

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

**VPLIV KINETIČNE ENERGIJE NA
MEHANSKE LASTNOSTI DINAMIČNIH
PLEZALNIH VRVI PRI IMPULZNI
OBREMENITVI**

Matevž Vučer

LJUBLJANA, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT
Specialna športna vzgoja
Gorništvu z dejavnostmi v naravi

**VPLIV KINETIČNE ENERGIJE NA MEHANSKE
LASTNOSTI DINAMIČNIH PLEZALNIH VRVI PRI
IMPULZNI OBREMENITVI**

Diplomsko delo

MENTOR
prof. dr. Stojan Burnik
SOMENTOR
asist. dr. Anatolij Nikonov
RECENZENT
doc. dr. Blaž Jereb
KONZULTANT
prof. dr. Igor Emri

AVTOR DELA
Matevž Vučer

LJUBLJANA, 2010

ZAHVALA

Zahvalil bi se mentorju dr. Stojanu Burniku za nasvete, usmerjanje, napotke, predvsem pa za nesebično pomoč pri izdelavi pričujočega diplomskega dela.

Zahvala gre tudi somentorju dr. Anatoliju Nikonovu za pomoč pri nastajanju diplomskega dela.

Hvala recenzentu dr. Blažu Jerebu in konzultantu dr. Igorju Emriju.

Hvala Ani, ki mi je ves čas stala ob strani in poskrbela za motivacijo, ko je to bilo najbolj potrebno.

Hvala tudi Mitju, Sebastjanu in Martinu, da smo lahko skupaj sestavili štiri peresno deteljico, ki nam je prinašala srečo in poskrbela, da je bil študij predvsem zabaven.

Hvala vsem, to delo je tudi vaše!

To delo posvečam mojemu pokojnemu očetu, Igorju Vučerju.

Ključne besede: dinamična plezalna vrv, impulzna obremenitev, kinetična energija, ujemna sila, faktor padca, disipirana energija, pojemek

Naslov: Vpliv kinetične energije na mehanske lastnosti dinamičnih plezalnih vrvi pri impulzni obremenitvi

Avtor: Matevž Vučer

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2010

Specialna športna vzgoja, Gornišтво z dejavnostmi v naravi

74 strani; 5 tabel; 15 diagramov; 16 slik; 19 virov

Izveček:

Plezalna vrv je zagotovo eden izmed najpomembnejših kosov opreme, ki se uporabljajo pri plezanju. Na tržišču je mnogo proizvajalcev dinamičnih plezalnih vrvi in še več njihovih izdelkov. Vse vrvi ustrezajo standardom, ki zagotavljajo, da so vrvi dovolj varne za uporabo pri plezanju. Vendar pa ti standardi postavljajo zahteve le v določenih pogojih. V realnosti se plezalci srečujejo z najrazličnejšimi pogoji in posledično padci, tudi obremenitve plezalnih vrvi so lahko zelo različne.

Cilj naloge je ugotoviti, ali obremenitev dinamičnih plezalnih vrvi z različnima masama pri različnih faktorjih padca ob enaki vneseni kinetični energiji različno vpliva na mehanski odziv vrvi pri impulznem obremenjevanju.

V Centru za eksperimentalno mehaniko je bila razvita analitično eksperimentalna metoda, ki omogoča preiskavo časovno odvisnega vedenja vrvi pri impulznem obremenjevanju, česar standardni preizkus ne omogoča. S to metodo sedaj lahko opazujemo različne mehanske lastnosti vrvi pri različnih pogojih, in sicer maksimalno silo, maksimalno deformacijo, elastični del deformacije, viskoplastični del deformacije, shranjeno energijo, vrnjeno energijo, disipirano energijo, odboj vrvi, spremembo pojemka in spremembo pospeška.

Z navedeno raziskovalno metodo smo preizkusili vzorce treh različnih proizvajalcev in ugotovili, da razlike med karakteristikami vrvi, ki so obremenjene z različnimi masami uteži pri enaki vneseni energiji, obstajajo pri vseh treh proizvajalcih. Pridobljeni rezultati nazorno kažejo, da bi bilo smotrno razmisliti o novih smernicah glede standardnih preizkusov.

Key words: dynamic climbing rope, impulse loading, kinetic energy, impact force, fall factor, dissipated energy, deceleration

Title: Influence of kinetic energy on the mechanical characteristics of dynamic climbing ropes exposed to impulse loading

Author: Matevž Vučer

University of Ljubljana, Faculty of sport

Special physical education, Mountaineering with activities in nature

74 pages; 5 tables; 15 diagrams; 16 pictures; 19 sources

Abstract:

Climbing rope is certainly one of the most important pieces of climbing equipment. On market there are many manufacturers of dynamic climbing ropes and even more of their products. All the ropes meet the requirements of the standards, which ensure that the ropes are safe enough for use in climbing. However the requirements are set only under certain conditions. In reality climbing ropes are exposed to various conditions that are many times different to those set by the standards. Consequently there are many different falls, which lead to very different loads of impact.

