

ČESKÝ SPOLEK HORSKÝCH PRŮVODCŮ



ZÁVĚREČNÁ PRÁCE

ZÁCHRANNÉ LANOVÉ TECHNIKY S VYUŽITÍM KLADKOSTOJŮ

Program: Mezinárodní horský průvodce

Šarlota Dušková

Praha 2022

Obsah

Úvod	4
1 Potřebný materiál pro provedení záchrany	5
2 Možné způsoby záchrany	6
2.1 Kladkový efekt	6
2.2 Kladkostroje	7
2.2.1 Systém 1:1	8
2.2.2 Systém 2:1	9
2.2.3 Systém 3:1	10
2.2.4 Systém 4:1	11
2.2.5 Systém 5:1	12
2.2.6 Systém 7:1	13
2.3 Popis kladkostrojů	13
2.3.1 Systém volné kladky "Loserolle"	13
2.3.2 Systém vytažení protiváhou "Straus"	19
2.3.3 Expresflaschenzug	19
2.3.4 Seirollflaschenzug	20
2.3.5 Flaschenzug	20
2.3.6 Kladkostroj 7:1	21
3 Webová aplikace - Pulley systems simulation	22
3.1 Představení aplikace	22
4 Výpočty	24
4.1 Výpočet síly potřebné k vytažení záchraňovaného lezce	24
4.1.1 Ideální kladkostroj	24
4.1.2 Kladkostroj 3:1	24
4.1.3 Kladkostroj 5:1	24
4.1.4 Kladkostroj 7:1	25

4.2 Výpočet vytažené délky lana k zachránění lezce o požadovanou vzdálenost	27
Závěr	28
Seznam rovnic	29
Seznam použité literatury	30

Úvod

Budu se zabývat problematikou záchrany ve skalním terénu. Uvedu základní potřebný materiál k záchraně (viz kapitola 1). Zaměřím se na základní záchranné techniky klientů ve volném terénu či na zajištěných cestách (viz kapitola 2). Výstupem bude vytvoření webové aplikace (viz kapitola 3), kde si uživatel bude moct nastavit hmotnost zachraňovaného lezce, zavést do výpočtu různé případy účinnosti kladek použitých v systému a umožní vypočítat skutečnou vytaženou délku lana k záchraně lezce o požadovanou vzdálenost. Všechny výpočty ve webové aplikaci budou shrnuty v následující kapitole (viz kapitola 4). Cílem této aplikace bude umožnit uživateli jednoduše nasimulovat situaci a vypočítat jakou hmotnost bude muset vytáhnout, pokud jeho spolulezec či klient nebude moct překonat určitou pasáž, či se zraní a nebude moct pokračovat ve výstupu.

1 Potřebný materiál pro provedení záchrany

Pro úspěšné provedení záchrany je potřebné mít sebou minimálně následující vybavení:

- 2x prusíkovací smyčka průměru 6 mm v délce 1,5 m
- 1x prusíkovací smyčka průměru 6 mm v délce 3,0 m
- 1x prusíkovací smyčka průměru 6 mm v délce 5,0 m
- 4x HMS karabinu
- dynamické lano min. délky 30,0 m

Dále je možné využít následující vybavení:

- jistící pomůcka - reverso
- kladka
- tibloc
- microtraxtion

2 Možné způsoby záchrany

V následující kapitole si ukážeme možné způsoby záchrany. Záchranu budeme provádět pomocí kladkostroje. Kladkostroje se dělí podle účinnosti.

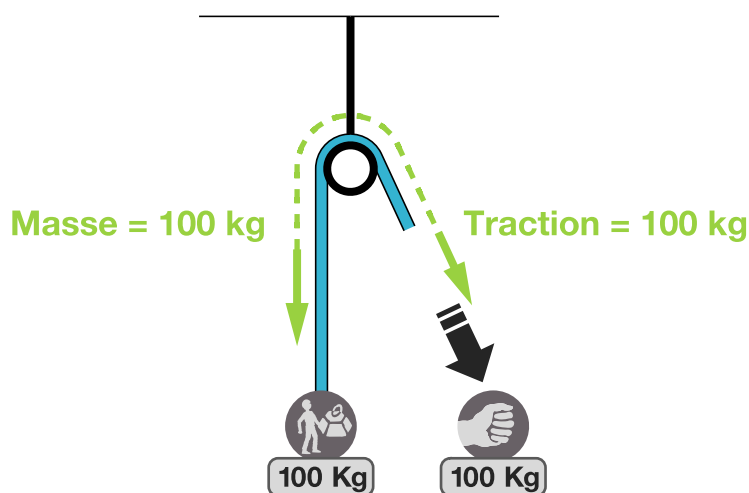
Stanovení účinnosti kladkostroje

Kladkostroj snižuje úsilí potřebné k vytažení záchraňovaného.

2.1 Kladkový efekt

Budeme-li uvažovat břemeno zavěšené na laně procházející kladkou zavěšenou nad tímto břemenem, bude platit 2. Newtonův zákon "Síla působící na těleso o hmotnosti m uvádí těleso do rovnoměrně zrychleného pohybu se zrychlením a .", tedy jakákoliv síla působící na jeden konec lana se přenese na druhý konec lana.

Pokud břemeno zavěšené na laně váží 100 kg, musí na druhé straně lana udržet, taktéž 100 kg (viz obr. 2.1). Každý pramen lana vyvine tah 100 kg, takže kladka nese 200 kg.



Obr. 2.1: Kladkový efekt (schéma převzato ze zdroje [2])

Tato teorie platí pouze pro ideální kladkostroj s účinností 100%, která reálně neexistuje. Ve skutečnosti se dokážeme pohybovat v rozmezí od 50% do 98%. Pro zjednodušení výpočtů budu pracovat s účinností 100%.

