realizaci měření a Mgr. Martinu Špačkovi za odbornou asistenci a umožnění realizace testování.

## **Abstrakt**

### **Název:**

Komparace hodnot rázových sil u improvizovaných a tradičních zajištěných cest.

### **Cíl práce:**

Cílem této práce je změřit výsledné rázové síly, působící na lezce při pádu z improvizované zajištěné cesty, za použití improvizovaného ferratového setu. Dále porovnat naměřené hodnoty rázových sil u improvizovaných a tradičních zajištěných cest.

### **Metody:**

Tato práce popisuje experiment, při kterém byla zjištěna rázová síla působící na lezce při pádu z improvizované zajištěné cesty za použití improvizovaného ferratového setu. Pro testování byla vybrána 6mm reep šňůra a dynamické lano o průměru 10,5 mm běžně používané ve vojenském lezení. Testování probíhalo v hasičském výcvikovém polygonu Velké Poříčí. Každá délka pádu byla testována deseti pokusy přičemž po každém pádu byl textilní materiál nahrazen novým. Dále byly porovnány výsledné hodnoty rázových sil u improvizovaných a tradičních zajištěných cest.

### **Výsledky:**

Bylo zjištěno, že při pádu lezce o hmotnosti 100 kg z improvizované ferratové cesty za použití improvizovaného ferratového setu a délce pádu 4 m, dosahují výsledné rázové síly průměrné hodnoty 8,97 kN. Dále bylo potvrzeno, že improvizovaný ferratový set je schopný odolat pádu do průvěsu z dynamického lana o maximální délce pádu 4 m. Vlastní naměřené hodnoty dosahovaly výrazně vyšších hodnot než provedená měření u tradičních zajištěných cest.

### **Klíčová slova:**

Via ferrata, tradiční zajištěné cesty, pád, pádový faktor, rázová síla, zachycení pádu, tlumič pádu, vojenské lezení, improvizované zajištěné cesty.

## **Abstract**

### **Title:**

Comparison of impact force values amongst improvised and traditional rope fixed installations.

### **Objectives:**

The aim of this work is to measure the resultant impact forces acting on a climber during a fall from an improvised fixed installation, using an improvised ferrata set, by means of an experiment. Furthermore, to compare the measured impact force values with those already measured for traditional fixed installation using ferrata fall arresters.

### **Methods:**

This paper describes an experiment in which the actual impact force acting on a climber during a fall from an improvised fixed installation using an improvised ferrata set was determined. The aim of the first experiment was to determine the values of the impact forces for a given length of fall. At the same time, to determine the maximum value of the impact force at which the reep cord forming the improvised ferrata set will not break. The second test aimed to determine the resultant values acting on the load when falling into the sag from the dynamic rope, which were then used to compare with the results of the first test. The purpose of the last test was to compare the resultant values of improvised and traditional fixed installations. Each fall length was tested for ten trials whereby after each fall the textile material was replaced with a new one.

### **Results:**

It was found that when a 100 kg climber fell from an improvised ferrata route using an improvised ferrata set and a fall length of 4 m, the resulting impact forces reached an average value of 8.97 kN. Furthermore, it was confirmed that the improvised ferrata set is able to withstand a fall into a sag from a dynamic rope with a maximum fall length of 4 m. The actual measured values were significantly higher than the measurements made for traditional fixed installation.

### **Keywords:**

Via ferrata, traditional fixed installation, fall, fall factor, impact force, fall arrest, fall damper, military climbing, improvised fixed installations.

## Obsah

<b>2 Úvod</b> .....	<b>11</b>
2.1 Úvod do problematiky.....	12
<b>3 Teoretická východiska práce</b> .....	<b>13</b>
3.1 Speciální tělesná příprava.....	13
3.2 Vojenské lezení.....	14
3.2.1 Osobní vybavení vojáka AČR pro pohyb ve skalnatém terénu.....	15
3.2.2 Lana využívaná při vojenském lezení.....	16
3.2.3 Vytvoření improvizovaného ferratového úvazku.....	18
3.2.4 Prostředky používané k zakládání improvizované fixní cesty.....	20
3.2.5 Postup při tvoření improvizované ferratové cesty.....	22
3.2.6 Pád z improvizované zajištěné cesty.....	24
3.3 Tradiční zajištěné cesty známé také jako „Ferraty“.....	26
3.3.1 Klasifikace zajištěných cest.....	27
3.3.2 Historie zajištěných cest.....	29
3.3.3 Nebezpečí při pohyb na zajištěných cestách.....	33
3.3.4 Právní aspekty.....	34
3.4 Pád ze zajištěné cesty.....	36
3.4.4 Rázová síla.....	36
3.4.5 Pádový faktor.....	36
<b>4 Praktická část</b> .....	<b>38</b>
4.1 Cíl.....	38
4.2 Úkoly.....	38
4.3 Výzkumná otázka.....	39
4.4 Hypotézy.....	39
4.4 Metodika výzkumu.....	39
4.4.1 Výzkumné metody.....	39
4.4.2 Design měření.....	40
4.4.3 Metodika získávání dat.....	46
4.5 Omezení měření.....	46
4.6 Statistické zpracování dat.....	47
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>48</b>
5.1 Testování improvizovaného ferratového úvazku.....	48

5.1.1 Souhrnné hodnocení testu.....	50
5.2 Testování vlivu dynamického lana na výslednou rázovou sílu.....	52
5.2.1 Souhrnné hodnocení testu.....	54
5.3 Testování improvizovaného ferratového úvazku při pádu do průvěsu z dynamického lana.....	56
5.3.1 Souhrnné hodnocení testu.....	57
5.4 Vliv dynamického lana na tlumení výsledné rázové síly.....	58
5.5 Komparace hodnot naměřených rázových sil.....	59
<b>6 Diskuze.....</b>	<b>63</b>
<b>7 Závěr.....</b>	<b>67</b>
<b>8 Seznam použité literatury.....</b>	<b>69</b>
<b>9. Seznam grafické dokumentace.....</b>	<b>74</b>
9.1 Obrázky.....	74
9.2 Tabulky.....	75
9.3 Grafy.....	75



## Seznam použitých zkratk a symbolů

### Zkratky

AČR	Armáda České republiky
ČR	Česká republika
ČSN EN	Česká verze evropské normy
EN	Evropská norma
FTVS UK	Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy
fps	Frames per second (počet snímků za sekundu )
NVMO	Normativní výnos ministerstva obrany
ReMO	Resort Ministerstva obrany
resp	Respektive
RMO	Rozkaz ministra obrany
STP	Speciální tělesná příprava
tzv	Takzvaně
UIAA	Union Internationale des Associations d'Alpinisme (Mezinárodní horolezecká federace)
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace )

### Symboly

%	Procento
cm	Centimetr
$\varepsilon$	Průtažnost
daN	Dekanewton
F	Síla
G	Tíhové zrychlení

kg	Kilogram
kN	Kilonewton
mm	Milimetr
m	Metr
p	Hladina statistické významnosti

## 2 Úvod

Armáda České republiky jako člen Severoatlantické aliance usiluje cestou kolektivního úsilí za cílem chránit bezpečnost všech jejích členů. Naším úkolem jakožto důstojníků oddělení přípravy a výcviky je generovat, rozvíjet a udržovat dostatečné fyzické vojenské schopnosti a dovednosti pro potřeby plnění stanovených úkolů.

Všechny státy a jejich jednotky, by měly být schopny v případě jejich nasazení operovat prakticky ve všech možných podmínkách i prostředí (tzv. operační schopnosti). Vstupem do Severoatlantické aliance se Česká republika zavázala ke kolektivní obraně což znamená, že musíme být připraveni pomoci jiným, pokud by byli napadeni. Čeští vojáci působí v celé řadě zahraničních operací ať už je to (Balkán, Pobaltí, Afghánistán, Irák či Afrika). Všechny tyto mise znamenají pro naše vojáky jak obrovský přínos tak i značné riziko.

V průběhu studia vojenského oboru při Fakultě tělesné výchovy a sportu na Univerzitě Karlově jsem prošel mnoha odvětvími speciální tělesné přípravy, přičemž následně úspěšně dokončení studia a získání licencí k provádění speciální tělesné přípravy, znamená být schopen provádět výcvik vojáků z povolání v této oblasti. Tyto dovednosti a zkušenosti nám umožňují připravit ty, kteří se chystají na výše zmíněnou zahraniční operaci nebo jiné kooperační cvičení probíhající v těžkém nebo členitém terénu.

Zajištěné cesty jsou v dnešní době velmi oblíbenou a rozšířenou činností jak pro rekreační lezce tak pro závodníky. Také v armádním prostředí patří zajištěné cesty k velmi oblíbené činnosti ať už z pohledu nebezpečí nebo jen pohybu v členitém a exponovaném prostředí.

V této diplomové práci se zabývám problematikou improvizovaných ferratových setů a tvoření improvizovaných zajištěných cest potřebných k bezpečnému pohybu v horském terénu. Konkrétně nás bude zajímat síla, která působí na lezce při pádu z improvizované zajištěné cesty.

Diplomová práce přináší náhled do problematiky improvizace při tvorbě, jištění a rizik, spojeným s využíváním zajištěných cest při výcviku AČR. Dále popisuje rozdíly ve vybavení a jejich využití při stavbě zajištěné cesty.

## 2.1 Úvod do problematiky

Metodika vytváření způsobu jištění při pohybu v exponovaném prostředí v rámci výcviku AČR nabízí řadu možností. V rámci diplomové práce jsem se rozhodl detailně prozkoumat systém bezpečného pohybu v horském terénu. Formou experimentu zjišťuji skutečné síly působící na vojáky při pádu z improvizované zajištěné cesty.

Tvorba improvizovaných cest současně s tvorbou improvizovaného ferratového setu vychází z vyvstálé situace, kterou nelze vyřešit jiným způsobem. Je to nouzový a dočasný způsob pro překonání daného terénu. Tato improvizace sebou nese určité riziko. Kotevní body nahrazujeme smyčemi, friendly, obhozy apod. Ocelové lano je nahrazeno lanem dynamickým. Samotné jištění lezce představuje pomocná reep šňůra s dvěma karabinami na místo ferratového tlumiče pádu.

Pomůcka schválená ředitelem sekce rozvoje sil Ministerstva obrany, která slouží k teoretické přípravě budoucích instruktorů stanovuje, jaká lana se smí použít při tvorbě jak improvizovaného ferratového setu tak improvizované zajištěné cesty. Použití těchto materiálů se řídí dle doporučení a manuálu pro jejich užívání, které výrobce resp. metodický orgán AČR stanovil. Nicméně výrobce stanovuje pevnost/nosnost při jejich maximálním statickém zatížení. Při použití těchto materiálů je nutné si uvědomit, že jejich vlastnosti mohou být zcela rozdílné, a to zejména při dynamickém zatížení.

Z tohoto důvodu testuji vliv dynamického lana jako prvku systému improvizované zajištěné cesty při použití improvizovaného ferratového setu. Tyto hodnoty nebyly nikde změřeny a proto nás zajímá výsledná rázová síla, která by vlivem dynamického lana mohla být významně snížena.

### 3 Teoretická východiska práce

V teoretické práci jsou sepsány relevantní informace a poznatky, nezbytné k pochopení základních pojmů a mechanismů, vyskytujících se v dané problematice.

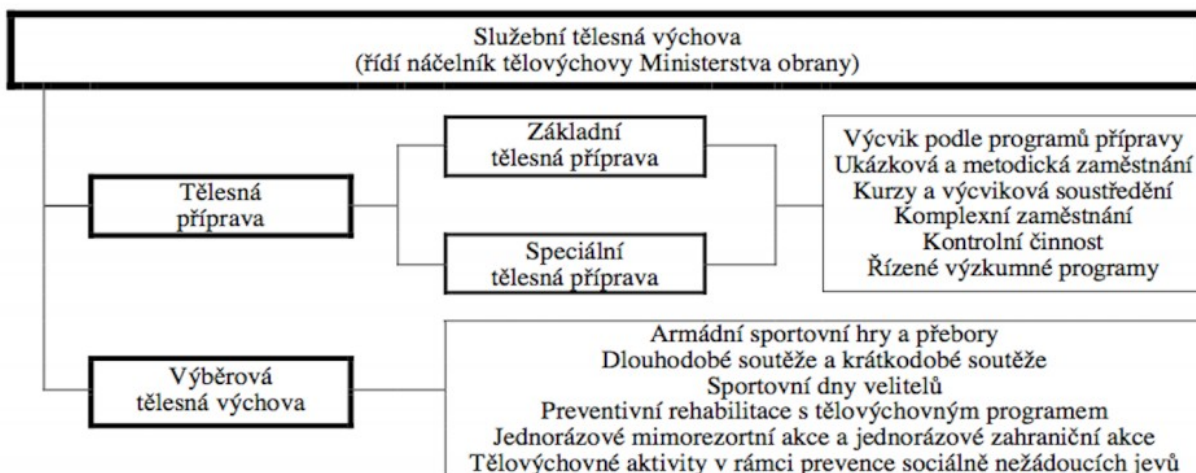
Zdroje využití v teoretické práci jsou čerpány především z odborných článků a publikací, ve většině případů zahraniční literatury. Dále jsem využil vojenských odborných publikací a nařízení, týkajících se speciální tělesné přípravy

#### 3.1 Speciální tělesná příprava

Speciální tělesná příprava se řadí pod služební tělovýchovu v ReMO. Je zaměřena na rozvoj složek tělesné připravenosti, které umožňují plnit vysoce specializované pohybové úkoly. Tyto složky slouží k doplnění všeobecného praktického výcviku. Speciální tělesná příprava se vyznačuje především vysokými nároky jak po technické tak fyzické stránce.

*„Speciální tělesná příprava se zaměřuje na cílevědomé vytváření tělesné a psychické připravenosti vojáků k plnění pohybově specializovaných úkolů ve vztahu k systemizovanému místu, na kterém jsou služebně zařazeni nebo pro které se připravují“* (NV MO č. 12/2011, s. 102).

Za udržování a zvyšování fyzické zdatnosti, zvyšování odborných znalostí a prohlubování kvalifikace je zodpovědností každého vojáka v činné službě (§ 48 odst. 1 písm. e) zákona č. 221/1999 Sb. o vojácích z povolání; čl. 35 písm. a) Zákl. – 1 Základní řád ozbrojených sil České republiky; čl. 11 odst. 2. NVMO č.12/2011).



Obrázek 1 Členění služební tělovýchovy (NV MO č.12/2011)

Součástí výcviku ve speciální tělesné přípravě jsou činnosti, které jsou definovány vysokou technickou náročností, dostatečnou pohybovou docilitou doprovázenou rizikovou a psychicky náročnou činností s cílem přípravy vojenských profesionálů.

Dle NV MO č. 12/2011 se jednotlivá témata STP dělí na:

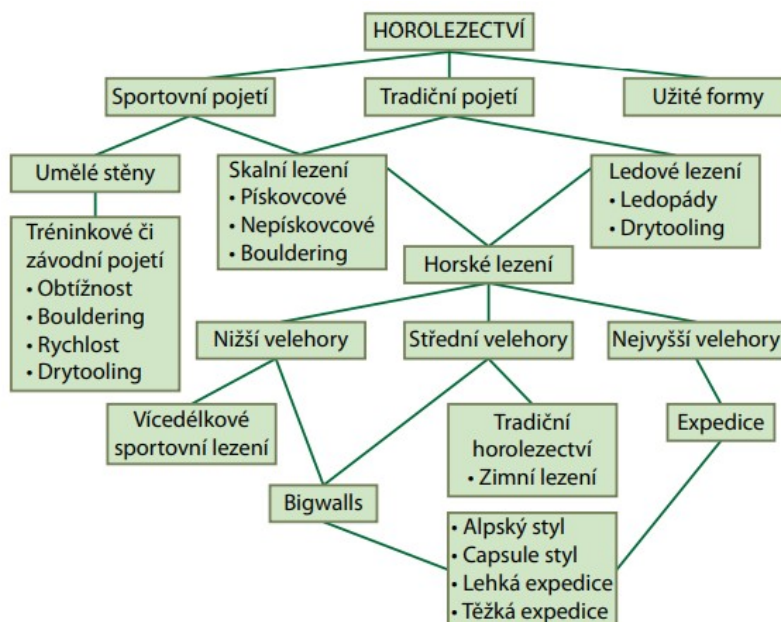
- Boj zblízka;
- Házení;
- Překonávání překážek;
- Přesuny;
- Vojenské plavání;
- **Vojenské lezení;**
- Vojenské víceboje;
- Základy přežití.

### 3.2 Vojenské lezení

Vojenské lezení spadá pod oblast speciální tělesné přípravy viz výše uvedené. Cílem výcviku je připravit jednotlivce nebo skupinu k pohybu v členitém a exponovaném terénu s použitím dostupných technických prostředků (Ministerstvo obrany, 1998; Michalička a kol., 2009; NV MO č. 12/2011).

## Formy horolezectví

Vojenské lezení patří do užitých forem horolezectví. Tato forma využívá horolezecké prostředky a techniky k provedení konkrétních činností při práci ve výšce a nad volnou hloubkou u záchranných, armádních a policejních složek (Michalička a kol., 2019).



Obrázek 2 Formy lezení (Michalička a kol., 2019)

### 3.2.1 Osobní vybavení vojáka AČR pro pohyb ve skalnatém terénu

AČR používá výrobky od civilních firem a vždy se řídí jejich doporučením pro užívání a skladování. Z důvodu různorodých činností, které je voják během plnění bojového úkolu nucen provádět, by množství specializovaných prostředků představovalo poměrně velkou část nesené zátěže jednotlivce, kterou je nutné připočítat k hmotnosti výstroje a výzbroje vojáka. Odborná komise vedoucích instruktorů stanovila základní sadu prostředků a pomůcek, se kterými by vojáci měli být schopni uplatnit základní horolezecké techniky (Michalička a kol., 2019).

## **Základní vybavení pro výcvik jednotlivce**

- Přilba;
- prsní úvazek;
- sedací úvazek;
- tři karabiny s pojistkou zámku (z toho minimálně 1 typu h);
- slaňovací osma;
- 2m kulatá smyce  $\varnothing$  6mm;
- 5m kulatá smyce  $\varnothing$  6mm;
- plochá smyce – nešitá k provázání úvazků;
- plochá smyce šitá 80 cm;
- rukavice.

### **3.2.2 Lana využívaná při vojenském lezení**

Lano představuje společně s kotevními body jednu z nejdůležitějších částí jistícího řetězce a rozdělujeme ho dle materiálu ze kterého byl vyroben, chování při zatížení a typu konstrukce (Frank, Kublák a kol., 2007). Kublák (2015) uvádí: „*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.

Pro účely naší práce jsou nejdůležitější vlastnosti lana dle chování při zatížení, ovlivněné konstrukcí jádra, elasticitou materiálu, opletu a tepelnou či chemickou úpravou vláken. Lana rozdělujeme dle výše uvedených vlastností na dynamická a nízko-průtažná neboli statická (Signoretti, 2002).