Účinnost tj. síla značená (E) taženého systému udává multiplikační faktor síly, který můžeme na lano vyvinout. Pokud jsme na laně schopni utáhnout 20 kg systém 3:1 umožní zvednou 60 kg. Tohoto snížení se dosáhne zvýšením množství taženého lana. Uvažujeme-li ideální stav, tedy 100% účinnost systému, potřebujeme k vytažení zátěže o 1 m se systémem 3:1 vytáhnout 3 m lana.

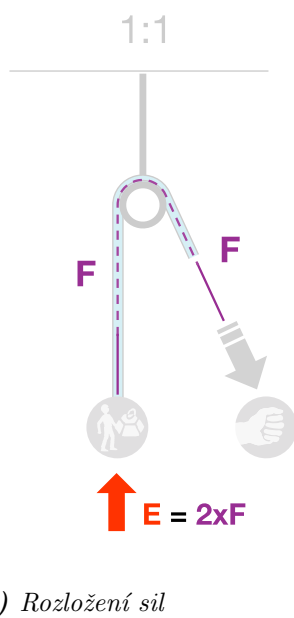
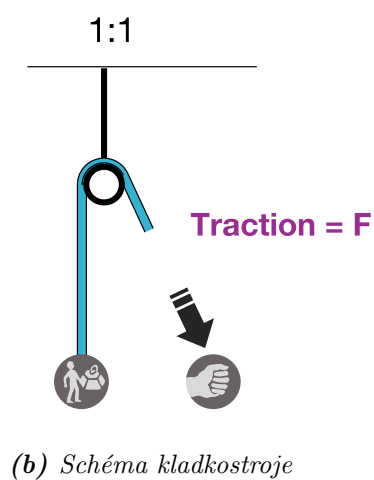
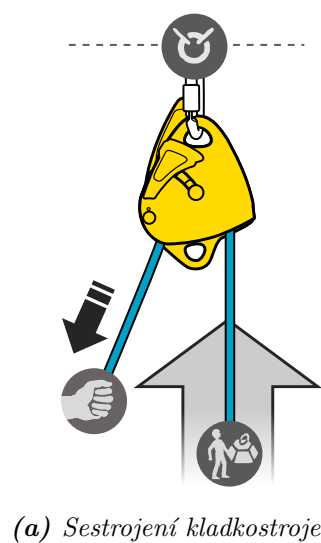
Účinnost (E) taženého systému lze vypočítat sečtením účinků každé kladky. Pokud máme kladkostroje se sudým číslem, jedná se o formu kladkostroje se zatížením ukotveným nahoře. V našem případě budeme využívat kladkostroje s lichým číslem, tedy se zatížením dole. Zaměřím se na kladkostroj 3:1, 5:1 a 7:1 [2].

2.2 Kladkostroje

Pro určení mechanické účinnosti systému slouží T-metoda, neboli metoda sčítání napětí. Jedná se o výpočet mechanické účinnosti lana a kladky. K určení T-metody stačí pouze následovat 4. kroky:

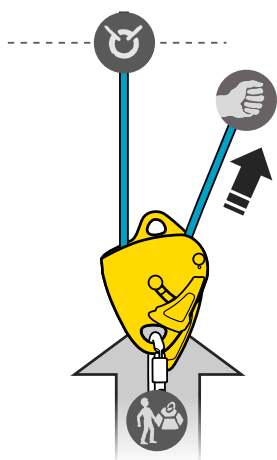
1. Vedle taženého lana zapíšeme T_1 .
2. Vedle každé kladky si zakreslíme tři čáry, tyto čáry budou značit vstup do kladky, kladku a výstup z kladky. Vždy platí rovnováha sil, tedy síly co vstoupí do kladky musí i vystoupit.
3. Doplníme prázdné řádky.
4. Po doplnění všech řádek zjistíme mechanickou účinnost systému [3] (viz Obr. Rozložení sil).

2.2.1 Systém 1:1

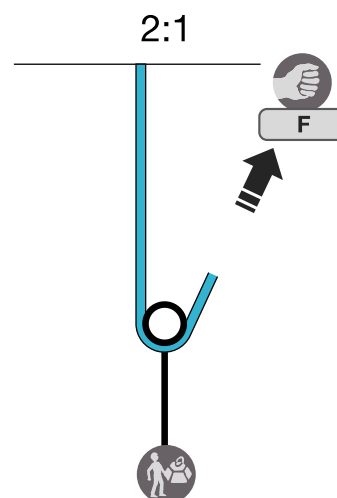


Obr. 2.2: Kladkostroj 1:1 (schéma převzato ze zdroje [2])

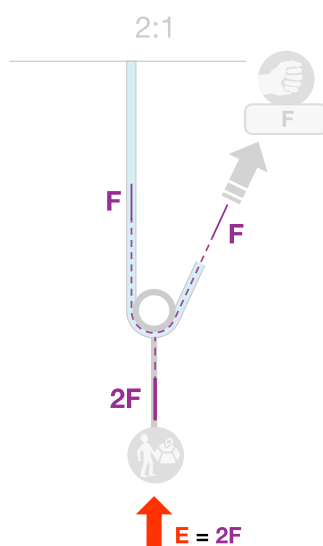
2.2.2 Systém 2:1



(a) Sestrojení kladkostroje



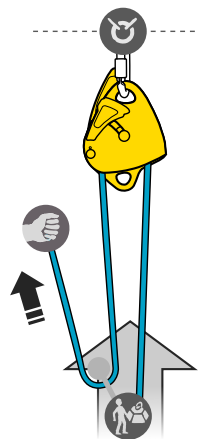
(b) Schéma kladkostroje



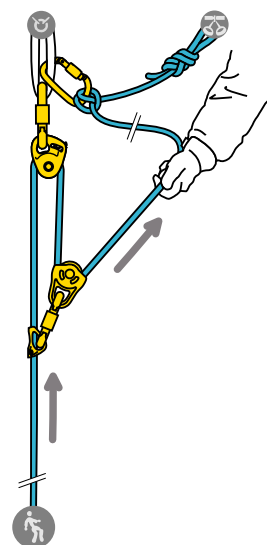
(c) Rozložení sil

Obr. 2.3: Kladkostroj 2:1 (schéma převzato ze zdroje [2])