#### **Statické lano**

V odborné literatuře nalezneme pod označením nízko průtažná lana s opláštěným jádrem. Jejich předností je jak už název napovídá co nejmenší možná průtažnost, jelikož zejména při zdolávání hlubokých vertikál působí podélné pružení dynamického lana výrazné problémy – čím pružnější je lano, tím větší je amplituda kmitavého pohybu, která je nejen nepříjemná, ale i nebezpečná (Tendon, 2021).



Jak udává norma (ČSN EN 1891) průtažnost statických lan při zatížení hmotností 100 kg nesmí přesáhnout 5 % své délky. Jak udává výrobce, statická lana jsou určena především k zajištění osob při práci ve výškách a nad volnou hloubkou, k lanovým přístupům, pro záchranu osob, ke speleologii a pro další obdobné činnosti (Tendon, 2021). Kombinace stoupání a slánění osob, jako bezpečnostní zařízení pro pracovní polohování v lanovém přístupu, spouštění nebo zvedání osoby při záchraně, jako prostředky výstupu, sestupu a vodorovného pohybu ve speleologii.

### **Dynamické lano**

Lano, které je schopno, je-li používáno jako součást jistícího řetězce, zachytit volný pád horolezce s velkou rázovou silou. Dynamické lano se využívá k jistění při výstupu v těžko dostupném členitém terénu, při sportovním lezení na cvičných stěnách, lezení na ledu a pro další outdoorové aktivity, kde je nutné chránit osoby proti pádu. Jsou využívána i pro slánění (sestup pomocí lana) v místech, kde nelze využít tradiční sestup z výšky (Signoretti, 2002).

*„Dynamická lana jsou testována dle normy platné pro EU (EN 892) a doplňkové normy UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme) mezinárodní unie horolezeckých svazů se sídlem ve Švýcarsku. Tato norma je pro výrobce dobrovolná, chtějí-li však označit lano známkou UIAA, musejí lana zkoušet podle normy UIAA 101, přičemž požadavky normy UIAA 101 jsou, přísnější než u normy EN 892“* (Alpenverein, 2017). Krom toho zavedla UIAA nově zkoušku lana přes ostrou hranu (UIAA 108). Pádová zkouška, tzv. “normovaný pád“, je zkouška odpovídající zatížení v praxi. Statická zkouška na pevnost lana při přetrhu se nevykonává, jelikož horolezecká lana se v praxi nevystavují vysokému statickému zatěžování (Fuss, 2010).

Dynamická lana jsou schopna mezní průtažností až 30 % přičemž pro horolezecké účely je to obvykle do 8 %. Mají vysokou úroveň zkroucení v jádrech a při nárazu působí jako pružina, což zvyšuje prodloužení a absorpci nárazu. Na konci pádu horolezec neosciluje (Bright, 2014, Fuss 2010). K dosažení vyšší pevnosti v tahu zvyšují výrobci počet vláken, použitých během výrobního procesu. To zvyšuje dynamickou schopnost, ale snižuje odolnost proti oděru. Proto nalezení rovnováhy mezi těmito dvěma vlastnostmi vyžaduje určitý kompromis (Bright, 2014).

Lano musí dle uvedené normy vydržet 5 pádů. Podle svých dalších vlastností se dynamická lana obvykle rozlišují na „málo-pádová“ a „mnoho-pádová“. Tedy podle

toho, kolik lano snese tzv. normovaných pádů, aniž by se změnili jeho vlastnosti (např. schopnost pohlcovat pádovou energii) díky průtažnosti neboli prodloužení, které v zatížení dosahuje hodnot od 5 do 30 % (Fuss, 2010). Jde o to, že za přísně simulovaných podmínek se zkouší, kolik pádů lano vydrží. V praxi však přísně simulovaný pád neexistuje, tyto zkoušky tedy mají pouze orientační charakter. Mnohopádová lana jsou bezpečnější, neboť existuje značná pravděpodobnost, že skutečně udrží vážný pád lezce i ve velmi reálných podmínkách (Tendon, 2021).

Selhání lana je v dnešní době způsobeno náhlým oděrem o skálu nebo vnitřním oděrem v důsledku usazování částic písku v laně a znečištěním materiálu před použitím. Mimořádným faktem je, že žádná konstrukce lana o průměru 9, 10 nebo 11mm nesehlala jednoduše kvůli padajícímu horolezci, a to ani v šedesátých letech, kdy lana přežila pouze dva pádové testy (Bright, 2014).

### **3.2.3 Vytvoření improvizovaného ferratového úvazku**

Při výcviku nebo plnění důležitých úkolů může dojít k situaci, která si žádá překonání náročného a nebezpečného terénu. Jelikož každý útvar nemá možnost využití ferratových setů většinou z finančních důvodů, musíme přejít k improvizaci. Improvizace samotná představuje akutní řešení náhle vyvstané situace, která se musí řešit v daný okamžik. U ferratového setu máme již předem daný postup jak udává ve své publikaci Michalička (2019): *„Pro vyvázání improvizovaného ferratového úvazku použijeme 5m. dlouhou kulatou smyč o průměru 6 mm. Její konce svážeme vůdcovským uzlem, zdvojený pramen protáhneme centrálním bodem kombinovaného úvazku a uvážeme dvojitý vůdcovský uzel. Na konci obou pramenů uvážeme uzel (vůdcovský, lodní) k fixaci karabin. Minimálně jedna karabina na improvizovaném ferratovém úvazku musí být s pojistkou zámku. Délka pramenů je maximálně do výšky očí, tj. tak, abychom na karabiny dosáhli i v případě visu v úvazku“.*



Obrázek 3 Improvizovaný ferratový úvazek

Kulatá smyce je většinou konstruována jako lano, ale je určena pouze pro statické namáhání. Nesmí proto absorbovat dynamickou energii, sama o sobě nesmí pohlcovat energii pádu proto volíme dynamické lano jako hlavní prvek k pohlcení rázové síly, ale může být použita při řádném dimenzování ke kotvení nebo podobným účelům (Michalička a kol., 2019). Hlavní požadavky na smyce jsou definovány v ČSN EN 564. Obrázek 4 zobrazuje experiment, měření pevnosti textilních smyček při dynamickém namáhání, který provedla britská firma DDM. Smyce o různých délkách, které byly vystaveny pádu závaží o hmotnosti 80kg a pádovému faktoru 1 a 2. Červené pole značí přetržení smyce. Dalším vypovídajícím ukazatelem je pevnost smyčky přerušené vůdcovským uzlem. Vytvořený uzel totiž snižuje pevnost lana a stává se tak nejslabším článkem systému. Přestože smyčky s uzlem dosahovaly nižších hodnot rázové síly, jelikož část energie pohltilo ono dotažení (How to Break Nylon & Dyneema Slings, 2010).

č.	pádový faktor	délka smyčky	délka pádu	smyčka PAD		smyčka dyneema	
				16 mm	26 mm	8 mm	11 mm
1	f=1 volná	120 cm	120 cm	12,8 kN	-	-	22,4 kN
2	f=1 s uzlem	120 cm	120 cm	11,0 kN	-	-	11,1 kN
3	f=2 volná	120 cm	240cm	17,6 kN	-	-	21,2 kN
4	f=2 s uzlem	120 cm	240cm	14,3 kN	-	-	11,7 kN
5	f=1 volná	60 cm	60 cm	11,6 kN	11,8 kN	17,8 kN	16,7 kN
6	f=1 s uzlem	60 cm	60 cm	-	-	-	10,2 kN
7	f=2 volná	60 cm	120 cm	15,4 kN	16,3 kN	22,5 kN	25,1 kN

Obrázek 4 Výsledky testování pomocné smyčky (How to Break Nylon & Dyneema Slings, 2010), úprava vlastní

### 3.2.4 Prostředky používané k zakládání improvizované fixní cesty

Při vytváření zajištěné cesty, kterou potřebujeme vytvořit k bezpečnému pohybu jednotky při překonávání dané trasy využíváme dynamické lano, dočasné postupové jištění a techniky lezení prvolezce a druholezce (Michalička a kol., 2019).

#### Dočasné postupové jištění

Dočasné postupové jištění zabezpečují všechny prostředky, které můžeme vkládat do spár, dutin ve skále nebo také pomocí smyce na skalních hrotech, obhozy stromů, vkládáním uzlu nebo více uzlů na smyči do skalních štěrbin a provazováním skalních hodin viz obrázek 5. Při zakládání postupového jištění musíme zajistit pomůcky tak, aby jsme zamezili pohybu do všech stran a omezili tak možné porušení daného postupového bodu.



Obrázek 5 Skalní hodiny  
(Michalička a kol., 2019)

#### Zajišťovací pomůcky dočasného postupového jištění

- 1. vklíněnce;
- 2. hexentriky;
- 3. abalaky a Tri -Camy;
- 4. mechanické vklíněnce ;
- 5. smyce (ploché i kulaté);
- 6. šťáradlo (háček na vytahování).



Obrázek 6 Zajišťovací pomůcky  
(Michalička a kol., 2019)

#### Fixní postupové jištění

Jako fixní postupové jištění bereme nýt, kruh nebo trvale zatlučená skoba. Jedním slovem materiál k tomu určený zatlučený kladivem do tenkých skalních otvorů, který nelze přemístit (Ludovic, 2017).

## **Zajištěná cesta východoalpského typu**

Pro cesty na východě Alp je typické maximálně napnuté ocelové lano, které představuje základní jisticí prvek. Karabiny se zapínají na lano, pevně zakotvené do skály. „*Při budování vojenské improvizované zajištěné cesty používáme cestu východoalpského typu v traverzech, kde nehrozí pád do kotevního bodu a využití lana místo chytů usnadňuje a urychluje postup*“ (Michalička a kol., 2019).

## **Zajištěná cesta francouzského typu**

„*Zajištěné cesty francouzského typu jsou charakteristické vedením lana mezi kotevními body „na volno“.* Ke každému ukotvení do skály je ocelové lano upevněno pomocí svorky tak, že v případě pádu se karabina zastaví v průvěsu lana, nikoli o kotvicí body, čímž se vyhneme nebezpečnému zatížení karabin“ (Michalička a kol., 2019). Při budování improvizované fixní cesty použijeme cestu francouzského typu ve vertikálách, kde hrozí riziko pádu s nebezpečně vysokým pádovým faktorem (Michalička a kol., 2019).

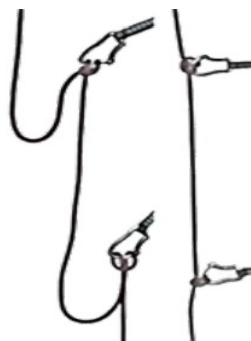
## **Lanové přemostění**

„*Lanové přemostění představuje spojení dvou bodů o podobné výšce. Fixní lano, natažené mezi těmito body, slouží k urychlení postupu při překonávání terénních nerovností (strže, údolí apod.). Pro snazší transport je výhodnější, když místo nástupu je alespoň o 10° výše než místo dojezdu*“ (Michalička a kol., 2019). Tento typ překonání daného úseku vyžaduje vysokou míru znalostí a zkušeností. Nejprve je důležité správně vybrat kotevní bod pro založení, kvalitně jej založit a připravit pro vypnutí lana. Další dva zkušení lezci z protější strany taktéž založí místo pro ukotvení lana. Následně s pomocí jednoduché a dvojité kladky vypnou lana, které později ponесou všechny členy družstva. V průběhu může dojít k povolení lan, tudíž je žádoucí aby šlo průběžně lana znovu dopnout. Nevýhodou je, že poslední musí zrušit kotevní bod, slanit a zase vylézt na druhý bod, pokud nechcete přijít o použitý materiál (Michalička a kol., 2019).

## **Improvizovaná zajištěná cesta se dvěma lany**

U tohoto typu cest doprovázejí trasu dvě lana. První, volnější s průvěsem, slouží jednak k jistění (eliminuje nepříznivé zatížení karabin) a také absorbuje část rázové síly vzniklé při možném pádu z improvizované cesty. Druhé lano je napnuté a slouží jako

opora ve složitých úsecích cesty viz obrázek 7. Spojuje tak výhody obou předchozích variant zajištěných cest. Pro postup ve vertikálách „na těžko“ je vhodnější použít cestu se dvěma lany nebo cestu východoalpského typu se sebezajištěním pomocí smyce a samosvorného uzlu nebo blokantu (Michalička a kol., 2019).



Obrázek 7 Postup po zajištěné cestě se dvěma lany (Michalička a kol., 2019)

Dle Michaličky (2019) při pohybu na improvizované zajištěné cestě dodržujeme následující zásady:

- délku lan pro sebejištění přizpůsobujeme výšce postavy lezce tak, aby i při případném pádu a prověšení lana byl možný návrat zpět na fixní cestu;
- zámky karabin jsou na laně otočeny směrem od skály k sobě;
- na laně v úseku mezi kotvením se může pohybovat pouze jeden voják, v kolmém profilu se pak nechává volný celý jeden úsek;
- na fixních cestách se nepředbíhá, méně zdatnému kolegovi se snažíme pomoci v pohybu na cestě. V případě, že nastane taková situace, s pomalejším se domluvíme a na příhodném místě provedeme výměnu pořadí při stálém zajištění
- nevstupujeme do míst s předpokladem pádu kamení. Tato místa a pohyb jiných vojáků je nutno předvídat;
- před místem, které je ohroženo pádem kamení od jiných vojáků pohybujících se výše na cestě, počkáme, až poodejdou;
- při pohybu na stálých fixních cestách je vhodné použít ochranné rukavice.

### 3.2.5 Postup při tvoření improvizované ferratové cesty

Před vytvořením prvního fixního bodu je žádoucí zkontrolovat všechny členy družstva s cílem odstranění nedostatků, které by mohly vést ke zranění lezců.

První jistící bod by měl být zhotoven na snadno dostupném a bezpečném místě. Prvolezec je navázán do osmičkového uzle a jištěn přes půllodní uzel. Přesně kopíruje cestu, kterou vybírá dle svého uvážení a vytváří postupové fixní body, přičemž lano nechává volně procházet karabinou. Po překonání daného úseku lezec vytvoří sebejištění a dá povel jistícímu ke zrušení jištění (Michalička a kol., 2019). Dobere lano a připraví vypínací mechanismus jednoduchou kladkou. Mezitím jistící zablokuje a zajistí půllodní uzel. Následně vypne celý úsek pomocí jednoduché kladky.

Druholec je připravený s vytvořeným improvizovaným ferratovým úvazkem. Po kontrole vyráží na první úsek. Po dosažení druhého postupového bodu se cvaká jednou karabinou na další úsek a druhou přímo do postupového jištění. Následně dává povel jistícímu na konci úseku „povol“! Poté vloží do postupového bodu vhodný uzel dle okolností, tak aby první úsek byl napnutý (Michalička a kol., 2019).

Zde je důležité zdůraznit, že pro velmi nebezpečné exponované úseky volíme francouzský způsob s průvěsem a minimální možnou vzdálenost jednotlivých postupových bodů pro snížení výsledné rázové síly.

Druholec má zde významnou roli a dle jeho uvážení, může směr cesty korigovat. Dále se jeho činnost opakuje až po zdolání úseku, kde dojde k zablokování půllodního uzle zadrhávací kličkou (Michalička a kol., 2019).



Obrázek 8 Improvizovaná zajištěná cesta

### 3.2.6 Pád z improvizované zajištěné cesty

#### Mechanické parametry dynamického lana

Mechanické vlastnosti odkazují na kvalitu vláken, multifilamentů, ale i celých lan. Zejména pokud se jedná o materiál určený pro technické účely, kde je důležitá odolnost vůči tahovým deformacím. Charakteristiky jako například pevnost  $P$  (N), průtažnost  $\varepsilon$  (%), poměrná pevnost  $f$  (N), atd. vyjadřují mechanické vlastnosti daného materiálu.

#### Pevnost

Pevnost je síla, při které dojde k destrukci (přetržení) lana. Jednotkou je N (Newton), v kg (kilogramech) nebo v kN (kilonewtonech) či daN (dekanewtonech) Odborně pevnost představuje maximální hodnotu tahové síly, které je možné dosáhnout ve vlákně, svazku vláken, ale i u pramenů, lan, apod (Tendon, 2021).

#### Faktory ovlivňující pevnost lan

Jak uvádí Lanex (2016) mezi faktory ovlivňující pevnost lan patří:

1. Konstrukce lana s rostoucím počtem pramenů rostou užité vlastnosti lan;
2. Oděr lana dotyk lan s hranami, výstupky – narušují se povrchová vlákna a dochází ke snižování pevnosti;
3. Sluneční, resp. UV záření - UV záření snižuje pevnost lana;
4. Působení chemikálií - pevnosti lan z materiálů, které nejsou odolné vůči různým chemikáliím, mohou být významně ovlivněny působením těchto látek;
5. Působení teploty – při teplotách nad  $-150$  °C dochází k měknutí lana a snížení pevnosti;
6. Sálavý zdroj tepla - například při sušení, při otevřeném ohni, při styku s horkými předměty;
7. Záplety - snižují pevnost lan o 10 %;
8. Uzly - snižují pevnost lan až o 50 % viz obrázek 9.



<b>UZLY KOTVICI</b>		
<i>Název uzlu</i>	<i>Tvar</i>	<i>Pevnost lana s uzlem oproti nominální pevnosti lana</i>
Devítkové oko		70 %
Osmičkové oko		55 %
Dvojité dračí oko		53 %
Dračí smyčka		52 %
Motýlek		51 %
Vüdcovská smyčka		50 %
Rybářský jednoduchý/alpské dvojče		43 %

<b>UZLY SPOJOVACÍ</b>		
<i>Název uzlu</i>	<i>Tvar</i>	<i>Pevnost lana s uzlem oproti nominální pevnosti lana</i>
Dvojitý rybářský		56 %
Osmičkový protiběžný		48 %
Vüdcovský protiběžný		44 %
Rybářský jednoduchý		39 %

Obrázek 9 Pevnost uzlů oproti pevnosti nominální (Frank, Kublák a kol., 2007)

### **Nosnost lan**

Je třeba rozlišovat mezi maximální pevností lana a jeho nosností. Nosnost je maximální zatížení lana, které nesmí být překročeno a je závislé na stanoveném koeficientu bezpečnosti, který vyjadřuje poměr mezi pevností a nosností. Obecně platí, že nosnost lana je na úrovni maximálně do 20 % pevnosti v tahu (Tendon, 2021).

### 3.3 Tradiční zajištěné cesty známé také jako „Ferraty“

Zajištěná cesta (německy Klettersteig, v italštině via ferrata, anglicky climbing path nebo climbing route) nebo také „železná cesta“ je obtížná turistická cesta v těžko přístupném, většinou skalním a horském terénu. Cesta je jištěna železnými stupy, žebříky, ocelovými lany a dalšími pomůckami. Cílem těchto cest je zpřístupnění skalního terénu širší veřejnosti, která nemá zkušenost s horolezeckými výstupy (WERNER a kol., 2016).