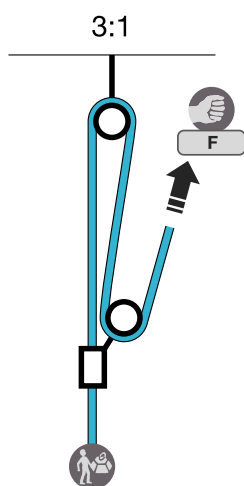
2.2.3 Systém 3:1



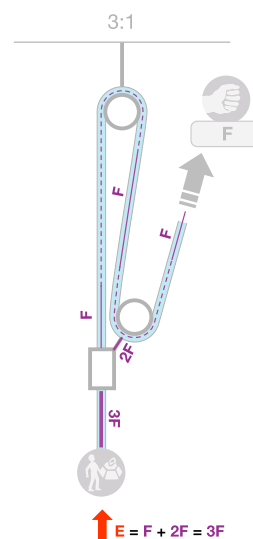
(a) Sestrojení kladkostroje



(b) Zobrazení sestrojeného kladkostroje



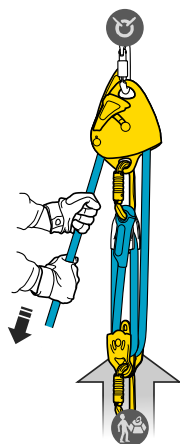
(c) Schéma kladkostroje



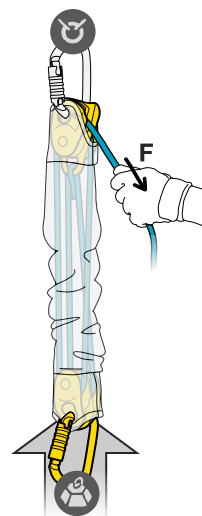
(d) Rozložení sil

Obr. 2.4: Kladkostroj 3:1 (schéma převzato ze zdroje [2])

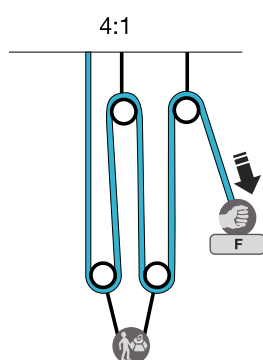
2.2.4 Systém 4:1



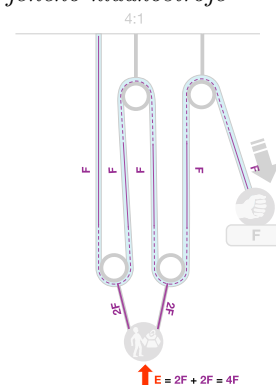
(a) Sestrojení kladkostroje



(b) Zobrazení sestrojeného kladkostroje



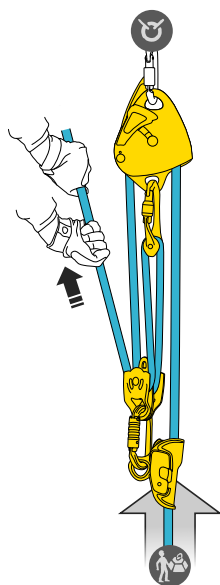
(c) Schéma kladkostroje



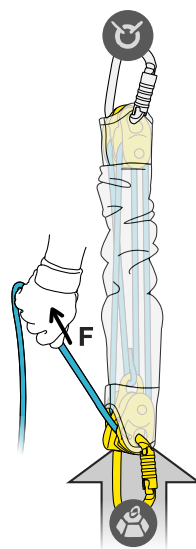
(d) Rozložení sil

Obr. 2.5: Kladkostroj 4:1 (schéma převzato ze zdroje [2])

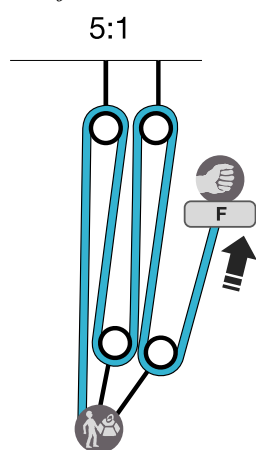
2.2.5 Systém 5:1



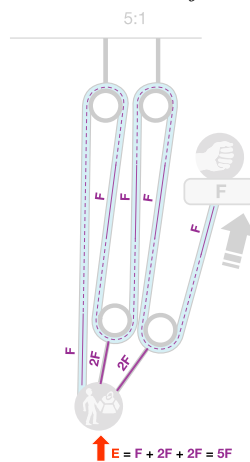
(a) Sestrojení kladkostroje



(b) Zobrazení sestaveného kladkostroje



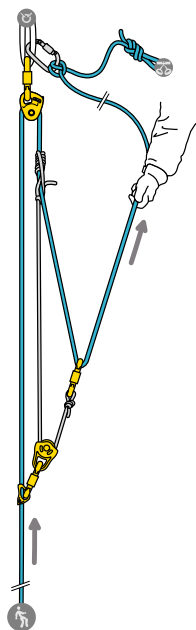
(c) Schéma kladkostroje



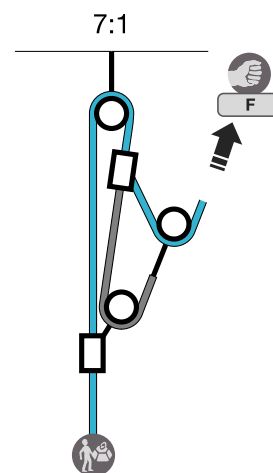
(d) Rozložení sil

Obr. 2.6: Kladkostroj 5:1 (schéma převzato ze zdroje [2])