Bošátková (2004) definuje ferraty jako: *„uměle zajištěná horolezecká cesta, jejíž přirozený stupeň obtížnosti je zmírněn pomocí ocelových jisticích lan, kramlí, kolíků a místy také žebříků nebo visutých mostů natolik, že se stává schůdnou i pro sportovně založené vysokohorské turisty, kteří netrpí závratěmi.“*

Vedoucí lano je po krátkých úsecích většinou do 5m, ukotveno ke skále pomocí ocelových ok a jeho primární funkcí je zavěšení karabin ferratového setu. Další funkcí je možnost přidržování lana během výstupu. Krom lana a žebříků se k překonání zajištěných cest často používají také řetězy, lávky a různé druhy železných stupů jako kramle, skoby nebo čepy (Damilano, 2005). Vedoucí lano slouží i v méně obtížných horských terénech většinou jako zábradlí, které se využívá v místech, kde hrozí pád z důvodu příliš úzké cesty, sesuvu půdy nebo také za mokra, sněhu a námrazy. Zajištěné cesty umožňují díky umělým jištěním přístup i do míst, která by byla jinak nepřístupná nebo přinejmenším lezecky velmi náročná (Damilano, 2005).



Obrázek 10 Tradiční ferrata

### **3.3.1 Klasifikace zajištěných cest**

Posuzování obtížnosti je zcela závislé na subjektivním pocitu horolezce. Přesto můžeme sestavit alespoň přibližnou stupnici, která má pouze „relativní charakter“ neboli nelze je srovnat s jinou obdobnou stupnicí (Werner a kol., 2016). Základem pro hodnocení je technická obtížnost a celková obtížnost z horolezeckého hlediska, ale zohledňuje se i celkový charakter cesty, délka výstupu, nadmořská výška, náročnost nástupu i sestupu, bezpečnostní stav jištění, možnost výskytu sněhu, pravděpodobnost padajícího kamení, stav umělých pomůcek, nebezpečí v případě zvratu počasí i případné únikové cesty (Krédl, 2015).

V rámci zajištěných cest rozlišujeme tři nejpoužívanější stupnice. Podobnost používaných stupnic je zjevná. Setkáváme se s různými druhy značení obtížnosti. Musíme vzít v potaz fakt, že klasifikace zajištěných cest není žádným způsobem normována a stanovení obtížnosti navrhuje zřizovatel cesty nebo si sám autor vybírá, jakou stupnicí obtížnost cesty označí. Nejčastěji se setkáme se stupnicí Wenera, Huslera nebo Schalla (Husler, 2007).

#### **Wernerova stupnice**

Dle mého názoru je nejpoužívanější stupnice, tzv. pětistupňová rakouská značená písmeny A až E, kterou vymyslel Kurt Shall. U extrémně obtížných cest je přidána i obtížnost F. Stupnice uvádí charakteristiku zajištěné cesty, úroveň zajištění a případná doporučení (Krédl, 2015).

#### **A – jednoduché (KS 1)**

Mírně skloněné nebo svislé žebříky. Ojedinele exponovaná místa, přesto snadno zvládnutelná. Terén má dostatek dobrých chytů a stupů (s výjimkou žebříků přes skalní stupně) (Frank, 2007).

#### **B – mírně obtížné (KS 2)**

Strmější skalní terén s exponovanými úseky. Svislé delší žebříky, kramle, železné stupy nebo řetězy. Některé pasáže vyžadují sílu. Podle horolezecké stupnice jde o terén obtížnosti 2 až 3 (Frank, 2007).

### **C – obtížné (KS 3-4)**

Strmý až velmi strmý skalní terén. Celá cesta vede exponovaným terénem. Kolmé žebříky, kramle a stupy, které mohou být hůře dosažitelné. Časté svislé úseky jsou zajištěné jen ocelovým lanem. V některých místech může být cesta silově náročná. Podle horolezecké stupnice jde o terén obtížnosti 3 až 4 (Krédl, 2015).

### **D – velmi obtížné (KS 5)**

Svislý, často také převislý terén. Kramle a stupy jsou mnohdy dost daleko od sebe. Velmi exponovaná a strmá skála, kde je téměř vždy jištění jedním ocelovým lanem. Delší svislé až převislé pasáže, v nichž je ve zvýšené míře nutná dostatečná síla v pažích. Cestou se lze setkat s krátkými lezeckými úseky obtížnosti 1 až 2, jež nejsou zajištěny vůbec a je nutné je s jistotou překonat. Cesty této obtížnosti jsou doporučeny s vybavením jisticími prostředky (Frank, 2007).

### **E – extrémně obtížné (KS 6)**

Extrémní nároky na sílu, jistotu kroku a především rovnováhu. Doporučuje se především pro zkušené lezce, nikoliv začátečníky. Tento stupeň obtížnosti se vyskytuje na zajištěných cestách velmi zřídka. Úseky často zahrnují lezení. Ve zvýšené míře platí všechny charakteristiky popsané u obtížnosti D. Ojedinele se objevují velmi převislé úseky, klasifikované jako „F“ (Werner a kol., 2016).

### **Italská tříčlenná stupnice náročnosti cest via ferrata**

- Modrá – nejjednodušší, většinou krátké zajištěné úseky, (odpovídají obtížnosti KS1 – KS2). Přesto je potřebná průměrná odolnost proti závratím a únavě v horském terénu;
- Červená - Obtížnější, nutnost vybavení, často dlouhé výstupy v exponovaném terénu, většinou bez extrémně náročných pasáží (myšleno především převisů), odpovídá náročnosti (KS3 – KS4). Spíše pro zkušené lezce se zkušenostmi na zajištěných cestách;
- Černá – těžké až velmi těžké dlouhé náročné výstupy, často s několika velmi těžkými pasážemi, nutnost předchozí přípravy a zkušeností. Odpovídá náročnosti (KS4 – KS6) především pro zkušené a zdatné lezce.

## Nová Italská a Francouzská stupnice

- F – lehké;
- MD (I) – středně obtížných, PD (F) – mírně obtížný;
- D – obtížných;
- MOD (I), TD (F) – velmi obtížný;
- ED – extrémně obtížný.

### 3.3.2 Historie zajištěných cest

*„Tam nahoru do závrtných výšek vede 8 až 10 žebříků. Touto strašlivou a nebezpečnou cestou, kterou chce kvůli její zvláštnosti spatřit většina příchozích, stoupající vzhůru a potom zase sestupující dolů, zdejší obyvatelé často i potmě večer, s těžkým nákladem mnohdy i posilnění alkoholem, za to vždy bez nehody“ (E. S. Pesius, 1844).*

Riskantní hospodářské cesty neboli tzv. „Hinab-trage-Steige“ (cesty pro nosiče) v oblasti Německého Bavorska se tvořily pro zásobovače, kteří museli denně chodit nahoru a dolů, za účelem snášení a vynášení potřebných komodit především mléka a sýrů z horských salaší do vesnic v údolích, kteří si pochopitelně zkracovali cestu. Tyto cesty byly velmi nebezpečné a strmé. V některých úsecích musely být opatřeny skobami, hřeby, železnými kruhy a konopnými lany (Damilano, 2005).

Nejstarší doklad o zajištěných cestách sahá až do roku 1506 na úpatí Perlsteigu určených pro salašnictví. Posléze i dobytek byl těmito cestami spouštěn pomocí navijáku s konopnými lany (Werner a kol., 2016).

*„Výstavba zajištěných cest primárně pro horolezce se objevují počátkem 19. století a sice Hoher Dachstein (2996 m), zdolaný poprvé v roce 1832. Profesor Friderich Simony, který na vrchol poprvé vystoupil se později zasloužil o zabezpečení a financování skrze další obdivovatele Alp arcivévodům Ludvikovi a Františku Karlovi, knížeti Metternichovi a dalším vysokým představitelům, kteří věnovali peníze na stavbu cesty „Dachstein-weg“ (Boščíková, 2004).*

První vysokohorské umělé skalní jištění vzniklo v Alpách roku 1869 u známého jihozápadního hřebene Grossglockneru. Zřízení nové cesty pomocí uměle vysekaných stupů, zapuštěných kramlí a ocelových lan, vhodné pro méně zdatné horolezce. Autoři této cesty Thomas, Rupert a Michael Groderovi pracovali bezmála dva měsíce.

Nataženo bylo kolem 400 m ocelových lan, kramlí a umělých stop. Bohužel námraza, tlak sněhu a blesky brzy poničily lana natolik, že se obtížnost vrátila do původního stavu. Z cesty jež byla vystavěna, se dodnes zachovaly pouze nepatrné zbytky, chráněné jako historická památka z počátku zpřístupňování vysokohorských terénů (Werner a kol., 2016).

V následujících letech docházelo k budování stovek zajištěných cest, především zásluhou Alpských horských a turistických klubů a spolků, účelem zpřístupnění strmých a nebezpečných skalních vrcholů pro ty, kteří snili o jedinečných výhledech a svěžím alpským prostředí. Bohužel se zvyšovala četnost nehod a úmrtí, které daly nekompromisní podnět k zamyšlení nad potřebou jistících pomůcek (Seifert, 2017).

Další kapitolou naneštěstí tragickou představovala první světová válka. Především oblast Dolomit a Julských Alp, kde se bezmála tři a půl roku odehrávala tzv. poziční válka. Mnoho exponovaných míst na vrcholech a hřebenech, která poskytovala výbornou strategickou polohu k úkrytu nebo pozorování, bylo nutné zpřístupnit pomocí všech dostupných prostředků. Byly to vojáci, kteří budovali i přes nepříznivou dobu celkem solidní a spolehlivé zajištěné cesty, přičemž se mnohokrát museli uchýlit k improvizaci, která později znehodnotila určité cesty. Častokrát se objevují dlouhé dřevěné žebříky „do nebe“ ukotvené na skalních stěnách pouze pomocí konopných lan a železných skob. Zmínky jsou také o trhavinami poničených dlouhých štolách a podzemních chodbách (Werner a kol., 2016).

Důležité období pro výstavbu zajištěných cest přichází začátkem 30. let 20. století. Horolezecká společnost Societá Alpinistica Trentina spadající pod spolek (club Alpino Italiano) začíná s instalací umělých pomůcek na trasy zdoluhavých výstupů k vyhlášeným lezeckým vrcholům a trasám. *„První vybudovaná cesta Bocchette v Dolomitech, vede přes sedla, hřebeny a žlaby, přičemž spojuje důležitá místa, aniž by se dotkla jediného vrcholu. Po druhé světové válce byla tato síť tras zbudována tak, že bylo možné projít od severu k jihu jen po zajištěných cestách. Ochuzena je pouze o fakt, že zde není připojen žádný výstup na vrchol“* (Frank, 2007).

Na konci padesátých let se skupina „přátel hor“ rozhodla zpřístupnit staré a poničené vojenské cesty a díky tomuto nápadu vznikl „spolek přátel Dolomit“ pod heslem „Cesty, které dříve dělily frontu, nás nyní budou spojovat“. Tímto pokračuje výstavba zajištěných cest, která započala už dříve před první světovou válkou. „Mírové cesty“ (Friedenswege / Vie D'ella Pace) byly v průběhu následujících let opravovány a

přidávány nové. Nové nouzové přístřešky a chaty byly zbudovány, které je do dnes možno navštívit (Werner a kol., 2016, Seifert, 2017).

*„V šedesátých letech se zvedá vlna oblíbenosti alpinistických sportů. Nadšení alpinisté a alpské spolky se pouští do rekonstrukcí starých zajištěných cest. Konopné lano vystřídá pevnější ocelové. Stejně tak i ztrouchnivělé žebříky jsou nahrazeny bezpečnějšími z oceli. Kouzlo zajištěných cest objevují i „běžní turisté“, což vede k rozvoji cestovního ruchu. V návaznosti na lepší se ekonomickou situaci a rozmach v cestovním ruchu dochází k výstavbě nových zajištěných cest“ (Klementová, 2013).*

### **Vývoj jištění**

Tak jako se vyvíjely zajištěné cesty, tak se vyvíjelo i vybavení pro pohyb po zajištěných cestách. Zpočátku se využívalo nouzové jištění pouze v úsecích, kde hrozil volný pád. Ve většině případech se jednalo o kus konopného lana zajištěný karabinou. Velmi rozšířená byla tzv. reep šňůra. Jedná se o krátké lano o různé délce a tloušťky, na které se pomocí uzlu připevnila karabina. Tento způsob jištění bohužel nebyl dostačující pro bezpečný pohyb. V případě volného pádu není schopná reep šňůra zachytit tak vysoké hodnoty rázové síly a přetrhne se nebo je náraz tak prudký, že dojde k fatálním následkům na zdraví lezce (Energy absorbing systems for via ferrata, 2007).

### **V systém**

Jedná se o systém jištění, kdy lano, dlouhé cca 2 m je protaženo kovovou destičkou umístěnou uprostřed lana. Systém je podobný tvaru písmene „V“, odtud pochází jeho název (Ernst, 2009). Ze dvou pramenů lana může být připnuto na ocelové lano pouze jeden pramen.



Obrázek 11 Destičkové tlumiče pádu typu „V“ (Ernst, 2009)

Zde vyvstává, hlavní nebezpečí systému „V“. Bezpečnostní předpoklady tohoto systému tlumiče pádu jsou nedostačující. V případě selhání karabiny nebo jistícího pramenu již nemá lezec další jištění. Brzda musí být certifikována a lano může protahovat brzdou destičkou pouze výrobce (Ernst, 2009).

### **Y systém**

*„Uzle spojující lano s karabinou nahradily bezpečnější šité švy. Tzv systém „Y“, který používají výrobci tlumičů pádu dodnes a vyvíjí se stále nové bezpečnější verze tohoto systému“* (Schubert, 2004). Funkčnost zde zajišťuje princip snížení rázové síly díky tření lana skrz kovovou destičku, místo páracího tlumiče. Jedná se o kombinaci obou systémů tlumiče. Výhodou je používání obou karabin stejně jako u klasického tlumiče pádu s párací brzdou. Velkou nevýhodou je zde vliv opotřebení a stárnutí na lano. Po delší době užívání dochází ke znečištění a zatvrdnutí lana. Z tohoto důvodu hlavní outdoorový výrobci stahují tyto sety z trhu, výměnou za párací tlumiče (Singing rock, 2016).



Obrázek 12 Destičkové tlumiče pádu typu „Y“ (Singingrock, 2013)

### **Párací tlumič pádu**

Tlumič pádů neboli ferratový set, ferratová brzda, apod. Představuje jistící set, který sehrává důležitou úlohu v zachytávání pádu. Inovace ve vývoji jištění nám umožňuje používat bezpečné tlumiče pádu, které prošly od svých začátků značnými změnami. Fungují na principu vypárání dvou sešitých popruhů. Vypáraný ferratový set je nutné okamžitě vyměnit. Většina lezců se spoléhá na bezproblémový průběh cesty a obvykle u sebe žádný typ náhradního jištění nemají. Pokud dojde během výstupu k pádu, že se tlumič vypáře a nemá k dispozici náhradní jištění, musí se spoléhat v lepším případě na pomoc ostatních lezců. V nejhorším případě na pomoc záchranáře. *„Jelikož při vypárání tento materiál své brzdné účinky na pád lezce ztrácí a jeho znovupoužití je nemožné“* (Hrdina, 2013).



Evropská norma specifikuje bezpečnost použití ferratových setů (norma EN 958:2017, EN 363, EN 353-1 EN 353-2 a EN 360). Přičemž standardy pro zpomalení a síly působící v případě pádu je hodnocena pro 80 kg těžké jedince. Velký problém nastává při řešení otázky vlivu nízké hmotnosti dětí na funkci tlumiče. „*Dítě při pádu nevyvine dostatečnou zátěž pro aktivaci brzdného systému a dopad do tlumiče se v tomto okamžiku stává pro tělo dítěte nebezpečným. Podle aktuální normy aktivační síla tlumiče pádu vhodného pro lezce do 40 kg hmotnosti nesmí přesáhnout 3,5 kN. Hovořímeli o lezcích na druhé straně spektra, aktivační síla tlumiče při hmotnosti lezce až do 120 kg nemá přesáhnout 6 kN*“ (Alpenverein, 2017).

Studie, zabývající se tímto problémem od autorů Pasching E, Diem E, Litzenberger S, Sabo: „*Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers*“ poukazuje na problém různé hmotnosti lezců. V této studii proběhlo zkoumání brzdné síly tlumičů pádů v závislosti na váze lezců. Celkově bylo hodnoceno 8 ferratových tlumičů pádů. Výsledky ukázaly, že u lezců s hmotností 15kg až 48kg nebylo využito maximální brzdné dráhy. Přičemž může dojít k mnohočetnému zranění u lezců s menší hmotností. Výsledkem této studie bylo poukázáno na nutnost stanovení minimální hmotnostní limit pro užívání ferratových setů.

V současné době lze pořídit i dětský set dostupný na specializovaných prodejnách, kde lze i nastavit aktivační hmotnost ferratového setu. Dětské sety tlumí pád již od váhy 30 kg (Frank aj., 2007).



Obrázek 13 Párací tlumič pádu (Worksafety, 2020)

### **3.3.3 Nebezpečí při pohyb na zajištěných cestách**

#### **Subjektivní nebezpečí**

Mezi subjektivní rizika řadíme taková nebezpečí, která každý lezec může ovlivnit svým chováním a tímto předejít možnému vzniku nebezpečí.

- Fyzická odolnost jedince;
- Příprava;
- Akrofobie;
- Odpovídající vybavení.

#### **Objektivní nebezpečí**

Jsou to taková rizika, která lezec nemůže ovlivnit svým přičiněním:

- Padající kamení;
- Počasí;
- Zásady chování při bouřce;
- Nadmořská výška.

### **3.3.4 Právní aspekty**

Pohyb po zajištěných cestách nese určitou míru nebezpečí a rizika. Každý lezec nese svůj díl zodpovědnosti za dodržování pravidel bezpečnosti při pohybu na zajištěné cestě. Právní aspekty vymezují, jak se zachovat v případě zranění následkem např. špatně udržované cesty.

#### **Právní odpovědnost v ČR**

V České republice nese zodpovědnost za zhotovení a udržování zajištěné cesty zřizovatel. Každá zhotovená cesta by měla mít svého správce nebo provozovatele, který má povinnost stavbu udržovat a kontrolovat, zdali nedošlo k poškození a zajistil tak její bezpečné užívání. Nicméně v České republice není daná norma pro výstavbu těchto cest. Jediné co se musí dodržet jsou normy pro jednotlivé prvky jako např. stanovená nosnost lan (Ferraty, 2016). Normou pro bezpečnost horolezeckého vybavení norma UIAA, kterou vydává mezinárodní organizace horolezeckých svazů (Alpenverein, 2016).

## **Právní odpovědnost v Rakousku**

V Rakousku zodpovídá za stav zajištěné cesty stavitel nebo zřizovatel. *„Zřizovatelem rozumíme toho, kdo hradí náklady na zřízení a údržbu cesty, určený správce cesty. Majitel nemusí být zároveň nutně zřizovatel. Pokud majitel pozemku povolí jinému spolku nebo svazu stavbu zajištěné cesty na svém pozemku, zřizovatelem bude spolek nebo svaz, který bude cestu spravovat. Zřizovatel nese za zajištěnou cestu úplnou odpovědnost a musí se proto postarat, aby údržbu prováděly pouze osoby s dostatečnou kvalifikací. Osoby, které pomáhají se správou zajištěné cesty v případě zranění lezce vinou špatného stavu cesty, mohou nést spoluodpovědnost za případnou škodu“* (Alpenverein, 2016). Normu kterou se řídí a dodržují je norma UIAA. Tuto normu vydává mezinárodní organizace horolezeckých svazů (Alpenverein, 2016).

## **Právní odpovědnost v Německu**

Německo nemá vlastní předpisy pro zřizování a udržování zajištěných cest. Tady platí všeobecná pravidla o povinnosti provozu. Tato pravidla stanovuje zřizovatel, který předkládá zdroj možného nebezpečí. *„Zřizovatel musí cestu udržovat v bezpečném stavu neohrožujícím zdraví za použití potřebného vybavení a s dostatečnou obezřetností“* (Alpenverein, 2016). Rozdíl v odpovědnosti proti Rakousku je ten, že odpovědná osoba nebo organizace ručí i při lehké nedbalosti, která zaviní zranění lezce. Z norem DIN a EN vychází předpisy a technické bezpečnostní normy, které udávají kritéria a vlastnosti pro materiály, výrobky, které musí splňovat pro využití za účelem výstavby zajištěných cest. Další normou pro bezpečnost horolezeckého vybavení je norma UIAA, kterou vydává mezinárodní organizace horolezeckých svazů (Alpenverein, 2016).

### 3.4 Pád ze zajištěné cesty

Pro modelovou situaci uvažujme následovně. Lezec postupuje vzhůru v dané zajištěné cestě, během cesty už úspěšně zakládá sebejištění v jednotlivých úsecích a získává potenciální (polohovou) energii. Ve chvíli, kdy dorazí k dalšímu bodu a chystá se uvolnit karabinu a začít další úsek, mu uklouzne noha a on začne padat, jeho pád tedy má největší možnou délku v daném úseku. V této fázi padá volným pádem přičemž vzrůstá rychlost padajícího. V tuto chvíli na horolezce působí síla gravitační. Odpor prostředí je zanedbatelný.

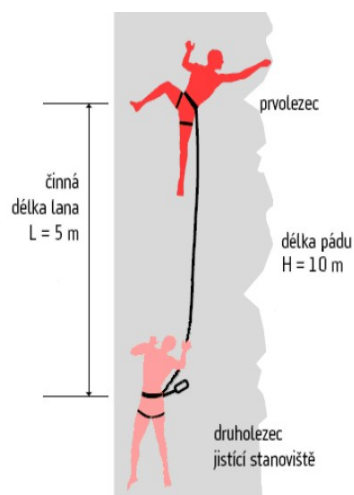
#### 3.4.4 Rázová síla

Při zachycení pádu je tato energie rozptýlena do zvoleného sebejištění a elasticity lana, přičemž lano užitá při tvorbě zajištěných cest je vyrobeno z nerezové oceli, které jakékoliv elastické vlastnosti postrádá (Díaz et al., 2018).

Lano je schopno absorbovat energii pádu a tím snižovat rázovou sílu a její účinky (McLaren, 2006). U zajištěných cest tuto úlohu přebírá tlumič pádů. Potenciální (polohová) energie, kterou lezec získá při výstupu, je závislá na hmotnosti lezce a lineárně narůstá s přibývajícím výškou výstupu. Tato polohová energie se při pádu mění na energii kinetickou (pohybovou). Tuto vzniklou pádovou energii zachytí nejbližší kotevní bod a přemění ji na deformaci, kterou absorbuje tlumič pádu. Při deformaci (párání) tlumiče vzniká síla, která v momentě zachycení pádu dosahuje maxima. Normy, které řeší problematiku tlumičů pádů udávají, že v průběhu zkoušky dynamického výkonu se zkušebním břemenem o hmotnosti 80 až 120 kg nesmí brzdící síla překročit 6 kN a tlumič se nesmí prodloužit o více než 2,20 m (Mountaineering equipment, 2006).

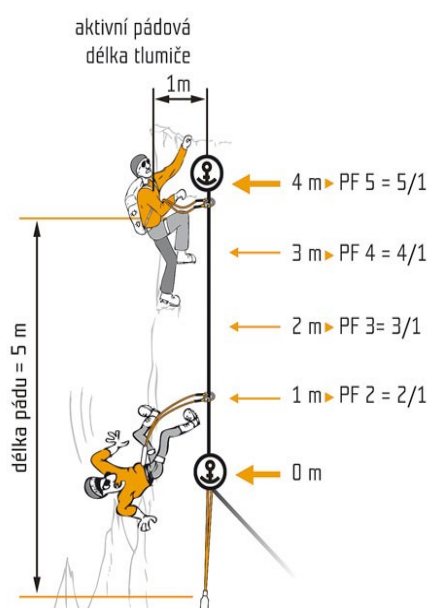
#### 3.4.5 Pádový faktor

*“Pádový faktor je bezrozměrná veličina, která nám popisuje vztah mezi tvrdostí pádu, délkou pádu a činnou délkou lana“* (Curtis, 2005). Činnou délkou lana se považuje celý úsek lana od lezce k nejbližšímu kotevnímu bodu. Délkou pádu se rozumí vzdálenost z bodu, ze kterého lezec spadl, až k bodu, ve kterém byl jeho pád zachycen (BUŘIČ, Petr a Richard FRANC, 2003). Na pádový faktor má vliv poloha lezce před a po pádu ve spojitosti k umístění jeho kotvení. Na lezce při pádu působí tím větší rázová síla, čím větší je pádový faktor. Za nejvyšší přípustnou hodnotu pádového faktoru se považuje  $f=2$ . Tuto situaci popisuje obrázek 13, kdy prvolezec padá pod úroveň jistícího stanoviště.



Obrázek 14 Pád dosahující hodnoty pádového faktoru 2 (Mytendon, 2021)

Pád na zajištěné cestě, při lezení ve vertikálním směru může tuto hodnotu i překročit. Pádový faktor určuje tvrdost pádu, čím je větší výška, tím je tvrdší pád. V praxi na zajištěné cestě tlumič pádu po vyparáání prodlouží pád a zmenší tím následky rázové síly na lezce (Pasching, 2012). Největší riziko hrozí při postupu na další úsek. Délka pádu od kotevního bodu k dalšímu je v takové situaci nejdelší. V nejhrošším případě může nastat situace, kdy lezec přechází na další úsek a uvolní jednu část ferratového setu, aby ji připojil na další úsek. V tomto případě je pak lezec při takovém pádu zachycen pouze jednou částí, která by i přes to měla být schopna bezpečně zachytit případný pád. V takových to případech dosahuje pádový faktor hodnot, která lezec nemusí přežít. .



Obrázek 15 Demonstrace různých pádových faktorů (Horyinfo, 2021)

## 4 Praktická část

V teoretické části práce popisují nashromážděna data a informace z rešerše literatury, popisující zajištěné cesty jak v civilním tak v armádním prostředí. Dále čtenáře seznamují se zkrácenou historií zajištěných cest, která utváří představu o vývoji jejich využívání.

V praktické části budou kvantitativním výzkumem konkrétně experimentální měření potvrzovat či vyvracet stanovené hypotézy. Práce popisuje laboratorní experiment, při kterém zjišťujeme skutečné hodnoty působící jak na lezce tak na jistící řetězec v momentu zachycení pádu. Dále zjišťujeme možnost poškození improvizovaného ferratového úvazku, při použití průvěsu o velikosti 1 m z dynamického lana na místo ocelového, které by díky svým vlastnostem mělo tlumit výslednou rázovou sílu.

### 4.1 Cíl

Cílem této práce je pomocí experimentu změřit výsledné rázové síly, které působí na lezce při pádu z improvizované zajištěné cesty, za použití improvizovaného ferratového setu. Dále porovnat naměřené hodnoty rázových sil s hodnotami, které jsou již změřeny u tradičních zajištěných cest s využitím ferratových tlumičů pádu.

### 4.2 Úkoly

- Analýza provedených výzkumů;
- Rešerše odborné literatury;
- Telefonický dohovor u společnosti LANEX a.s.;
- Osobní návštěva pro zjištění realizace měření;
- Telefonický dohovor u společnosti SingingRock;
- Telefonický dohovor u hasičského záchranného sboru;
- Osobní návštěva u hasičského záchranného sboru;
- Příprava materiálu;
- Zajištění a provedení měření;
- Zpracování dat;

- Vyhodnocení výsledků;
- Porovnání výsledných rázových sil;
- Odevzdání diplomové práce.

### 4.3 Výzkumná otázka

Zajišťuje dynamické lano, jako základní element pro tvoření improvizované ferratové cesty francouzského typu, dostatečné zmenšení výsledné rázové síly k bezpečnému překonání náročného horského terénu?

### 4.4 Hypotézy

H<sub>1</sub>: „Věříme, že hodnota rázové síly při pádu průměrného vojáka s hmotností 100kg z úseku improvizované ferratové cesty francouzského typu, bude menší než u tradiční zajištěné cesty.“

H<sub>2</sub>: „Předpokládáme, že nedojde k porušení improvizovaného ferratového setu při pádu do průvěsu o délce 1m a délce pádu 4 m.“

### 4.4 Metodika výzkumu

#### 4.4.1 Výzkumné metody

##### 1. Popisná analýza

Teoretická část práce byla sepsána na základě nashromážděných dat a informací z rešerše odborné literatury, zabývající se danou problematikou. Odborné články a výzkumy byly vyhledány pomocí portálu [scholar.google.com](http://scholar.google.com), [researchgate.net](http://researchgate.net), [sciencedirect.com](http://sciencedirect.com), [link.springer.com](http://link.springer.com), [journals.sagepub.com](http://journals.sagepub.com), [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov), [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com). Pomocí filtrů jsem omezil vyhledávání na články související cílem práce. Nejdelsí časový úsek jsem věnoval překladům odborných článků a výzkumu za asistence rodilého mluvčího a vedoucího práce jakožto odborného garanta.

##### 2. Statistické zpracování

Naměřená data byla zpracována metodami popisné statistiky a testování hypotéz. V rámci popisné statistiky byly vypočteny počet, průměr, směrodatná odchylka a pomocí krabicového grafu zobrazeny medián, dolní a horní kvartil, minimum a

maximum. Pomocí statistických testů byl testován rozdíl mezi výslednou rázovou silou pro vlastní měření a jiné experimenty. V případě, že v jiných experimentech byla uvedena pouze jedna hodnota, byla považována za konstantu a byl použit jedno výběrový t-test, a v případě, že bylo k dispozici více hodnot, byl použit dvou výběrový Welchův t-test. Výpočty byly provedeny pomocí programu TIBCO STATISTICA 13, hladina významnosti byla stanovena pro  $p \leq 0,05$ .

### **3. Testování**

Výsledné hodnoty byly zaznamenány pomocí tenzometrických měřidel LC1 Enforcer Load Cell (výrobce Rock Exotica) a přenesena do vyhodnocovacího zařízení KIKTEC ACRP 15 (výrobce K.I.K., spol. s.r.o.).

#### **4.4.2 Design měření**

Za účelem vytvoření improvizované ferratové cesty jsem proto oslovil firmy, které disponují potřebným prostorem a vybavením. Přičemž kvůli současné situaci a opatřením proti šíření nemoci COVID-19 bylo realizování velmi složité a časově omezující. První dostupná možnost testování se vyskytla u společnosti Lanex se sídlem v Bolaticích. I přes předchozí telefonní dohovory, které byly provedeny již minulý rok bylo nezbytné provést osobní návštěvu k potvrzení vhodného prostoru a možností pro testování. Tato návštěva proběhla až po uvolnění již zmíněných opatření na konci měsíce Ledna. Bohužel osobní návštěva odhalila nevhodnost prostoru pro testování. Jako další jsem oslovil firmu SingingRock. Ani u této firmy nám nebyly schopni poskytnout potřebný prostor a vybavení k provedení měření. Až na třetí pokus nám vyhověli ve výcvikovém a testovací polygonu hasičského sboru Královéhradeckého kraje. Po telefonické dohovoru následovala osobní návštěva a změření všech hodnot, potřebných k přípravě materiálu. Zároveň proběhl pilotní měření pro stanovení všech proměnných, které by mohly ovlivnit výsledné hodnoty.

Na základě analýzy dat z provedených měření na tradičních zajištěných cestách, ale i měření samotných ferratových setů jak v laboratorních podmínkách tak v prostředí jsem stanovil hodnoty pro realizaci měření (Lehner, 2012, Hellberg, 2021, Diaz, 2018, Ernst, 2009).



## **Počet pádů**

Počet pádů byl stanoven na základě rešerše odpovídajících výzkumů, finanční, časové a materiálové náročnosti. Limitujícím faktorem bylo využití prostoru k měření. Na základě těchto údajů bylo stanoveno 10 pokusů z každého zvoleného pádového faktoru. Při zkoumání zahraničních výzkumů zabývajících se testováním ferratových setů se počet pádů pohyboval od 1 do 5 pokusů při stejné délce pádu (Lehner, 2012, Hellberg, 2021, Diaz, 2018, Ernst, 2009).

## **Břemeno**

Hmotnost testovaného břemene v podobě figuríny byla stanovena z dat naměřených po jednotlivých útvarech. Tato data se různí dle preferencí daného útvaru (Pohl, 2020). Nicméně průměrná hmotnost lezce je stanovena na 80 kg a to normou ČSN EN 892. Při snaze se co nejvíce přiblížit podmínkám reálného prostředí uvažujeme o závaží 100 kg. Bereme v potaz oblečení, výstroj a výzbroj (bez batohu). Zejména nosič balistických plátů a balistická přilba. V průběhu měření byl použit úvazek užívaný pro testování přímo na dané břemeno.

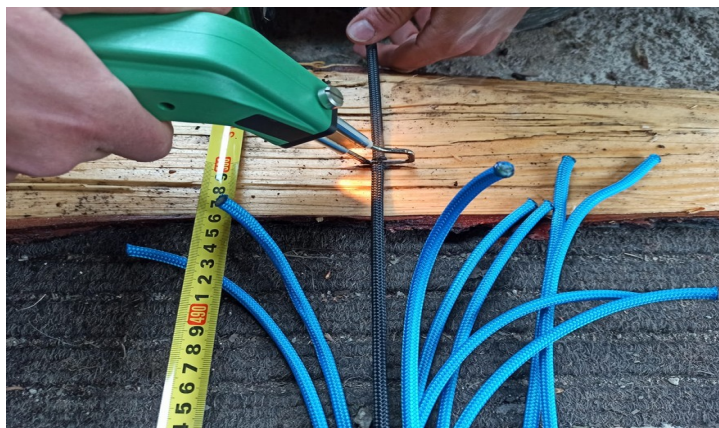
## **Délka pádů**

Délka pádu a vzdálenost jednotlivých jisticích bodů bylo rozvrženo dle možností testovacího polygonu a rešerše výzkumů provedených při testování ferratových setů a normou ČSN EN 958. Bohužel nebylo možné vytvořit 5m pád, který norma vyžaduje. Nicméně pro potřeby naší práce jsem zvolil největší možný pád a to pád o délce 4 m (Lehner, 2012, Hellberg, 2021, Diaz, 2018, Ernst, 2009).

## **Příprava materiálu**

Před samotným měřením probíhala příprava lan a materiálu. Lana a smyce poskytnuté společností Lanex – Dynamické lano AMBITION s průměrem 10,5 mm vyrobené z polyamidu splňující normu EN 892/CE 1019 jsem naměřil a označil dle potřeb měření tavnou řezačkou popruhů.

Lano bylo nařezáno na 6m kusy, které byly později při měření nataženy mezi jednotlivé kotevní body. Pro označení lana jsem použil popisovač na značení textílů a lan, což sloužilo ke snadnější orientaci a urychlení samotného měření.

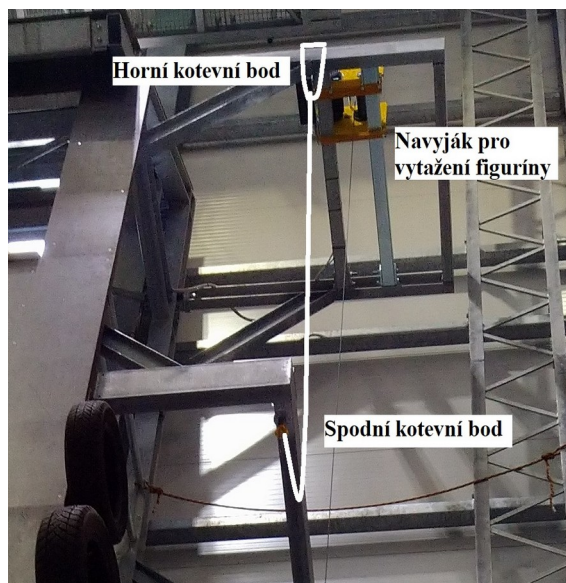


Obrázek 16 Řezání pomocné reep šňůry

Smyce od firmy Lanex (pomocná šňůra reep) o průměru 6 mm odpovídající normy EN 564 / CE 1019 byla nařezána po 5m délkách, které sloužily k následnému vytvoření improvizovaného ferratového setu.

### **Kotevní body**

Horní kotevní bod byl zhotoven pomocí ploché sešité smyce a ocelové karabiny. Smyce dle normy EN-566 mají pevnost 22 kN a jsou součástí osobního vybavení každého vojáka při výcviku ve vojenském lezení. Na karabinu bylo napojeno tenzometrické měřidlo LC1 Enforcer Load Cell (od výrobce Rock Exotica) pro změření velikosti působené síly na kotevní bod. Druhý konec tenzometru byl připojen pomocí ocelové karabiny, na kterou už navazovalo lano.



Obrázek 17 Demonstrace vedení lana a umístění kotevních bodů

Uzel užitý při napojení lana na kotevní body byl zvolen Alpský motýl. Kvůli technice jeho vázání, která podporuje přímý průchod lana a lze jej zatěžovat anomálně, při zatížení normálovém dochází k jeho silné deformaci (Lienerth & Vogel, 2006). Nosnost lana oproti nominální pevnosti zůstává přibližně 51 % (Michalička a kol., 2019). Při zatížení, jej lze poměrně snadno uvolnit.

### **Dojištění břemene**

Pro případ selhání improvizovaného ferratového úvazku bylo břemeno dojištěno nezávislým lanem.

### **Měření mezních hodnot improvizovaného ferratového setu**

Cílem prvního měření bylo stanovit hodnoty rázové síly působící na improvizovaný ferratový úvazek při pádu z určité výšky. Torzo oblečené do celotělového úvazku bylo vyzdviženo pomocí navijáku. Improvizovaný ferratový set byl spojen stejnosměrným vůdcovským uzlem a napojen do centrálního oka sedáku pomocí stejnosměrného vůdcovského uzlu. Jistící karabiny byly fixovány v jednotlivých větvích setu lodními uzly (Michalička a kol., 2019). Délka improvizovaného ferratového setu byla  $100 \pm 2$  cm. Následně připojeno na oko tenzometru pomocí karabiny pouze jedním okem improvizovaného ferratového úvazku. Zvolené pádové faktory měly hodnoty 0,5, 1, 1,5, 2 m. Tyto hodnoty byly stanoveny na základě předpokladu vysokých hodnot rázových sil, které už při pilotním měření a pádovém faktoru 1 dosahovaly vysokých hodnot. Po každém jednom pádu byl improvizovaný ferratový set nahrazen novým (karabiny zůstaly stejné).