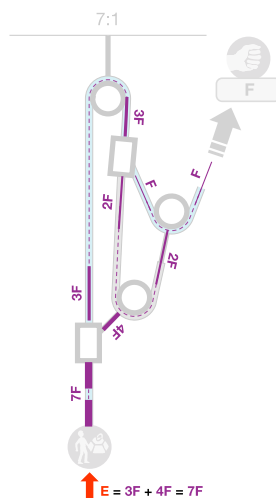
2.2.6 Systém 7:1



(a) Sestrojení kladkostroje



(b) Schéma kladkostroje



(c) Rozložení sil

Obr. 2.7: Kladkostroj 7:1 (schéma převzato ze zdroje [2])

2.3 Popis kladkostrojů

2.3.1 Systém volné kladky "Loserolle"

Tato technika je využívána zejména při záchraně na ledovci. Nejjednodušší použití této metody je pokud je lezec při vědomí. Pokud je lezec zraněný nebo není při vědomí musíme se nejdříve k lezci slanit a až poté jej vytahovat za pomoci kladky nahoru.

Postup:

1. Zřídíme stanoviště - vykopeme díru například pro vložení cepínu. Na topůrko cepínu uvážeme liščí smyčkou sešitou smyčku (viz obr. 2.8). Následně cepín zakopeme a pomocí prusíku, který máme navázaný na laně uvolníme ze sebe zátěž a přeneseme ji na nově vybudované stanoviště.

2. Na volném prameni lana umístíme 3 m prusík pro sebezajištění.

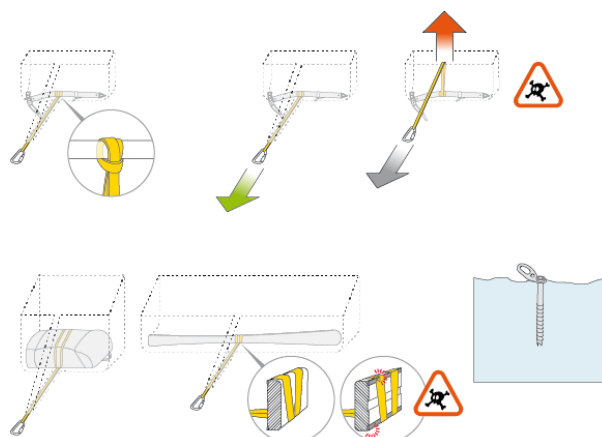
3. Na volném prameni dojdeme na kraj trhliny, celou dobu jsme jištěni prusíkem. Na volném prameni lana spustíme karabinu (kladku) k zachraňovanému lezci, který si karabinu cvakne do sedáku.

4. Prusík, který posloužil pro odtížení váhy lezce bude sloužit jako zajištění vytahovaného lana, takový to jednoduchý kladkostroj by fungoval s účinností systému 2:1 (viz obr. 2.9).

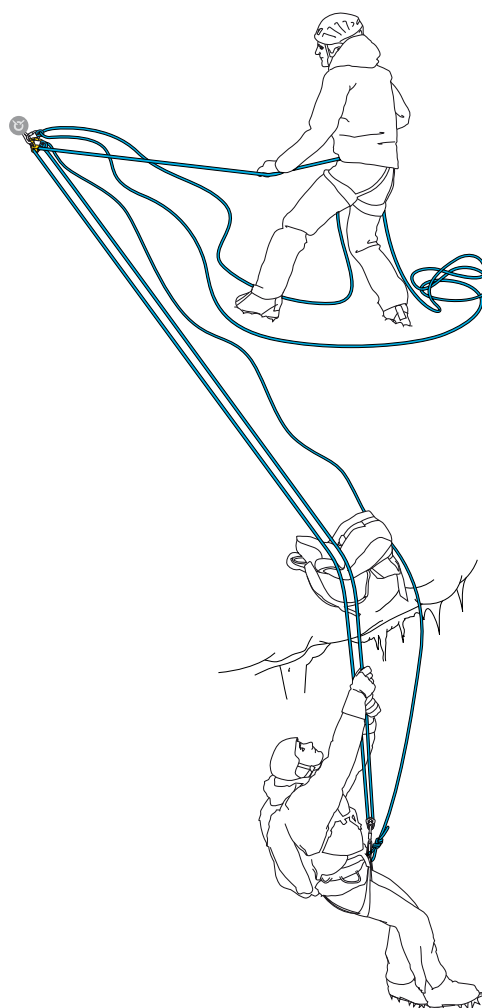
5. Pokud bychom volné lano ve zřízeném stanovišti zajistili prusíkem, tiblocem nebo microtraxtionem a dále použili prusík s karabinou popřípadě tibloc s karabinou a kladkou vytvořili bychom systém 6:1 (viz obr. 2.13). Další možností je vytvořit systém 3:1 (viz obr. 2.11) nebo 7:1 (viz obr. 2.14) [1].

Nejčastější chyby:

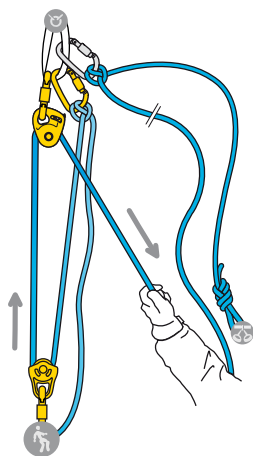
1. Celý systém je zajištěn pouze přes jeden prusík.
2. Chybné nastavení délek prusíků.
3. Překřížení pramenů lana v systému.