Obrázek 18 Testování improvizovaného ferratového úvazku

### **Měření vlivu dynamického lana na tlumení výsledné rázové síly**

Na základě výsledků výše uvedeného měření jsme byli schopni zjistit maximální únosnou hodnotu rázové síly, při které ještě nedošlo k selhání improvizovaného ferratového setu. Úkolem tohoto měření bylo dosáhnout rozdílných hodnot výsledných rázových sil, ale stejné délky pádu, ke stanovení vlivu dynamického lana jako tlumícího prvku při pádu z improvizované zajištěné cesty. Zvolené délky pádu měly hodnoty 0,5, 1, 1,5 a 2 m. Po každém jednom pádu bylo dynamické lano natažené mezi kotevními body nahrazeno novým lanem (karabiny zůstaly stejné).



Obrázek 19 Testování vlivu dynamického lana na výslednou rázovou sílu

## **Měření hodnot výsledné rázové síly při pádu do průvěsu z dynamického lana o délce 1 m s využitím improvizovaného ferratového setu**

Tento test byl zvolen pro srovnání výsledné rázové síly, kterou při tomto testu měříme a naměřených hodnot provedených jinými autory v rámci odborných článků a výrobců tlumičů pádů, kteří je testují. Proto byl proveden test improvizovaného ferratového tlumiče pádu o délce pádu 4 m do průvěsu z dynamického lana o délce 1 m.



Obrázek 20 Pád improvizovaného ferratového setu do průvěsu z dynamického lana

#### 4.4.3 Metodika získávání dat

Měření rázové síly bylo zaznamenáno pomocí tenzometrického měřidla LC1 Enforcer Load Cell (od výrobce Rock Exotica) s odchylkou 0,02 kN a maximálním zatížením 40 kN.



Obrázek 21 Zařízení pro měření výsledné rázové síly

Výsledná data z měření byla zaznamenána pomocí softwaru KIKTEC ACRP 15 (výrobce K.I.K., spol. s.r.o.) a následně statisticky zpracována pomocí TIBCO STATISTICA 13. Bohužel software, který vyhodnocuje data nepracoval správně a tudíž nemohl být spojen s externím tenzometrem ani neumožnil export naměřených dat. Proto jsem vše zaznamenával pomocí fotografií a videa z kamery. Tudíž tenzometr, který zaznamenával a vykresloval graf byl pouze spodní kotevní bod. Externí tenzometry umístěné na horní kotevní bod a výsledný umístěný mezi břemenem a lanem zaznamenaly pouze analogově výslednou sílu, jakou bylo dané místo namáháno.

#### 4.5 Omezení měření

- Ačkoliv lana byla nařezána s co největší přesností a pokaždé změřena metrem, mohlo dojít k minimální nepřesnosti;
- Z důvodu omezení časové dotace pro využití polygonu jsme omezili rozsah výzkumného souboru na 10 pokusů při každé stanovené délce pádu. Současně finanční náročnost použitého materiálu nám omezovala počet pokusů. S přihlédnutím na dostupné výzkumy (Lehner, 2012, Hellberg, 2021, Diaz, 2018, Ernst, 2009, Pasching, 2012), kde počet pádů na jedné délce, hmotnosti nebo typu ferratového tlumiče nepřesáhl 5 pokusů, shledávám počet pádů dostačující;
- Dotažení uzlů na horním a spodním kotevním bodě nebylo nijak ujednoceno. Důvodem je praktické přiblížení k terénním podmínkám, kde také není každý uzel stejně utažen;

- Možnost vytažení závaží byla limitována navijákem, což omezilo výslednou délku pádu, kterou jsme chtěli docílit. Cílem bylo standardizovat testování dle normy pro ferratové tlumiče pádů, která udává maximální povolenou rázovou sílu. Výsledná rázová síla působící na lezce, nesmí překročit 6 kN při délce pádu 5 m.

## 4.6 Statistické zpracování dat

Naměřená data byla zpracována metodami popisné statistiky pomocí programu TIBCO STATISTICA 13. U každé série měření byla v rámci popisné statistiky vypočteny počet, průměr, směrodatná odchylka a pomocí krabicového grafu zobrazeny medián, dolní a horní kvartil, minimum a maximum.

Pro určení vlivu dynamického lana na zmenšení výsledné rázové síly byly pomocí statistického Welchova t-testu porovnány hodnoty při testování improvizovaného ferratového setu při pádu z 1 a 2m do pevného bodu s hodnotami naměřenými ze stejné výšky, ale břemeno padalo do průvěsu o velikosti 1 m vytvořeného z dynamického lana.

Pro komparaci hodnot rázových sil jsme otestovali rozdíl mezi výslednou rázovou silou naměřenou při vlastním měření s hodnotami dostupnými z výzkumů ferratových tlumičů používaných u tradičních zajištěných cest. V případě, že v jiných experimentech byla uvedena pouze 1 hodnota, byla považována za konstantu a byl použit jedno výběrový t-test, a v případě, že bylo k dispozici více hodnot, byl použit dvou výběrový Welchův t-test. Výpočty byly provedeny pomocí programu TIBCO STATISTICA 13, hladina významnosti byla stanovena pro  $p \leq 0,05$ .

## 5 Výsledky

V této části práce jsou popsány a vyhodnoceny naměřené hodnoty jednotlivých testů. Každý test je zvlášť popsán a okomentován. Testování probíhala ve stabilních podmínkách při teplotě od 17° C do 23° C. Vlhkost v místnosti se pohybovala mezi 44 a 52 %.

Jednotlivá testování byla provedena 10 pokusy. U každého testování předkládám tabulku s výsledky každého měření. Tyto výsledky jsou následně pomocí statistického programu TIBCO STATISTICA 13 zpracovány a graficky zobrazeny.

### 5.1 Testování improvizovaného ferratového úvazku

Testován byl improvizovaný ferratový set vytvořený z pomocné šňůry o průměru 6 mm. Šňůra byla svázána do uzavřené smyčky vůdcovským uzlem. K testovanému závaží byla šňůra připevněna stejnosměrným vůdcovským uzlem do centrálního oka a jisticí karabiny byly fixovány v jednotlivých větvích setu lodními uzly. Délka testovaného setu byla  $100 \pm 2$  cm (Michalička a kol., 2019). Samotný pád byl uskutečněn na jednom konci oka ferratového úvazku. Předpokládáme nejhorší možný pád v momentu přecvakávání z jednoho úseku na další úsek cesty ve fázi přechodu, kdy jedna karabina zůstává na spodním úseku a druhá karabina je odpojena a zůstává volně. Voják tak zůstává jištěn pouze na jednom konci ferratového setu. Současně tak hovoří norma pro testování ČSN EN 958+A1 (942008) *Horolezecká výzbroj - Tlumiče nárazu k použití na zajištěných cestách - Bezpečnostní požadavky a metody zkoušení* (Schubert, 2007).

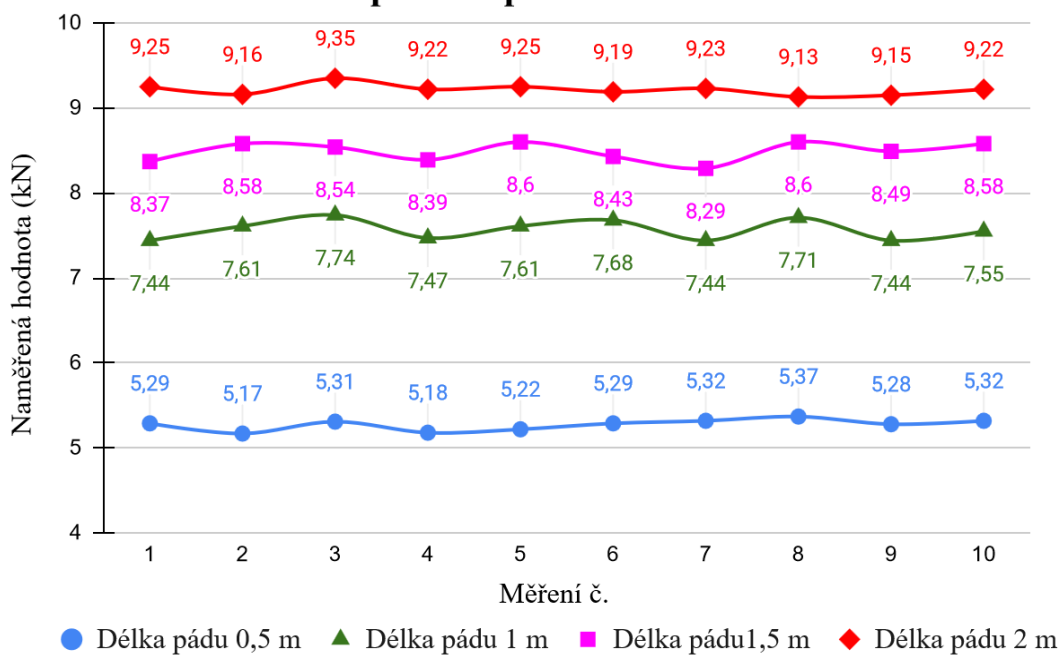
Graf 1 prezentuje naměřené hodnoty testování improvizovaného ferratového úvazku při pádu do pevného bodu. Pevný bod v našem případě představovalo oko napojené na tenzometr viz obrázek 22. Tento test byl zvolen za účelem zjištění hodnot, které nabývá při určené délce pádu. Délky pádu nabývaly hodnot 0,5, 1, 1,5 a 2 m.





Obrázek 22 Testování improvizovaného ferratového setu při pádu z 0,5 m

### Naměřené hodnoty testování improvizovaného ferratového setu při pádu do pevného bodu



Graf 1 Naměřené hodnoty

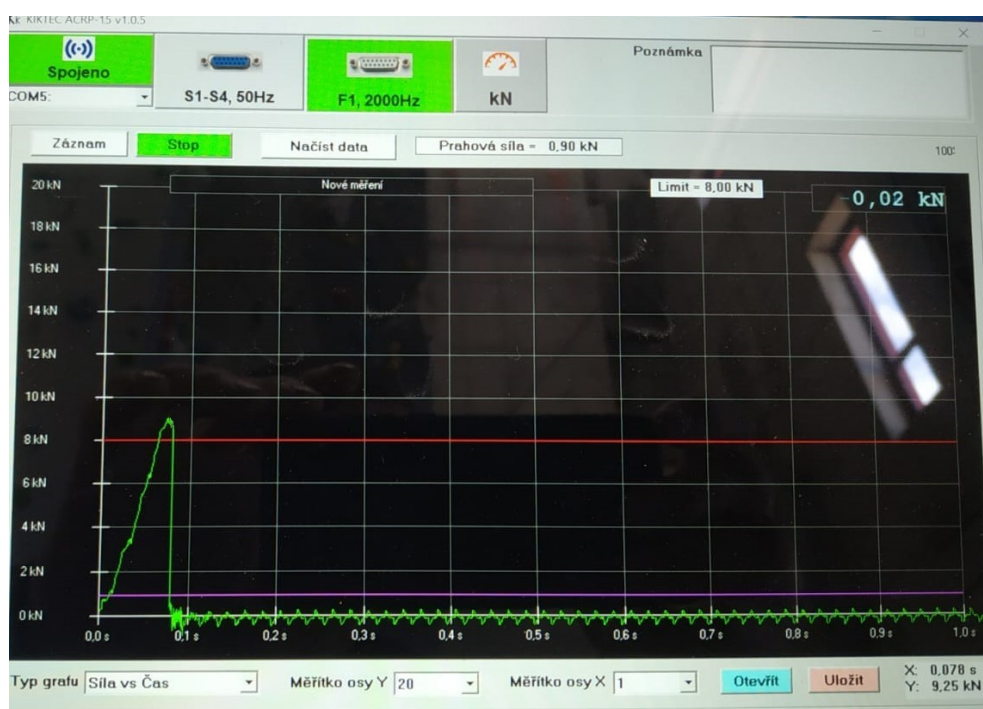
### 5.1.1 Souhrnné hodnocení testu

Před zahájením testování proběhlo zkušební měření k ověření funkčnosti jednotlivých snímačů. V níže uvedeném grafu 2 je vyobrazen medián, dolní a horní kvartil, minimum a maximum pomocí krabicového grafu.

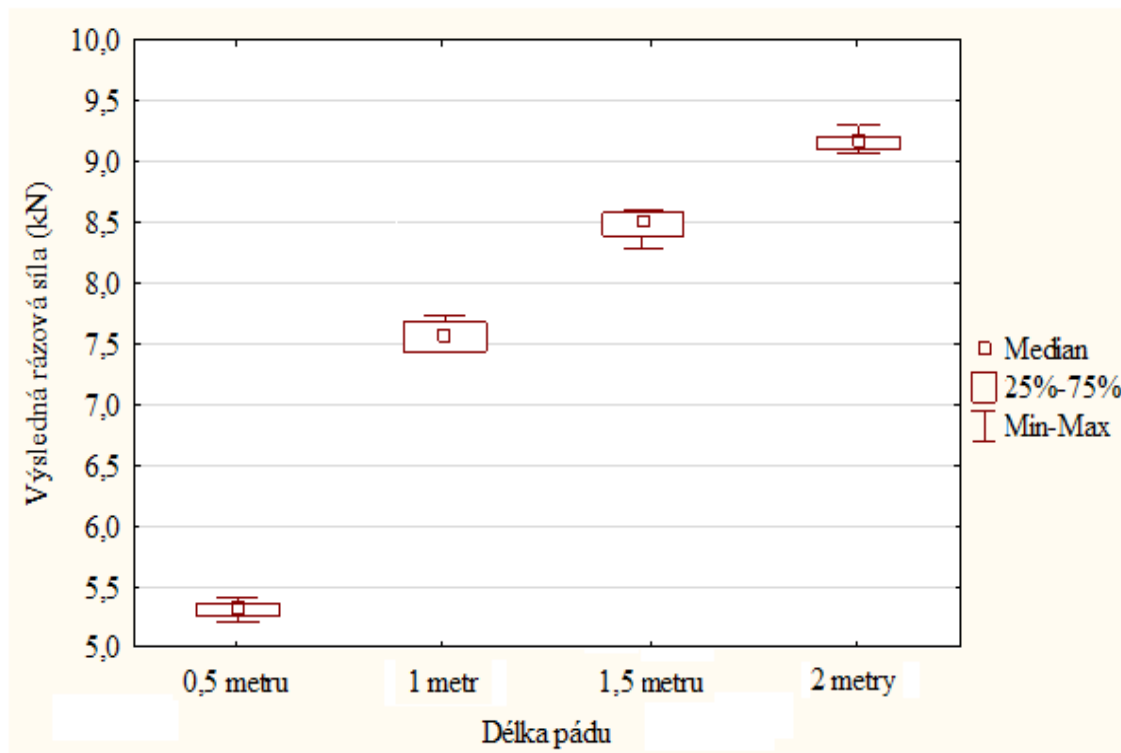
Jak je patrné z grafu naměřených hodnot tak hodnoty nemají velký rozptyl od střední hodnoty. To ukazuje na relativně přesné a stabilní provedení jednotlivých měření. Průměrná hodnota, směrodatná odchylka, nejmenší a největší hodnota je zobrazena pomocí tabulky 1. Červeně označené hodnoty označují selhání improvizovaného ferratového setu při měření. K přetržení smyce došlo v místě ukotvení karabiny pomocí lodního uzle.

Délka pádu	průměr	směrodatná odchylka	Min.	Max.
0,5 m	5,28	0,06	5,17	5,37
1 m	7,57	0,12	7,44	7,74
1,5 m	8,49	0,11	8,29	8,60
2 m	9,22	0,06	9,13	9,35

Tabulka 1 Popisná statistika naměřených hodnot



Obrázek 23 Detailní průběh nejvyšší naměřené rázové síly působící na lezce v čase



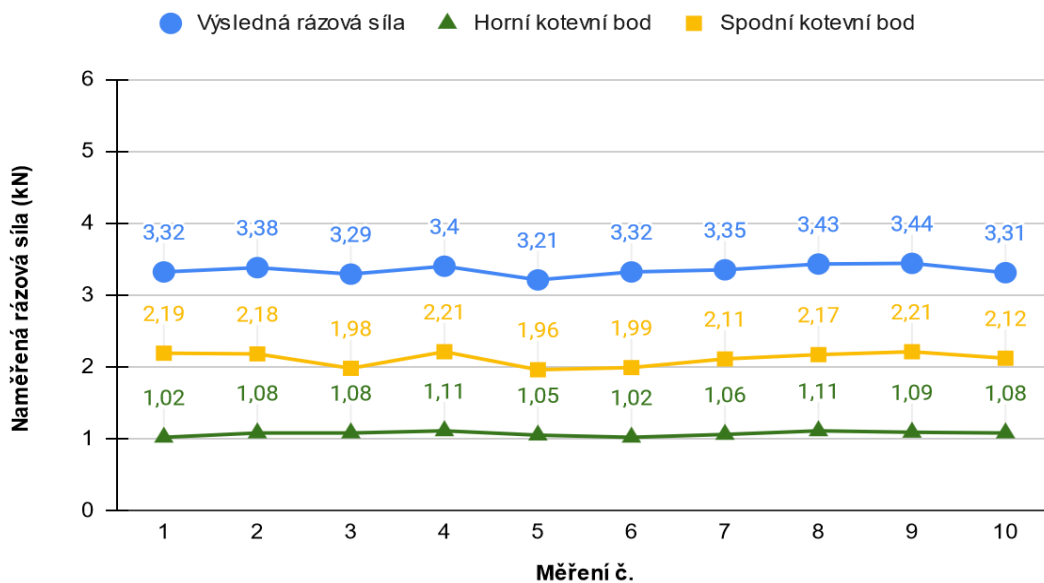
Graf 2 Krabicový graf výsledných hodnot

Jak již bylo uvedeno, vyhodnocovací systém neumožnil export naměřených grafů. Proto jsem volil alespoň fotografický záznam. Obrázek 23 demonstruje zaznamenanou rázovou sílu působící na lezce při délce pádu 2 m do pevného bodu za použití improvizovaného ferratového setu. Na ose x můžeme vidět časový úsek, při kterém došlo k zatížení tenzometrického měřidla, které bylo nastaveno na prahovou sílu 1 kN. Červeně vyznačená přímka znázorňuje předpokládanou mezní hodnotu ferratového setu. Ta byla odhadnuta na základě výrobcem stanovené nosnosti pro smyčce o průměru 6mm (7,2 kN). Dle záznamu bylo dosaženo hodnoty 9,25 kN během 0,078 s přičemž došlo k přetržení smyčce. V závěru můžeme konstatovat, že lodní uzel užívaný pro kotvení na konci ferratového setu je nejrizikovější částí, jelikož zde došlo k přetržení ve všech 10měření.