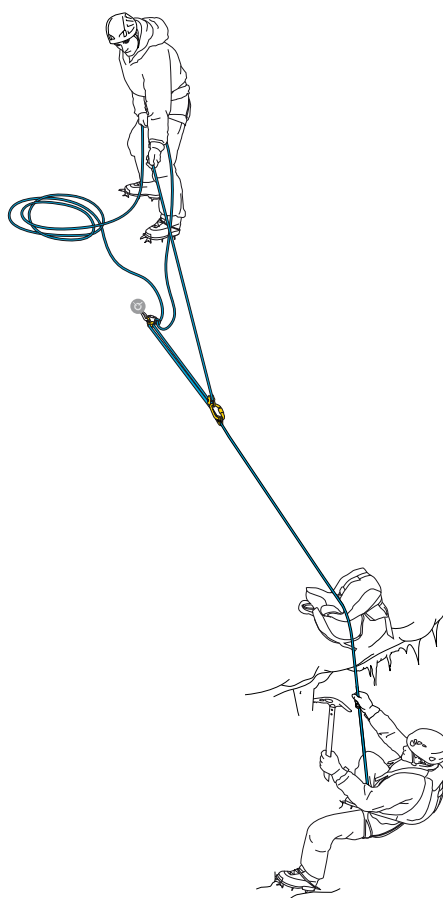
Obr. 2.8: Sněhová kotva (schéma převzato ze zdroje [2])



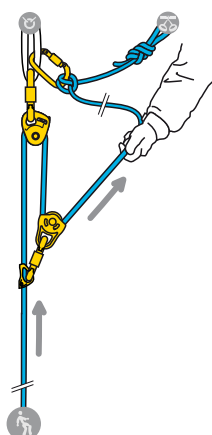
Obr. 2.9: Záchrana z ledovcové trhliny 2:1 (schéma převzato ze zdroje [2])



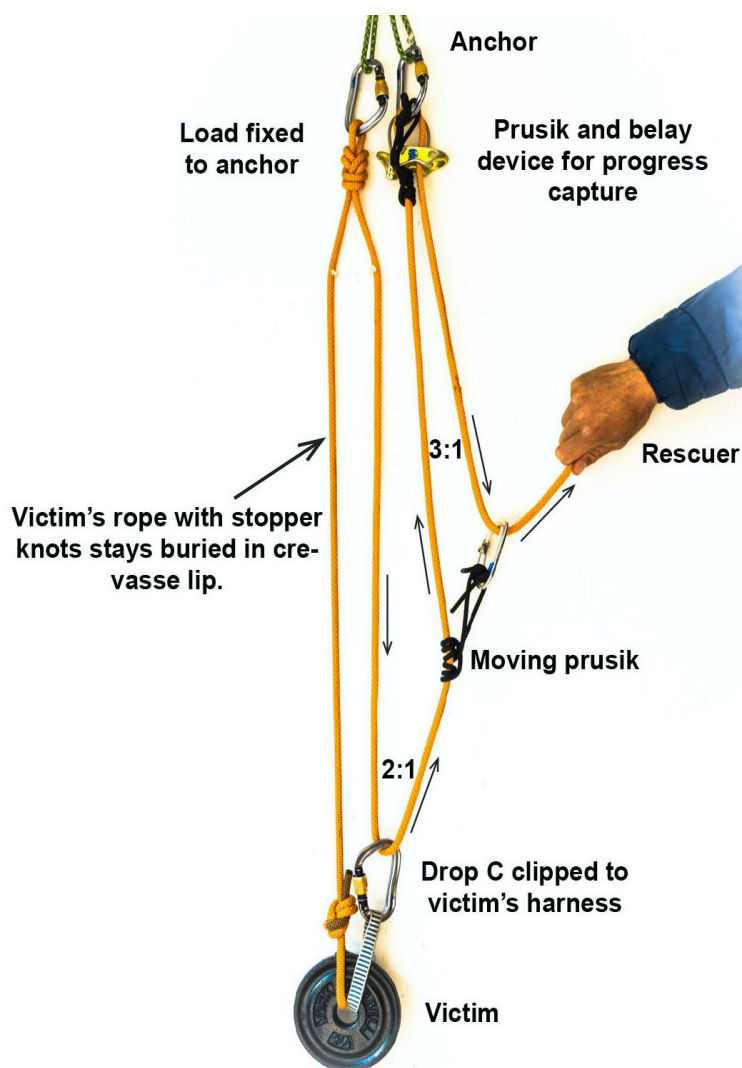
Obr. 2.10: Detail kladkostroje pro záchrany z ledovcové trhliny 2:1 (schéma převzato ze zdroje [2])



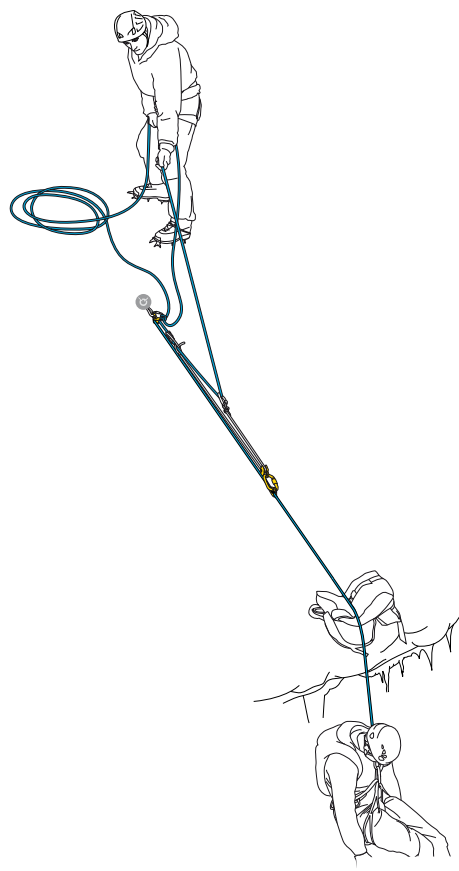
Obr. 2.11: Záchrana z ledovcové trhliny 3:1 (schéma převzato ze zdroje [2])



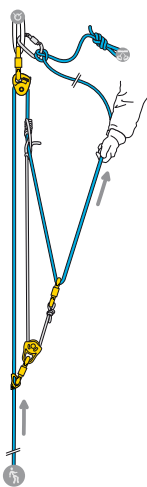
Obr. 2.12: Detail kladkostroje pro záchrana z ledovcové trhliny 3:1 (schéma převzato ze zdroje [2])



Obr. 2.13: Záchrana z ledovcové trhliny 6:1 (schéma převzato ze zdroje [4])



Obr. 2.14: Záchrana z ledovcové trhliny 7:1 (schéma převzato ze zdroje [2])



Obr. 2.15: Detail kladkostroje pro záchranu z ledovcové trhliny 7:1 (schéma převzato ze zdroje [2])

2.3.2 Systém vytažení protiváhou "Straus"

Nejjednodušší dopomoc či vytažení vlastní vahou.

Postup:

1. Kravskou smyčkou zajistíme jistitko či půllodní uzel.
2. Umístíme trojitý 1,5 m prusík a zafixujeme jej ve stanovišti.
3. Zrušíme zablokování jistění a pouze lano procvakneme ve stanovišti karabinou.
4. Na volném konci lana použijeme otevřenou gardu umístěnou v centrálním oku sedacího úvazku.
5. Zatížením volného konce vlastní vahou a současným přitážením lana jdoucím k lezci jej takto vytáhneme. Nutné vždy posunout prusík, který nám zajistí vytažené lano.

Nejčastější chyby:

1. Špatné uvázání prusíku.
2. Přeskočení prusíku v karabině, lze vyřešit umístěním reversa před prusík a zkrácením prusíku na nejmenší délku či použitím tiblocu nebo microtraxionu.
3. Neprodloužení sebejistění a tedy špatné zatěžování [1].

2.3.3 Expresflaschenzug

Metoda, která spíše slouží jako pomoc druholezci v situacích, kdy se v cestě nachází těžší místo, které nemůže lezec svépomocí překonat.

Postup:

1. Pokud dobíráme spolulezce přes reverso či půllodní uzel, zajistíme jistění kravskou smyčkou.
2. Na zatížené lano umístíme prusík 1,5 m, který zkrátíme na nejmenší možnou délku a procvakneme jím karabinu.

3. Volný pramen lana protáhneme karabinou s prusíkem. Uvolníme zablokované jistítko a dobíráme lezce [1].

2.3.4 Seirollflaschenzug

Nejjednodušší sestavení kladkostroje. Technika je stejná jako u předešlé techniky Expresflaschenzug, pouze nyní zrušíme jištění a pouze lano procvakneme do karabiny. Jedná se o kladkostroj s účinností 3:1.

Postup:

1. Lezec nám visí v prusíku umístěném za půllodním uzlem. Kravskou smyčkou zajistíme půllodní uzel.

2. Na zatížené lano umístíme prusík 1,5 m, který zkrátíme na nejmenší možnou délku a procvakneme jím karabinu.

3. Volný pramen lana protáhneme karabinou s prusíkem. Uvolníme zablokované jistítko a zrušíme jej, lezec nám visí v pomocném prusíku. Lano z jistítka procvakneme karabinou do jistícího stanoviště [1].

2.3.5 Flaschenzug

Kladkostroj s účinností 5:1.

Postup:

1. Lezec nám visí v prusíku umístěném za půllodním uzlem. Kravskou smyčkou zajistíme půllodní uzel.

2. Na zatížené lano umístíme prusík 1,5 m, který zkrátíme na nejmenší možnou délku a procvakneme jím karabinu.

3. Do jistícího stanoviště umístíme 5,0 prusík, který provážeme skrz karabinu a protáhneme skrz karabinu s prusíkem.

4. Karabinou protáhneme volný konec lana [1].

2.3.6 Kladkostroj 7:1

Kladkostroj s účinností 7:1.

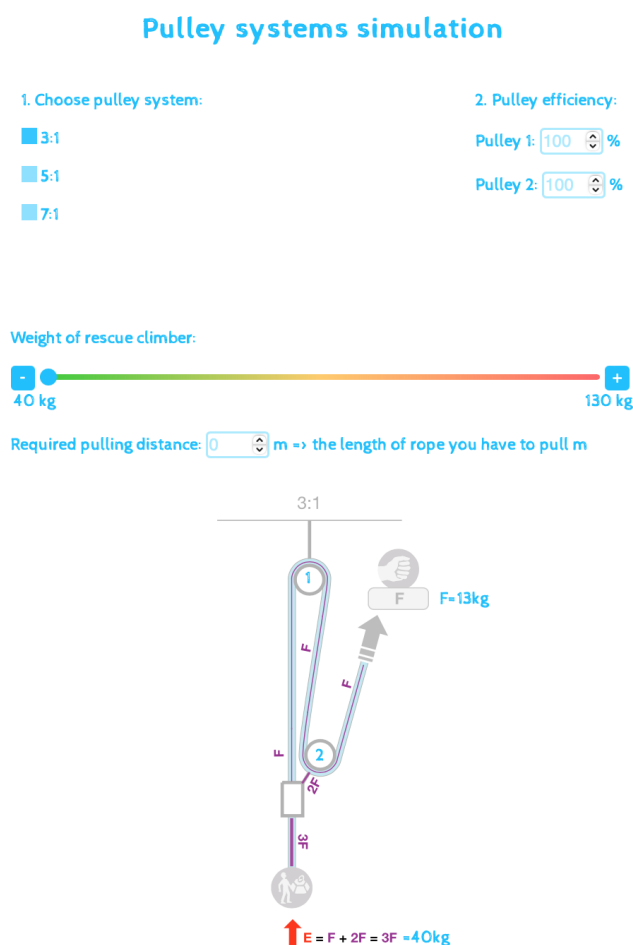
Postup:

1. Lezec nám visí v prusíku umístěném za půllodním uzlem. Kravskou smyčkou zajistíme půllodní uzel.
2. Na zatížené lano umístíme prusík 1,5 m, který zkrátíme na nejmenší možnou délku a procvakneme jím karabinu.
3. Za půllodním uzlem, tedy volným koncem lana umístíme 5,0 m prusík, který protáhneme skrz karabinu s 1,5 m prusíkem umístěným na zatíženém laně.
4. Do 5,0 m prusíku procvakneme karabinu a volný konec lana.