## 5.2 Testování vlivu dynamického lana na výslednou rázovou sílu

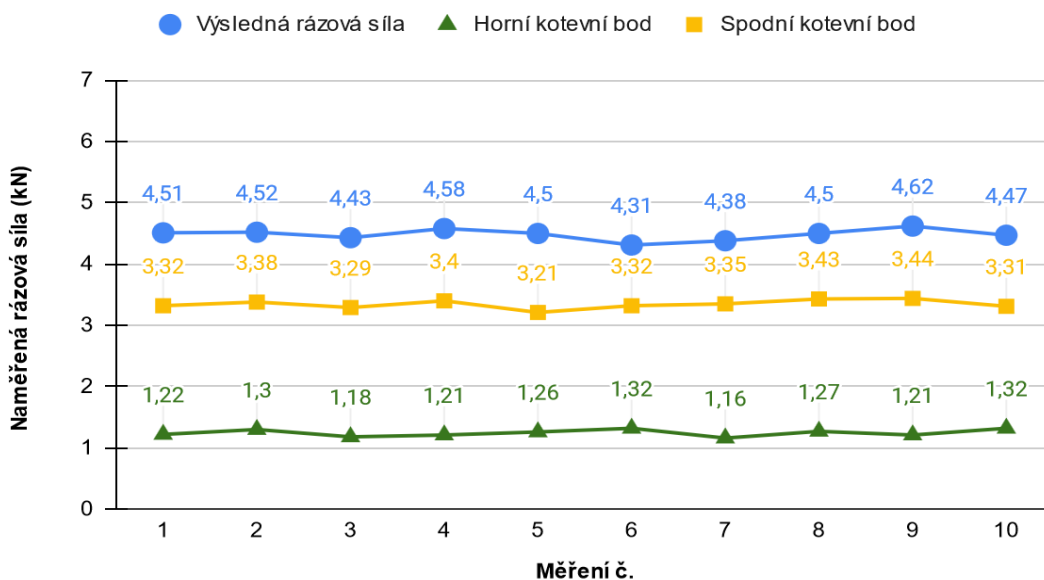
Úkol tohoto testu je stanovit hodnoty rázové síly, při pádu z 0,5, 1, 1,5 a 2 m. Následně tyto hodnoty porovnat s hodnotami naměřenými v předešlém testování a stanovení procentuálního pohlcení rázové síly při použití průvěsu z dynamického lana o délce 1 m.

### Měření vlivu dynamického lana na výslednou rázovou sílu při pádu z 0,5 m



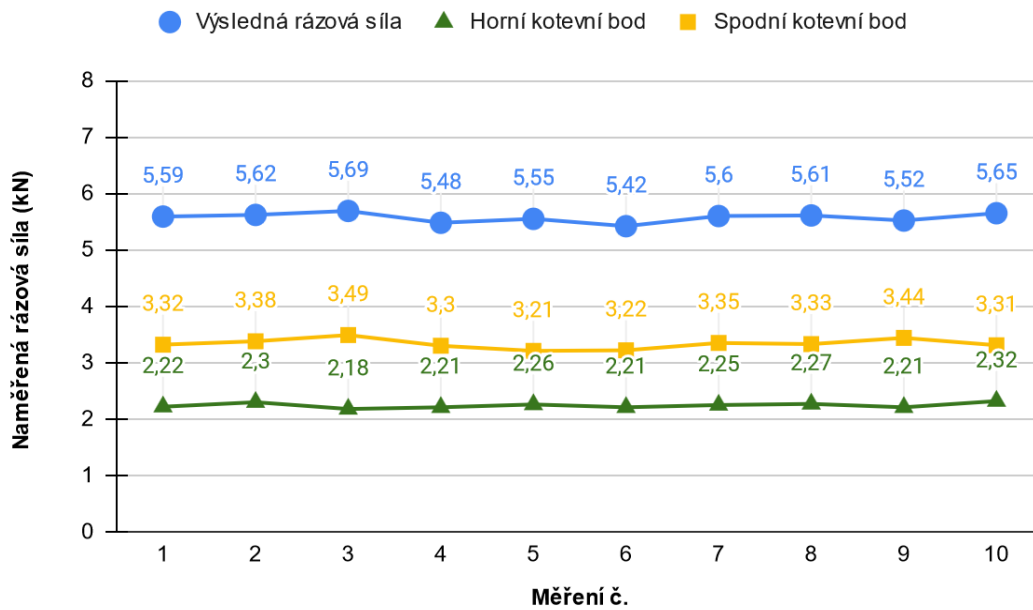
Graf 3 Naměřené hodnoty

### Měření vlivu dynamického lana na výslednou rázovou sílu při pádu z 1 m



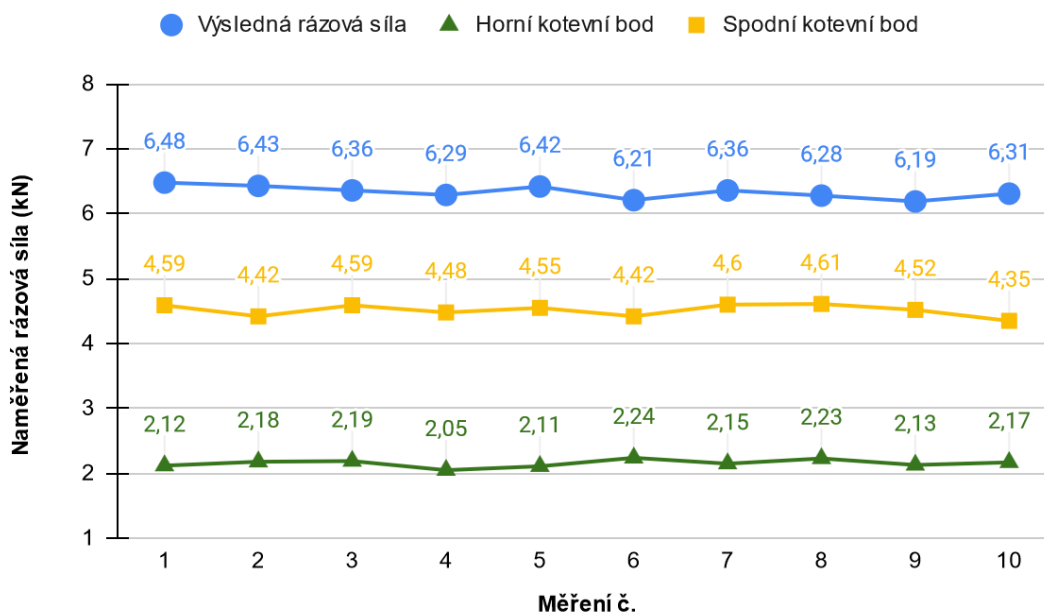
Graf 4 Naměřené hodnoty

## Měření vlivu dynamického lana na výslednou rázovou sílu při pádu z 1,5 m



Graf 5 Naměřené hodnoty

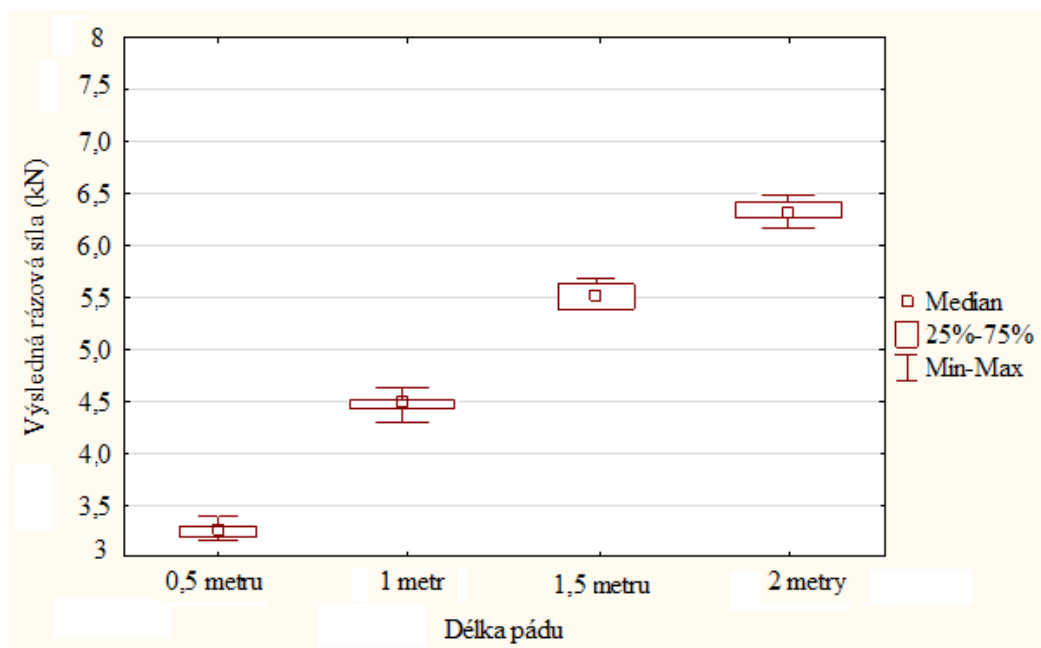
## Měření vlivu dynamického lana na výslednou rázovou sílu při pádu ze 2 m



Graf 6 Naměřené hodnoty

### 5.2.1 Souhrnné hodnocení testu

V níže uvedeném krabicovém grafu a v tabulce pod ním je vyobrazen průměr, směrodatná odchylka, medián, dolní a horní kvartil, minimum a maximum. Je patrné z naměřených dat, že horní kotevní bod byl namáhán méně než spodní kotevní bod. Tuto skutečnost přisuzují vlastnostem dynamického lana, které mělo větší vzdálenost k bodu zachycení pádu než u spodního kotevního bodu. Vzdálenost od horního kotevního bodu k místu zachycení pádu čítala 3 m. Zatímco vzdálenost spodního kotevního bodu k místu zachycení pádu pouze 0,5 m.



Graf 7 Krabicový graf

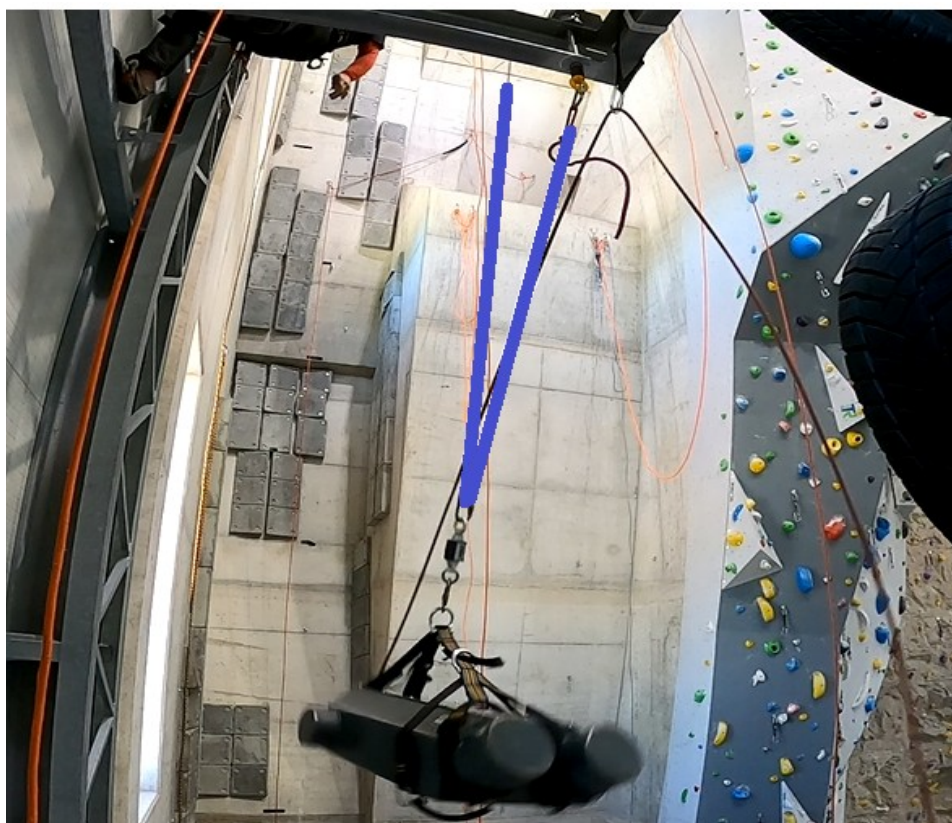
Délka pádu	průměr	směrodatná odchylka	Min.	Max.
0,5 m	3,34	0,06	3,21	3,44
1 m	4,48	0,09	4,31	4,62
1,5 m	5,57	0,07	5,42	5,69
2 m	6,33	0,09	6,19	6,48

Tabulka 2 Popisná statistika naměřených hodnot

Při zachycení pádu došlo ke značnému prodloužení dynamického lana. Jak ukazuje obrázek 24 průvěs, který bez zatížení udával velikost 1 m se při pádu břemene o hmotnosti 100 kg téměř zdvojnásobil (obrázek 25). Modrá barva zvýrazňuje prodloužení dynamického lana v průběhu zatížení.



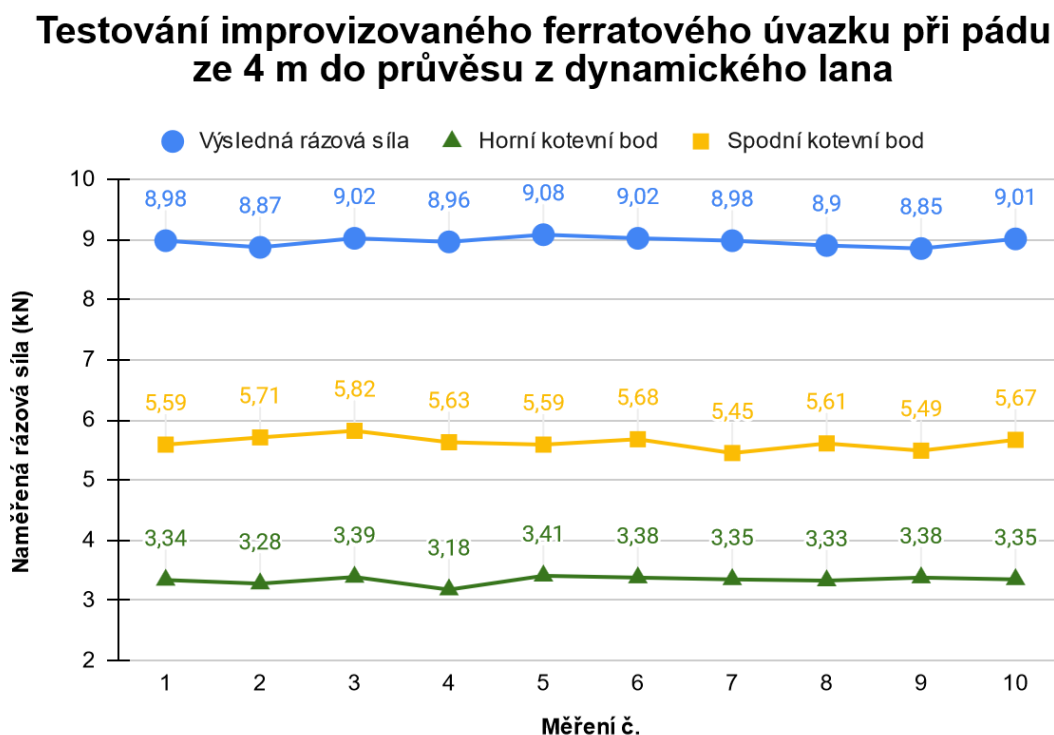
Obrázek 24 Průvěs z dynamického lana o velikosti 1 m



Obrázek 25 Prodloužení dynamického lana při zatížení

### 5.3 Testování improvizovaného ferratového úvazku při pádu do průvěsu z dynamického lana

Tento test má za úkol prověřit zdali improvizovaný ferratový set při maximální možné délce pádu, který mi prostředí ve kterém testování proběhlo, odolá rázové síle působící na něj. Graf 8 udává naměřené hodnoty při délce pádu 4 m. Tato hodnota byla stanovena na základě možností testovacího polygonu, kde nebylo možné realizovat delší pád. Improvizovaný ferratový úvazek byl připojen k testovanému závaží pomocí stejnosměrným vůdcovským uzlem do centrálního oka a jistící karabiny byly fixovány v jednotlivých větvích setu lodními uzly. Stejně jako u prvního testu bylo použito jen jedno oko improvizovaného ferratového úvazku.



Graf 8 Naměřené hodnoty

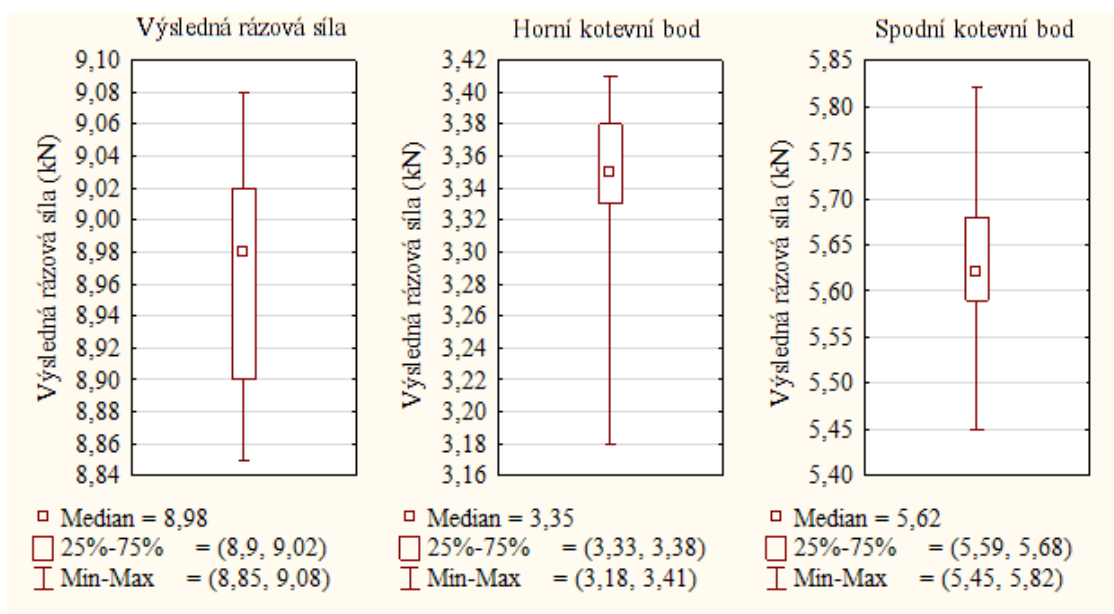


### 5.3.1 Souhrnné hodnocení testu

Je zřejmé, že výsledná rázová síla nebyla dostatečně velká aby došlo k porušení improvizovaného ferratového úvazku. Jak můžeme vidět tak hodnoty naměřené při tomto měření (průměrná výsledná rázová síla o velikosti 8,97 kN) se blíží k hodnotám prvního testu, kde byl testován pouze improvizovaný ferratový set při pádu do pevného bodu z výšky 2 m a kdy zároveň došlo k jeho přetržení (průměrná výsledná rázová síla o velikosti 9,22 kN). Dle mého názoru vyšší délka pádu při pádu lezce o hmotnosti 100 kg do průvěsu z dynamického lana povede nevyhnutelně k selhání improvizovaného ferratového setu. V tabulce 3 jsou statisticky popsány naměřené hodnoty. V grafu 9 je možné vidět zatížení jednotlivých kotevních bodů společně s výslednou rázovou silou.