3 Webová aplikace - Pulley systems simulation

3.1 Představení aplikace

Vytvořila jsem webovou aplikaci, pro výpočet potřebné síly k vytažení zachraňovaného lezce (viz obr. 3.1). První volbou v aplikaci je požadovaný systém kladkostroje, který se v zápětí vykreslí (viz obr. 3.6). Lze zvolit kladkostroje s mechanickou účinností 3:1, 5:1 a nebo 7:1 (viz obr. 3.2). Druhou volbou v aplikaci je nastavení konkrétní účinnosti jednotlivých kladek v systému (viz obr. 3.3). Pokud není nastavena žádná hodnota, uvažuje se se 100% účinností, jedná se o dokonalý stav, který v reálném prostředí není možný. Pomocí posuvníku či příslušných tlačítek lze nastavit hmotnost lezce (viz obr. 3.4). V poslední řadě lze nastavit vzdálenost, kterou chceme za pomoci kladkostroje překonat (viz obr. 3.5).



Obr. 3.1: Kompletní zobrazení aplikace

1. Choose pulley system:

☒ 3:1

☐ 5:1

☐ 7:1

Obr. 3.2: První volba v aplikaci - výběr kladkostroje

2. Pulley efficiency:

Pulley 1: %

Pulley 2: %

Obr. 3.3: Možnost nastavit konkrétní hodnotu účinnosti dané kladky

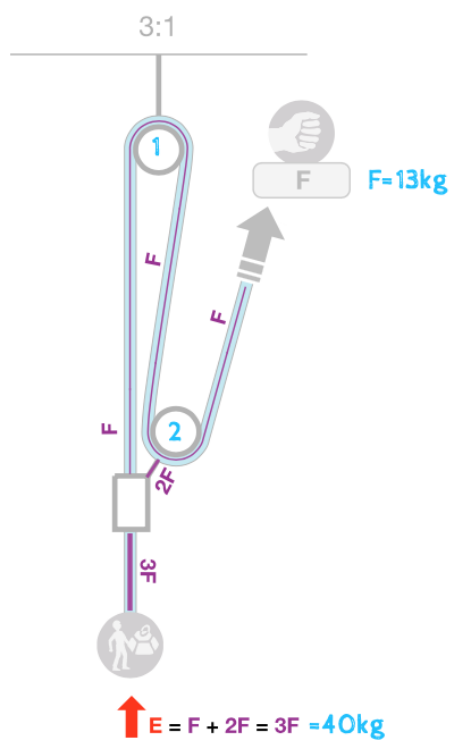
Weight of rescue climber:



Obr. 3.4: Nastavení hmotnosti vytahovaného lezce

Required pulling distance: m => the length of rope you have to pull m

Obr. 3.5: Zadání požadované vzdálenosti vytahovaného lezce



Obr. 3.6: Schéma kladkostroje

4 Výpočty

4.1 Výpočet síly potřebné k vytažení zachraňovaného lezce

4.1.1 Ideální kladkostroj

V této kapitole uvedu výpočet, který je zakomponován ve webové aplikaci. Pro výpočet se 100% účinností, tedy ideálním kladkostrojem uvažuji ve webové aplikaci v případě pokud uživatel nezadá konkrétní účinnost kladky.

Obečná rovnice síly:

$$S = \frac{F}{\mu \cdot n} \quad (4.1)$$

$$S = \frac{m \cdot g}{\mu \cdot n} \quad (4.2)$$

- kde:
- S – síla úsilí [N]
 - F – síla zátěže [N]
 - m – hmotnost zátěže [kg]
 - g – gravitační konstanta [$9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]
 - μ – účinnost (rovné jedné pro ideální systém bez tření, zlomek menší než jedna u systémů v reálném světě se ztrátami energie v důsledku tření)
 - n – mechanická účinnost systému

4.1.2 Kladkostroj 3:1

Pokud uživatel zadá konkrétní účinnost kladky, uvažuji pro **systém 3:1** následující vzorec:

$$F = \frac{m}{1 + \frac{f_1}{100} + (\frac{f_1}{100} \cdot \frac{f_2}{100})} \quad (4.3)$$

4.1.3 Kladkostroj 5:1

Uvažuji rozložení sil (viz obr. 2.6d). Od pramene, kterým se vytahuje zachraňovaný se jednotlivé části lana mezi kladkami rozdělí na $F_1 - F_8$. Kladky

označují $f_1 - f_4$ a začínají s číslováním od zachraňovaného. Pro **systém 5:1** uvažují následující vzorce:

$$F_2 = 1 - \frac{f_4}{100} \quad (4.4)$$

$$F_3 = 2 - \frac{f_4}{100} \quad (4.5)$$

$$F_4 = \frac{f_2}{100} \cdot \frac{f_3}{100} \quad (4.6)$$

$$F_5 = 1 - \left(\frac{f_4}{100} \cdot \frac{f_2}{100} \right) \quad (4.7)$$

$$F_6 = 2 - \left(\frac{f_4}{100} \cdot \frac{f_2}{100} \right) \quad (4.8)$$

$$F_7 = \frac{f_5}{100} \cdot \frac{f_1}{100} \quad (4.9)$$

Po dosazení do následující rovnice:

$$F_{celk} = F_3 + F_6 + F_7 \quad (4.10)$$

Získáme následující rovnici:

$$F_{celk} = \left(2 - \frac{f_4}{100} \right) + \left(2 - \left(\frac{f_4}{100} \cdot \frac{f_2}{100} \right) \right) + \left(\frac{f_5}{100} \cdot \frac{f_1}{100} \right) \quad (4.11)$$