Proměnná	průměr	Směrodatná odchylka	Min.	Max.
Výsledná rázová síla	<b>8,97</b>	<b>0,07</b>	<b>8,85</b>	<b>9,08</b>
Horní kotevní bod	<b>3,34</b>	<b>0,07</b>	<b>3,18</b>	<b>3,41</b>
Spodní kotevní bod	<b>5,62</b>	<b>0,11</b>	<b>5,45</b>	<b>5,82</b>

Tabulka 3 Tabulka naměřených hodnot při pádu ze 4 m

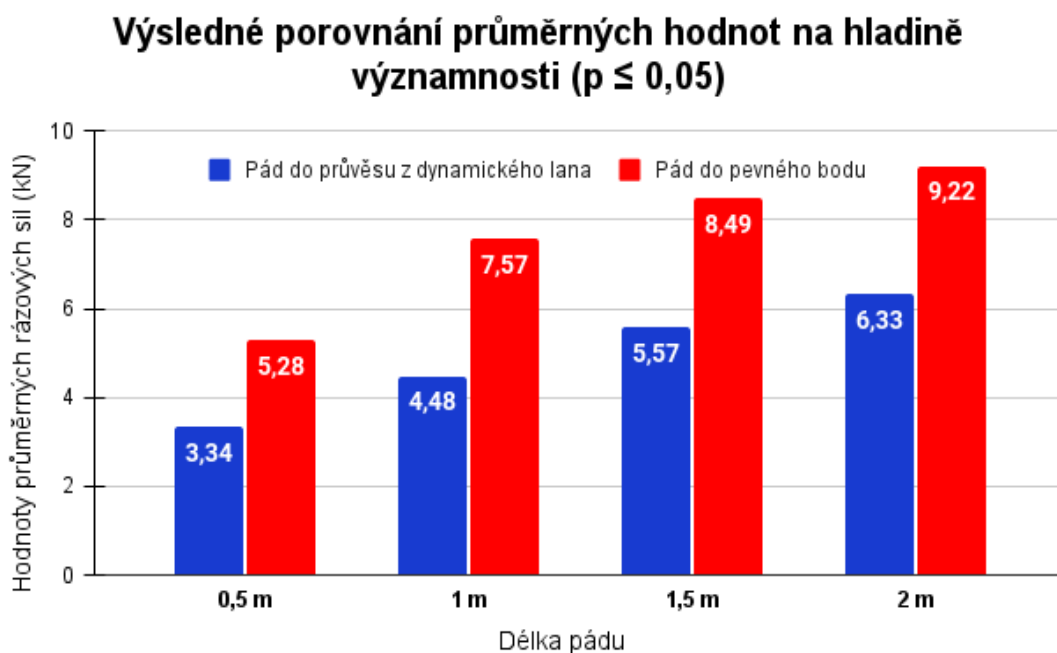


Graf 9 Krabicový graf

## 5.4 Vliv dynamického lana na tlumení výsledné rázové síly

Pro zjištění vlivu dynamického lana jako hlavního prvku k tlumení výsledné rázové síly jsem použil výsledky naměřených hodnot při prvním a druhém testování. Pomocí Welchova t-testu jsem porovnal naměřené hodnoty u testování improvizovaného ferratového setu při stanovené délce pádů s hodnotami naměřených při pádu břemene o hmotnosti 100 kg do průvěsu z dynamického lana o totožné délce pádu.

Výsledné porovnání pádů pomocí Welchova t-testu vychází hodnota  $p = 0,000$ . Což znamená, že pro pád do dynamického lana jsou hodnoty rázové síly na hladině významnosti ( $p \leq 0,05$ ) statisticky významně nižší než pro pád do pevného bodu ( $p \leq 0,05$ ). Tudíž pád do dynamického lana je statisticky významně měkčí, oproti pádu do pevného bodu a to dle porovnávaných hodnot průměrů o **37 %** pro délku pádu 0,5 m, **41 %** pro délku pádu 1 m, o **35 %** pro délku pádu 1,5 m a o **31 %** pro délku pádu ze 2 metrů.



Graf 10 Porovnání naměřených hodnot

## 5.5 Komparace hodnot naměřených rázových sil

Za účelem zasazení práce do problematiky testování ferratových tlumičů pádu a pochopení závažnosti výsledných rázových sil jsem porovnal výsledné naměřené hodnoty improvizovaných cest vytvářených v rámci výcviku AČR s hodnotami, které byly zjištěny u tradičních zajištěných cest.

Jak již bylo zmíněno, aktuální podmínky spojené s opatřeními proti šíření nemoci COVID-19 a prostor, který byl k dispozici pro měření, nám znemožnili dodržet stejné podmínky pro validní srovnání naměřených hodnot. Nicméně analýzou již provedených výzkumů bylo zjištěno, že parametry pro testování ferratových tlumičů pádů nejsou vždy stejné. Jediná hodnota, která byla pokaždé dodržena je délka pádu.

Bohužel délku pádu nebylo možné realizovat. Přetrvávající situace omezila možnosti provedení výzkumu. S ohledem na zjištěné hodnoty, které doposud nebyly změřeny, můžeme s jistotou potvrdit, že u testování improvizovaného ferratové setu jsem došel k hranici, kdy ještě nedošlo k jeho selhání. Toto zjištění je klíčové pro praktický výcvik pod vedením instruktorů vojenského lezení. Proto tvrdím, že i při nedodržení parametrů jsou zjištěné hodnoty velmi důležité.

Následné srovnání má spíše informační charakter a má za úkol poukázat na velké rozdíly výsledných rázových sil, ke kterým může dojít při pádu vojáka z improvizované ferratové cesty za použití improvizovaného ferratového setu.









V této části práce porovnávám hodnoty, které jsem naměřil při testování pádu břemene o hmotnosti 100 kg do průvěsu z dynamického lana o velikosti 1 m, napojeného na improvizovaný ferratový úvazek, s hodnotami, které jsem získal analýzou výzkumů tlumičů pádu v rámci tradičních zajištěných cest. Níže jsou uvedeny experimenty a testování, která budeme porovnávat.

První studie „*New analysis method for personal protection equipment for use on via ferrata*“ jejímž předmětem studie je testování destičkových tlumičů pádů, které využívají tření ke snížení výsledné rázové síly. Samotná studie je blíže popsána a okomentovaná v diskuzi.

Druhá studie „*Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers*“ pojednává o problematice v oblasti hmotnosti lezců a zároveň poukazuje na rozdíly mezi ferratovými tlumiči využívající pro snížení rázové síly tření na druhé straně s tlumiči využívající páraní. Konkrétnější údaje jsou specifikovány v diskuzi.

Tyto studie jsem zvolil, protože ukazují výslednou rázovou sílu při použití odlišných ferratových tlumičů pádu. Jednak tlumiče využívající tření pro tlumení výsledné rázové síly a tlumiče využívající páráni jednotlivých švů pro tlumení výsledné rázové síly. Další sledovaný parametr byla hmotnost testovaného břemene a způsob jakým bylo měření provedeno. Studií, testující ferratové sety není mnoho. Tento fakt je dle mého názoru zapříčiněn jak značnou finanční náročností tak velkými nároky na testovací prostor.

Ve výsledkových tabulkách byly experimenty očíslovány dle klíče v níže uvedené tabulce.

Název studie	Použitý tlumič pádu	Hmotnost břemene	Označení
New analysis method for personal protection equipment for use on via ferrata		80 kg	<b>Experiment 1</b>
New analysis method for personal protection equipment for use on via ferrata		80 kg	<b>Experiment 2</b>
Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers		34 kg	<b>Experiment 3</b>
Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers		48 kg	<b>Experiment 4</b>
Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers		77 kg	<b>Experiment 5</b>
Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers		34 kg	<b>Experiment 6</b>
Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers		48 kg	<b>Experiment 7</b>
Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers		77 kg	<b>Experiment 8</b>

Tabulka 4 klíčové rozdělení experimentů



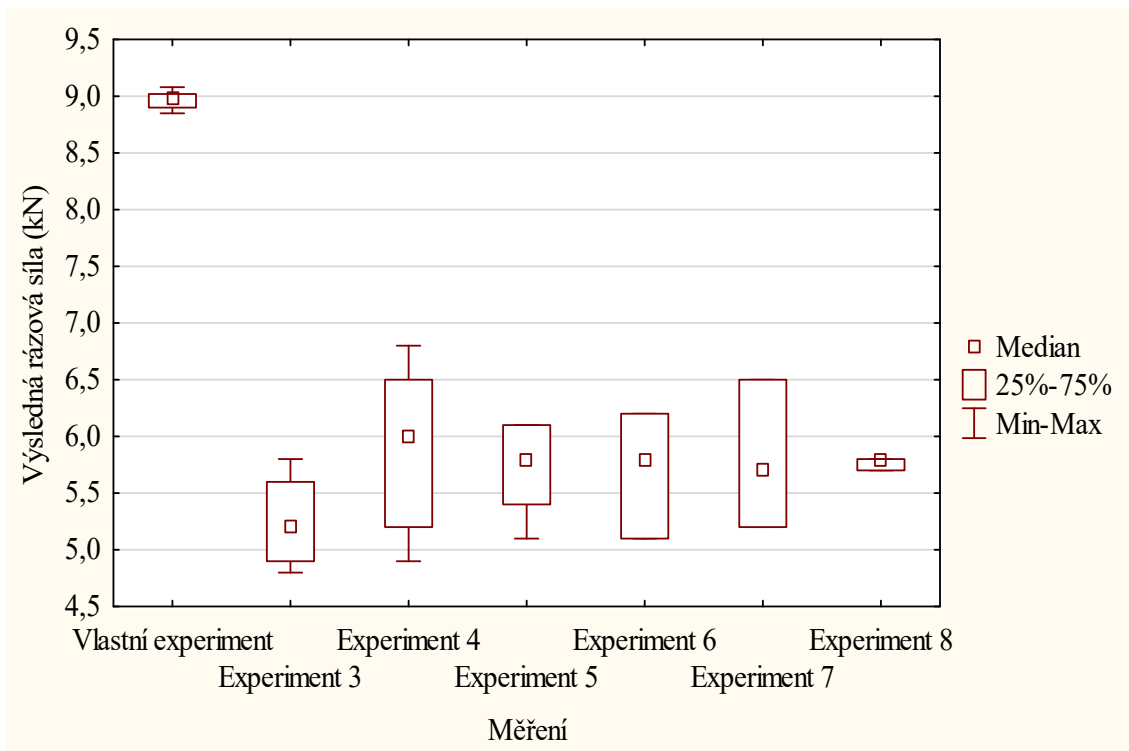
Obrázek 25 a) destičkový tlumič pádu typu „V“, b) destičkový tlumič, c) párací tlumič

Měření	Průměr	Směrodatná odchylka	p-hodnota
Vlastní	8,97	0,07	-
Experiment 1	5,41	-	0,000
Experiment 2	5,32	-	0,000
Experiment 3	5,26	0,43	0,000
Experiment 4	5,88	0,82	0,000
Experiment 5	5,70	0,44	0,000
Experiment 6	5,70	0,56	0,000
Experiment 7	5,80	0,66	0,000
Experiment 8	5,77	0,06	0,000

Tabulka 5 porovnání experimentů a naměřených dat

Tabulka 5 zobrazuje popisnou statistiku s p hodnotami jedno výběrových testů (experimenty 1 a 2, kde byla k dispozici pouze 1 hodnota) a dvou výběrových testů (experiment 3- 8, kde bylo k dispozici 5, resp. 3 hodnoty) na základě provedení Welchova t- testu. Tato metoda byla použita jelikož hodnoty, které porovnáváme, nejsou spárovány a nemůžeme u nich předpokládat shodný rozptyl. Dále tento statistický test stanovil směrodatnou odchylku a průměrnou hodnotu, které sloužila k porovnání.

Vzhledem k tomu, že p hodnota je ve všech případech nižší než zvolená hladina významnosti 0,05, byl na této hladině významnosti prokázán statisticky významný rozdíl. Výsledná rázová síla při vlastním měření byla statisticky významně vyšší než výsledná rázová síla v experimentech 1- 8. Pořadové statistiky (medián, dolní a horní kvartil, minimum a maximum) byly zobrazeny pomocí kategorizovaného krabicového grafu 11.



Graf 11 Krabicový graf

## 6 Diskuze

Cílem této práce je porovnat hodnoty, které dosahují improvizované ferratové úvazky s hodnotami dosahujícími při testování a výzkumu tlumičů pádu. Testování bylo realizováno díky vstřícnosti společnosti Lanex a.s., která byla ochotná věnovat materiál a prostory poskytnuté vedením hasičského záchranného sboru ve Velkém Poříčí.

Níže jsou popsány vybrané experimenty a testování, která se zabývají problematikou ferratových setů.

První studie zabývající se analýzou osobních ochranných pomůcek pro pohyb na zajištěných cestách od autora Ernst, B. (2009). „*New analysis method for personal protection equipment for use on via ferrata*“, zkoumá jednotlivé typy tlumičů pádů na základě norem, které mají splnit. Tato studie se řídí starší dnes již neplatnou normou EN 958:2006. Současná norma EN 958:2017 upravuje hmotnost testovaného břemene, brzdnu délku vypárání, statickou nosnost lanyardů a nově přidané testování cyklické odolnosti pro opakované použití. Nicméně jak udává autor, reálný pád lezce na ferratě nebude nabývat stejných ideálních podmínek, jako při laboratorním měření Ernst, B. (2009).

Testování samotné probíhalo na speciální pádovém stroji s kalibrací odpovídající pro testování. Dodrženy byly i další podmínky jako například klima, vlhkost běžných podmínek. Tenzometrický snímač byl umístěn mezi břemeno a ferratový set s maximální kapacitou 50 kN a frekvencí 2000 Hz. Tyto hodnoty jsou totožné s naším testováním. Tlumiče pádu byly vybrány a) destičkový ferratový brzdič typu V, b) destičkový ferratový brzdič s větším počtem ok pro zvýšení tření. První test byl proveden z výšky  $5\text{ m} \pm 20\text{ mm}$  a hmotností břemene  $80\text{ kg} \pm 0.1\text{ kg}$  s oběma typy tlumičů. Výsledky ukázaly, nepatrné rozdíly ve výsledné rázové síle a sice a) 5,41 kN, b) 5,32 kN.

Při mnou provedeném testování nedošlo k ovlivnění rázové síly díky tření. Jediný hlavní prvek pro tlumení výsledné rázové síly byl průvěs z dynamického lana s využitím dynamického prodloužení, které při prvním pádu může dosahovat maximálně 40 % (Mytendon, 2021). Jak udává sám autor, tak hlavním cílem nebylo stanovení hodnot rázových sil, ale ověření zdali jednotlivé tlumiče pádu splňují stanovené normy. V této studii bylo použito břemeno o hmotnosti 80 kg zatímco mnou provedené měření využívalo břemeno o hmotnosti 100 kg. Další rozdíl spočívá v délce pádu, kde autor

prováděl pád o délce 5 metrů. Bohužel mnou provedené testování mělo délku pádu pouze 4 m, důvody jsou uvedeny v kapitole 4. 4 Metodika výzkumu. Největší rozdíl spatřuji v opakování provedených měření, kde z důvodů finančních nebyl proveden více než jeden pokus, zatímco při mnou provedeném měření bylo provedeno 10 pokus.

Další studie již chci zmínit, „*Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers*“, od autora Pasching (2012), zaměřuje svoji pozornost na lezce s nižší hmotností. Na základě analýzy zranění z let 2002 až 2009 došlo až k třetinovému nárůstu nehod a vážných zranění při pohybu na zajištěných cestách Pasching (2012). Pro samotné měření byla použita konstrukce s navijákem nikoliv pádová věž, přičemž jako vedení pádu bylo napnuto ocelové lano. Bod pro zadržení pádu byl vytvořen ocelovým okem, kde bylo ukotveno ocelové lano.

Toto provedení je relativně totožné se mnou provedeným testováním. Jediný rozdíl je použitý materiál. Pro vedení pádu jsem zvolil dynamické lano a stejně tak místo ocelového oka byl použit průvės z dynamického lana. Stejně jako u předchozí studie délka pádu byla 5 m. Použitý tenzometr nabýval parametrů jakožto i umístění, které se nacházelo mezi ferratovým tlumičem a břemenem. Břemeno zde představovala figurína, o hmotnosti 34, 48 a 78 kg. Použito zde bylo jak destičkového tak klasického tlumiče, využívající párání jednotlivých švů. Nejvíce znatelný rozdíl spatřuji v opakování jednotlivých měření. Zde bylo provedeno 5 měření pro destičkový ferratový set a 3 měření pro tlumič využívající párání jednotlivých švů.

Porovnání výsledných hodnot rázových sil ukazuje, že při pádu figuríny z 5m, ale rozdílné váze (34, 48, 78 kg), dosahuje hodnot stejných jako při vlastním měření improvizovaného ferratového setu a pádu do průvėsu z dynamického lana, ale o délce pádu 1,5 m. Při bližším zkoumání jsem došel ke zjištění, že směrodatná odchylka měření autora byla velmi vysoká. V rámci testování ferratového tlumiče pádu využívající párání jednotlivých švů k tlumení výsledné rázové síly při pádu z výšky 5m a hmotnosti figuríny 48 kg byly naměřeny hodnoty s rozdílem větším než 2 kN. Ostatní měření vykazují rozdílné hodnoty v průměru od 1 do 1,5 kN. To ukazuje na velké rozdíly v naměřených hodnotách současně s velmi nízkou stabilitou měření.

Nicméně v současné době se destičkové ferratové brzdiče nepoužívají. Na základě různých testů provedených společnostmi zabývající se jejich výrobou, které naznačily značný pokles pevnosti lanyardů z důvodů opotřebení by mohlo dojít až k úplnému selhání via ferrata setu. Proto společnosti jako Singing-Rock, umožnily výměnu za parací tlumiče pádů Singing-Rock (2013).



Další testování ferratového setu, které bych chtěl zmínit provedl výzkumník Hellberg (2020), ze společnosti Edelrid zabývající se výrobou a testováním všech horolezeckých pomůcek a vybaveních. Tento test je proveden dle nejnovější verze normy EN 958 a normy EN 16869 pro konstrukci ferratových setů.

Měření bylo provedeno pouze jednou jako potvrzení funkčnosti ferratového setu. Hmotnost závaží byla nastavena na 120 kg. Délka pádu 5 m. Provizorní ferratová cesta byla tvořena ocelovým lanem a spodní kotevní bod ocelovým okem kotveným do betonové zdi. Výsledná rázová síla dosahuje maximální hodnoty při aktivaci a současného páráni prvního švu o velikosti 5,68 kN.

Autor rozkládá pád do 3 fází. První poukazuje na volný pád a následné zastavení karabiny spodním kotvicím bodem. Při druhé fázi dochází k aktivaci ferratového setu a jeho páráni. Třetí fáze začíná úplným zastavením pádu a končí následným pádem nebo nárazem o skálu. Autor dále poukazuje na pád 40 kg vážícího lezce. Při takto nízké váze nedojde k úplnému využití páracího systému tlumiče, tudíž délka vypáráni je podstatně kratší a následný náraz do skály větší.

V případě mého testování dochází ke značnému prodloužení dynamického lna jak je možné si povšimnout z kapitol 5. 2. 1. Zmíněné prodloužení zpomalí celkový pád a nedojde tak k prudkému nárazu oproti páracímu ferratovému setu, kdy dochází k jednotlivým aktivacím švů, což lze označit za nárazy.

Je zřejmé, že všechny výzkumy se opírají o normy, které standardizují, jak má vypadat testování ferratových setů. Naší snahou bylo dodržet všechny parametry, přičemž délku pádu nebylo možné dodržet z technických důvodů. Nicméně dle naměřených hodnot v rámci testování improvizovaného ferratového setu při pádu do průvěsu z dynamického lana a výškou pádu 4 m, kde průměrná hodnota dosahovala 8,97 kN se směrodatnou odchylkou 0,07, můžeme odhadnout jak by tento pád vypadal při délce pádu 5 m. Jak si můžeme povšimnout, tak hodnota, při které došlo k poškození improvizovaného ferratového setu v oblasti uchycení karabiny lodním uzlem dosahovala průměrné hodnoty 9,22 kN a směrodatnou odchylkou 0,06. Nejmenší naměřená hodnota při zmíněném testování byla 9,13 kN. Z těchto dat usuzuji, že provedení měření s větší délkou pádu než jsou 4 m bude mít za následek přetržení improvizovaného ferratového setu v oblasti uchycení karabiny lodním uzlem. Výslednou průměrnou hodnotou rázové síly nelze určit. Výše zmíněné hodnoty se pomalu přibližují k mezním hodnotám, která lidský organismus nemusí vydržet.

Při zachycení pádu může člověk z fyziologického hlediska vydržet přetížení až 15 G tedy 15násobek své váhy. Pokud tedy uvažujeme o průměrné hmotnosti lezce 100 kg mezní hodnota pro přežití je 15 kN. Z toho výpočtu také vychází norma pro jednoduchá lana s rozdílem 80 kg lezce na místo 100 kg.

## Vyhodnocení hypotéz

V rámci výzkumu byla stanovena výzkumná otázka, ze které vychází hypotézy. **První hypotéza**, předpokládající, že výsledné hodnoty rázových sil naměřených při pádu vojáka s hmotnosti 100 kg z úseku improvizované ferratové cesty francouzského typu bude menší, než výsledná rázová síla u tradiční zajištěné cesty při použití ferratového tlumiče pádu, **nebyla potvrzena**. Výsledná rázová síla dosahovala průměrných hodnot 8,97 kN přičemž hodnoty, získané analýzou provedených výzkumů nepřesáhly hranici 7 kN.

**Druhá hypotéza**, tvrdí, že nedojde k přetržení improvizovaného ferratového setu při pádu do průvěsu z dynamického lana o délce 1 m a délce pádu 4 m **byla potvrzena**. V žádném z 10měření nedošlo k přetržení pomocné reep smyčky, která tvořila improvizovaný ferratový set.

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo pomocí experimentu změřit výsledné rázové síly, které působí na lezce při pádu z improvizované zajištěné cesty, za použití improvizovaného ferratového setu. Dále porovnat naměřené hodnoty rázových sil s hodnotami, které jsou již změřeny u tradičních zajištěných cest s využitím ferratových tlumičů pádu. Tohoto cíle bylo dosaženo dle stanovené metodiky. Data byla nashromážděna vlastním měřením autora. Prostorem pro měření se stal hasičský výcvikový polygon ve Velkém Poříčí. Veškerý textilní materiál potřebný pro výzkum byl poskytnut Společnost Lanex a.s. K dispozici bylo dynamické lano Ambition o průměru 10,5 mm, dynamickou průtažností 34 % z polyamidu a pomocná šňůra reep 6 mm též z polyamidu. Tento materiál je využíván AČR. Práce měla stanovené dvě hypotézy, které byly vyhodnoceny v diskuzi.

Teoretická část práce byla zaměřena na seznámení se s problematikou vojenského lezení, výbavou používanou při výcviku ve vojenském lezení, podrobným popisem vytvoření improvizovaného ferratového setu a improvizované zajištěné cesty. Dále úvod do tradičních zajištěných cest, historie vývoje jak tradičních cest tak jistění pro účely této práce.

V empirické části byly shrnuty cíle a úkoly, stanovena výzkumná otázka, hypotézy a metodika výzkumu včetně zpravování dat.

Ve výsledcích jsou popsány naměřené hodnoty testování improvizovaného ferratového setu při pádu do pevného bodu ke stanovení hodnot, kterých nabývají při délce pádu (0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m). Úkolem druhého měření bylo změřit hodnoty při pádu 100 kg vojáka do průvěsu tvořeného dynamickým lanem o velikosti 1 m. Délky pádů byly totožné s předešlým testováním. Na základě získaných hodnot výše uvedených měření jsem stanovil vliv dynamického lana pro tyto délky pádů.

Poslední testování mělo za úkol zjistit zdali nedojde k selhání improvizovaného ferratového úvazku při pádu do průvěsu o velikosti 1 m a délce pádu 4 m.

Z naměřených výsledků můžeme potvrdit, že měření bylo stabilní. Žádné extrémní odklony od střední hodnoty nebyly naměřeny. Tudíž naměřená data jsou statisticky významná.

Jak je z výsledků patrné, výsledná rázová síla dosahuje vysokých hodnot. Při pádu ze 4 m sice nedošlo k selhání improvizovaného ferratového setu, ale berme v potaz, že měření probíhalo v ideálních podmínkách bez zásahu vnějších podmínek. V

terénních podmínkách často dochází k navlhnutí materiálu a mnoho dalších nepříznivých vlivů, které působí na textilní materiál. Jak uvádí (Signoretti, 2002) při navlhnutí lana dochází k navýšení jeho hmotnosti, tím se snižuje jeho schopnost pohlcovat pádovou energii. Samozřejmě se jedná o improvizovaný ferratový úvazek používaný jen v potřebách nejvyšší nouze, kdy daná situace nemůže být vyřešena jiným způsobem.

Valná většina autorů, publikující v dané oblasti se shoduje na problému následného zranění a nikoliv problematice výsledné rázové síly. Převládá většinový názor, že zranění způsobená samotným zachycením pádu a následným úderem o skálu nebo skaní výběžky jsou závažnější, jelikož v dnešní době nedochází k selhání ferratových tlumičů pádu (Lehner, 2012, Ströhle, 2019)

### **Přínos pro vojenském lezení**

Jak již bylo zmíněno, tak daná problematika doposud nebyla empiricky zkoumána. Data, která byla změřena mají velkou výpovědní hodnotu vzhledem ke stabilitě měření. Díky nashromážděným datům víme, jaká síla působí na lezce při dané délce pádu. Při délce pádu 4 m se nebezpečně blížíme k hranici selhání improvizovaného ferratového setu. Současně při výcviku může dojít k působení nepříznivých vlivů, které negativně ovlivní výslednou rázovou sílu. Už tak vysoká výsledná rázová síla, která byla změřena dosahovala v průměru 8,97 kN. V terénních podmínkách tato hodnota bude dosahovat výrazně vyšších hodnot.

Při zachycení pádu může člověk z fyziologického hlediska vydržet přetížení až 15 G tedy 15násobek své váhy což odpovídá 15 kN. Zde nastává problém, protože jednoduchá lana jsou normována na lezce vážícího 80 kg. To odpovídá maximální rázové síle 12 kN. Pokud tedy voják váží 80 kg i s výstrojí, je pro něj dle naměřených hodnot, pád o délce 4 m velmi nebezpečný.

Z tohoto důvodu doporučuji v exponovaných terénech, kde hrozí volný pád přímo do kotevního bodu, vždy použít zajištění cesty francouzského typu s průvěsem minimálně 1 m. Současně se zkrácením vzdálenosti jednotlivých kotevních bodů na minimální možnou vzdálenost alespoň 2 m.

## 8 Seznam použité literatury

1. BARTÁK, Erik et al. *Pomůcka pro základní a zdokonalovací kurz vojenského lezení*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2012. 133 s. ISBN 978-80-7231-916-9.
2. BOŠTIKOVÁ, S., 2004. *Vysokohorská turistika: vybavení, znalosti a dovednosti, bezpečnost, typy natůry*. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 80-247-0696-2.
3. BUŘIČ, Petr a Richard FRANC. *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.
4. BROŽ, Jaromír. *Základy fyzikálních měření*. Praha: SPN, 1983. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství).
5. BRIGHT, C. M., "A History of Rock Climbing Gear Technology and Standards" (2014). Mechanical Engineering Undergraduate Honors Theses. 41. <http://scholarworks.uark.edu/meeguht/41>.
6. DAMILANO, F., GARDIEN, C., 2005. *Hory: vášeň a profese*. 1. vyd. Praha: Euromedia Group. ISBN 80-242-1288-9.
7. Dan Curtis (2005) Taking a Whipper: *The Fall-Factor Concept in Rock Climbing*, The College Mathematics Journal, 36:2, 135-140, DOI: 10.1080/07468342.2005.11922120.
8. DIN EN 958 . Climbing equipment – *Energy absorbing systems for via ferrata*, 2007. English version EN 958:2006.
9. DIAZ C. M., SEPÚVEDA, C. M., Dolores Rubio-Cintas and Kissi Benaissa, *Guide for the Design and Calculation of Via Ferrata*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 9(8), 2018, pp. 264–276.
10. DEUTSCHER ALPENVEREIN. [online]. [vid. 23. 12. 2016]. Dostupné z: <http://www.alpenverein.de/Bergsport/Sicherheit/>.
11. DVOŘÁK, Vojtěch. *Feraty na pranyři: Proč nepoužívat odsedku nebo smyčky místo tlumiče pádu?* Svět outdooru [online]. Praha: Svět outdooru, 2015, 2015 [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: <https://www.svetoutdooru.cz/feraty-na-pranyri-nejcastejsi-otazky-zodpovime-na-zaklade-testu/>

12. EN 958:2006. Mountaineering equipment – *Energy absorbing systems for use in klettersteig (via ferrata) climbing* – Safety requirements and test methods. Beuth Verlag GmbH.
13. ERNST, B. (2009). *New analysis method for personal protection equipment for use on via ferrata. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 223(2), 63–75. doi:10.1243/17543371jset28.
14. NORMATIVNÍ VÝNOS MINISTERSTVA OBRANY Č. 12/2011: Služební tělesná výchova v rezortu Ministerstva obrany.
15. Federal Ministry of Defence and Sports. Austrian Armed forces field manual: *Military mountain training*. Vienna, July 2014. 685 p. Supply number 7610-10133-0808.
16. FUSS, F. K., & Niegl, G. (2010). *Understanding the mechanics of dynamic rope brakes. Procedia Engineering*, 2(2), 3323–3328. doi:10.1016/j.proeng.2010.04.15
17. HELLBERG, F., *In-depth knowledge about via ferrata sets*. Edelrid GmbH & Co. KG: VIA FERRATA, STANDARDS [online]. Germany: Edelrid, 2020 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.edelrid.de/en/knowledge-base/sports/in-depth-knowledge-about-via-ferrata-sets>.
18. FRANK, Tomáš a KUBLÁK Tomáš a kol.. *Horolezecká abeceda*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství Epoque, 2007. 664 s. ISBN 978-80-87027-35-6.
19. FRANZ Konstantin Fuss, Günther Niegl,. *Understanding the mechanics of dynamic rope brakes*.. Sciencedirect. 2010 (Volume 2), 6. ISSN 1877-7 058. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.152>.
20. PELEŠKOVÁ, H., Praha: Freytag & Berndt, 2016. *Rother selection* (Freytag & Berndt). ISBN 978-80-7445-178-2.
21. *How to Break Nylon & Dyneema Slings*. DMM: climb now work later[online]. 2010 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <http://dmmclimbing.com/knowledge/how-to-break-nylon-dyneema-slings>.

22. ITeh, Inc. Standards. Institute of Standardization [online]. United States, 2017 [cit. 2021-07-04]. Dostupné z: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/64ade7c0-10f0-42e0-82d8-53b21e0a49bf/en-958-2017>.
23. KUTTA, František. *Horolezecká abeceda*. Druhé opravené a rozšířené vydání. V Praze: Ústřední výbor Klubu českých turistů, 1945. 35 s. Turistické příručky Klubu českých turistů; Sv. 2.
24. 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>.
25. LUDOVIC Seifert, WOLF, Peter, SCHWEIZER Andreas. *The Science of Climbing and Mountaineering*. United Kingdom: Routledge, 2018. ISBN 9781138595231.
26. MCLAREN AJ. *Design and Performance of Ropes for Climbing and Sailing*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications. 2006; 220 (1):112. doi:10.1243/14644207JMDA75.
27. MICHALIČKA, Vladimír a kol. *Pomůcka pro základní výcvik (kurz) vojenského lezení SpS. 2*. Rozšířené vydání. Velitelství společných sil, Skupina tělesné výchovy. Olomouc 2009, Ev. č. 1/2-576/2009-2802/J3.
28. MICHALIČKA, Vladimír a kol.. Speciální tělesná příprava: *Vojenské lezení*. 1. vyd. Praha. 2019. 188 s. Pub-71-84-06.
29. PASCHING E, DIEM E, LITZENBERGER S, SABO A. *Falls into via ferrata climbing sets carry a higher injury risk for lightweight climbers*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology. 2012;226(3-4):253-259. doi:10.1177/1754337111433262.
30. *Pevnost lan*. [Www.lanex.cz](http://www.lanex.cz) [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.lanex.cz/cs/pevnost-lan/a-397/>.
31. *Pevnost a tažnost u délkových textilií*. Textilní zkušební ústav [online]. 2016 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.tzu.cz/pevnost-a-taznost-u-delkovych-textili>.

32. POHL, Tomáš. *Pohybová aktivita příslušníků různých vojenských útvarů* [online]. Brno, 2020 [cit. 2021-4-14]. 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..
33. PROCHÁZKA, V. a kol. *Horolezectví*. Praha:Olympia, 1990. ISBN 80-2327-432-1.
34. SCHUBERT, P., 2004. *Lezení na zajištěných cestách: výzbroj, technika, bezpečnost*. Praha: Freytag, 2004. ISBN 80-731-6163-X.
35. SCHUBERT, P., 2007. *Bezpečnost a riziko na skále a ledu*. 2. vydání v českém jazyce. Praha: Freytag. ISBN 80-7316-064-1.
36. SEIFERT, Ludovic. *The science of climbing and mountaineering*. [First Edition]. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, [2017].
37. SEMMEL Chris, Hellberg Florian. *Recommendation for the construction of Klettersteigs (also known as via ferrate) and wire cable belay systems*. 1st Edition. Munich: German Alpine Club and the Austrian Board of Mountain Safety, 2008. 34p.
38. SIGNORETTI, G. *The influence of water, ice and sunlight on the dynamic performance of mountaineering ropes*. In *Nylon and ropes for mountaineering and dabinig* [online]. Turín: Itálián Alpine Club Technical Committee, 8 - 9 March 2002, [citováno 15. Března 2021].
39. SINGING ROCK. *SINGING ROCK* [online]. 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.singingrock.cz/singing-rock-o-nas>.
40. Ströhle, M., Haselbacher, M., Rugg, C., Walpoth, A., Konetschny, R., Paal, P., & Mair, P. (2019). *Mortality in Via Ferrata Emergencies in Austria from 2008 to 2018*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 103. doi:10.3390/ijerph17010103.
41. Tendon, Produkty [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: <https://www.mytendon.cz/cs>.



42. WALKER, B. DRAPER, PERKINS, BRENDAN, BELCOURT, B. September 2009, *Via ferrata safety systems*, United States 20090235425 <https://www.freepatentsonline.com/2009/0235425.html>.
43. WERNER, Paul, Iris KÜRSCHNER, Thomas HUTTENLOCHER a Jochen HEMMLEB. *Klettersteigatlas - Alpy: všechny zajištěné cesty v Alpách mezi Vídeňským lesem a Azurovým pobřežím : s úvodem do historie zajištěných cest a techniky lezení*. 5. aktualizované a rozšířené vydání v českém jazyce.

## 9 Seznam grafické dokumentace

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

### 9.1 Obrázky

Obrázek 1 Členění služební tělovýchovy (NV MO č.12/2011) .....	14
Obrázek 2 Formy lezení (Michalička a kol., 2019).....	15
Obrázek 3 Improvizovaný ferratový úvazek.....	19
Obrázek 4 Výsledky testování pomocné symčky (How to Break Nylon & Dyneema Slings, 2010), úprava vlastní.....	19
Obrázek 5 Skalní hodiny (Michalička a kol., 2019).....	20
Obrázek 6 Zajišťovací pomůcky (Michalička a kol., 2019).....	20
Obrázek 7 Postup po zajištěné cestě se dvěma lany (Michalička a kol., 2019).....	22
Obrázek 8 Improvizovaná zajištěná cesta.....	23
Obrázek 9 Pevnost uzlů oproti pevnosti nominální (Frank, Kublák a kol., 2007)..	25
Obrázek 10 Tradiční ferrata.....	26
Obrázek 11 Destičkové tlumiče pádu typu „V“ (Ernst, 2009).....	31
Obrázek 12 Destičkové tlumiče pádu typu „Y“ (Singingrock, 2013).....	32
Obrázek 13 Párací tlumič pádu (Worksafety, 2020).....	33
Obrázek 14 Pád dosahující hodnoty pádového faktoru 2 (Mytendon, 2021).....	37
Obrázek 15 Demonstrace různých pádových faktorů (Horyinfo, 2021).....	37
Obrázek 16 Řezání pomocné reep šňůry.....	42
Obrázek 17 Demonstrace vedení lana a umístění kotevních bodů.....	42
Obrázek 18 Testování improvizovaného ferratového úvazku .....	44
Obrázek 19 Testování vlivu dynamického lana na výslednou rázovou sílu.....	44
Obrázek 20 Pád improvizovaného ferratového setu do průvěsu z dynamického lana.	45
Obrázek 21 Zařízení pro měření výsledné rázové síly.....	46
Obrázek 22 Testování improvizovaného ferratového setu při pádu z 0,5 m.....	49
Obrázek 23 Detailní průběh nejvyšší naměřené rázové síly působící na lezce v čase...50	
Obrázek 24 Průvěs z dynamického lana o velikosti 1 m.....	55
Obrázek 25 Prodloužení dynamického lana při zatížení.....	55

## 9.2 Tabulky

Tabulka 1 Popisná statistika naměřených hodnot.....	50
Tabulka 2 Popisná statistika naměřených hodnot.....	54
Tabulka 3 Tabulka naměřených hodnot při pádu ze 4 m.....	57
Tabulka 4 Klíčové rozdělení experimentů.....	60
Tabulka 5 Porovnání experimentů a naměřených dat.....	61

## 9.3 Grafy

Graf 1 Naměřené hodnoty.....	49
Graf 2 Krabicový graf výsledných hodno.....	51
Graf 3 Naměřené hodnoty .....	52
Graf 4 Naměřené hodnoty.....	52
Graf 5 Naměřené hodnoty .....	53
Graf 6 Naměřené hodnoty.....	53
Graf 7 Krabicový graf.....	54
Graf 8 Naměřené hodnoty.....	56
Graf 9 Naměřené hodnoty.....	57
Graf 10 Porovnání naměřených hodnot.....	58
Graf 11 Naměřené hodnoty.....	62