Po dosazení a zkrácení dostávám následující rovnici, se kterou počítám ve webové aplikaci.

$$F = \frac{m}{F_{celk}} \quad (4.12)$$

$$F = \frac{m}{4 + \frac{f_1}{100} - \frac{f_4}{100} + \left(\frac{f_2}{100} \cdot \frac{f_3}{100} \right) \cdot \left(\frac{f_4}{100} - 1 - \frac{f_1}{100} + \frac{f_1}{100} \cdot \frac{f_4}{100} \right)} \quad (4.13)$$

4.1.4 Kladkostroj 7:1

Uvažují rozložení sil (viz obr. 2.7c). Od pramene, kterým se vytahuje zachraňovaný se jednotlivé části lana mezi kladkami rozdělí na $F_1 - F_8$. Kladky označují $f_1 - f_3$ a začínají s číslováním od zachraňovaného. Pro **systém 7:1**

uvažuji následující vzorce:

$$F_2 = 2 - \frac{f_3}{100} \quad (4.14)$$

$$F_3 = 4 - \left(\frac{f_3^2}{100} + \frac{f_2}{100} \right) \quad (4.15)$$

$$F_4 = F_3 - F_2 \quad (4.16)$$

$$F_5 = \frac{f_3}{100} \quad (4.17)$$

$$F_6 = F_4 + F_5 \quad (4.18)$$

$$F_7 = F_6 \cdot \frac{f_1}{100} \quad (4.19)$$

Po dosazení do následující rovnice:

$$F_{celk} = F_3 + F_7 \quad (4.20)$$

Získáme následující rovnici:

$$F_{celk} = \left(4 - \left(\frac{f_3^2}{100} + \frac{f_2}{100} \right) \right) + \left(F_6 \cdot \frac{f_1}{100} \right) \quad (4.21)$$

Po dosazení a zkrácení dostávám následující rovnici, se kterou počítám ve webové aplikaci.

$$F = \frac{m}{F_{celk}} \quad (4.22)$$

$$F = \frac{m}{4 - \frac{f_2}{100} - \frac{f_3^2}{100} + 3 \cdot \frac{f_1}{100} - \frac{f_1}{100} \cdot \frac{f_3^2}{100} - \frac{f_2}{100} \cdot \frac{f_1}{100}} \quad (4.23)$$

- kde:
- F – vytahovaná hmotnost zachraňovaného lezce [kg]
 - m – hmotnost vytahovaného lezce [kg]
 - $F_1 - F_8$ – mezivýpočet účinnosti systému [%]
 - $f_1 - f_4$ – účinnost kladkostroje [%]

4.2 Výpočet vytažené délky lana k zachránění lezce o požadovanou vzdálenost

Při výpočtu vycházím z již vypočtených účinností systému F_{celk} .

$$l = l_{poz} \cdot F_{celk} \quad (4.24)$$

- kde:
- l – skutečná vytažená délka lana k zachráně lezce o požadovanou vzdálenost [m]
 - l_{poz} – požadovaná vzdálenost k vytažení zachraňovaného lezce [m]
 - F_{celk} – celkový výpočet účinnosti systému [%]

Závěr

V úvodu práce byl popsán základní materiál potřebný k záchraně spolulezce či klienta. Dále jsem se zaměřila na základní záchranné techniky klientů ve volném terénu či na zajištěných cestách. Popsala jsem kladkový efekt a uvedla kladkostroje se systémem 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 7:1. Stručně jsem popsala provedení nejčastěji používaných kladkostrojů.

Výstupem této práce bylo vytvořit webovou aplikaci, kde si uživatel bude moct nastavit hmotnost zachraňovaného lezce, zavést do výpočtu různé případy účinnosti kladek použitých v systému a umožní vypočítat skutečnou vytaženou délku lana k záchraně lezce o požadovanou vzdálenost. Všechny výpočty ve webové aplikaci byly shrnuty v kapitole zaměřené na výpočet.

Cílem této aplikace je umožnit uživateli jednoduše nasimulovat situaci a vypočítat jakou hmotnost bude muset vytáhnout, pokud jeho spolulezec či klient nebude moct překonat určitou pasáž, či se zraní a nebude moct pokračovat ve výstupu.

Samozřejmě záleží na mnoha dalších vlivech, které v aplikaci nejsou uvažovány. Výsledek je tedy pouze orientační. V reálném případě bude mít vliv na výslednou sílu tloušťka lana, protažení prusíku, vlhkost lana či opotřebení pomůcek zakomponovaných v systému. Také bude mít vliv na výslednou sílu úhel, pod kterým bude lano vytahováno, to samozřejmě bude záviset na pracovním prostoru.

Seznam rovníč

4.1	24
4.2	24
4.3	24
4.4	25
4.5	25
4.6	25
4.7	25
4.8	25
4.9	25
4.10.	25
4.11.	25
4.12.	25
4.13.	25
4.14.	26
4.15.	26
4.16.	26
4.17.	26
4.18.	26
4.19.	26
4.20.	26
4.21.	26
4.22.	26
4.23.	26
4.24.	27

Seznam použité literatury

- [1] Climbing school. [Online], [cit. 2022-06-01].

URL <http://www.climbingschool.cz/?bcoid=294>

- [2] Petzl How to calculate mechanical advantage. [Online], [cit. 2022-06-01].

URL <https://www.petzl.com/US/en/Professional/How-to-calculate-mechanical-advantage?ActivityName=Technical-rescue>

- [3] Rope rescue training. [Online], [cit. 2022-06-01].

URL https://roperescuetraining.com/physics_calcma_tsystem.php

- [4] Crevasse Rescue. [Online], [cit. 2022-06-01].

URL <https://www.stockalpine.com/posts/crevasse-rescue-haul-system>