The aim of this dissertation is to determine whether the different load weight with the same kinetic energy inserted into the rope influences on mechanical response of the dynamic climbing rope exposed to impulse loading.

The experimental method, developed in Centre for Experimental Mechanics, enables examination of the time-dependent behaviour of ropes exposed to impulse loading, which is impossible with standard testing. By using this method, it is possible to determine several mechanical characteristics of climbing ropes exposed to different loads, which are impact force, maximal deformation, elastic component of deformation, visco-plastic component of deformation, stored energy, returned energy, dissipated energy, rebound, change of deceleration and change of acceleration.

With test method of testing rope samples made by three different manufacturers we discovered that there are differences between all three manufacturers. This leads us to a suggestion that standards should be improved.

KAZALO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. UVOD | 10 |
| 1.1. SPLOŠNO | 10 |
| 1.2. OPIS TER STRUKTURA PLEZALNIH VRVI IN MATERIALA | 13 |
| 1.2.1. RAZVRSTITEV VRVI | 13 |
| Dinamične | 13 |
| Polstatične | 13 |
| Statične | 13 |
| 1.2.2. VRSTE DINAMIČNIH VRVI | 14 |
| Enojne vrvi | 14 |
| Dvojna vrv ali polovična vrv | 15 |
| Dvojček | 16 |
| 1.2.3. MATERIALI ZA IZDELAVO PLEZALNIH VRVI | 16 |
| 1.2.4. ZGRADBA PLEZALNE VRVI | 17 |
| Jedro vrvi | 17 |
| Plašč vrvi | 18 |
| 1.3. STANDARDI IN KARAKTERISTIKE PLEZALNIH VRVI | 19 |
| 1.3.1. STANDARD EN 892 | 20 |
| Kratek pregled osnovnih informacij | 20 |
| Namen standarda EN 892 | 21 |
| Normativni napotki | 21 |
| Testne metode standarda EN 892 | 21 |
| Definicije pojmov v standardu EN 892 | 22 |
| 1.3.2. TEHNIČNE KARAKTERISTIKE DINAMIČNIH PLEZALNIH VRVI, OPREDELJENE V STANDARDU EN 892 | 23 |
| Ujemna sila | 23 |
| Število padcev do pretrga | 24 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Faktor padca | 24 |
| Raztezek | 25 |
| Premer in teža vrvi | 25 |
| Zamik plašča | 26 |
| Vozljivost | 26 |
| 1.3.3. VARNOSTNE ZAHTEVE, KI JIH MORAJO IZPOLNJEVATI VRVI, DA USTREZAJO STANDARDU EN 892 | 27 |
| 2. PROBLEM IN PREDMET RAZISKAVE | 28 |
| 2.1. PROIZVAJALCI PLEZALNIH VRVI NA TRGU | 28 |
| 2.2. PLEZANJE IN UPORABA PLEZALNIH VRVI PRI RAZLIČNIH POGOJIH IN V RAZLIČNIH OKOLJIH | 30 |
| 3. DEFINICIJA IN CILJ NALOGE | 35 |
| 4. HIPOTEZE | 36 |
| 5. METODE DELA | 37 |
| 5.1. VZOREC MERJENCEV | 37 |
| 5.2. VZOREC SPREMENLJIVK | 38 |
| 5.3. OPIS PRINCIPA MERITEV | 38 |
| 5.4. MERILNA VERIGA | 42 |
| 5.4.1. OBREMENJEVALNI DEL | 42 |
| Konzola | 42 |
| Merilno zaznavalo | 42 |
| Dvigalo | 43 |
| Jeklenica | 43 |
| Uteži | 43 |
| Zaščitna oprema | 43 |
| 5.4.2. ZAJEMALNO - ANALITIČNI DEL | 45 |
| Ojačevalec | 45 |

| | |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| A/D pretvornik | 45 |
| Program za zajem podatkov | 45 |
| Program za obdelavo podatkov | 46 |
| 5.5. PRIPRAVA VZORCEV | 47 |
| 5.5.1. RAZREZ VRVI | 47 |
| 5.5.2. IZDELAVA ZANK | 48 |
| 5.5.3. OZNAČEVANJE VZORCEV | 48 |
| 5.6. MERILNI POSTOPEK | 50 |
| 5.6.1. ČASOVNI PLAN IZVAJANJA MERITEV | 53 |
| 5.6.2. POTEK PREIZKUSA | 53 |
| 5.7. POSTOPEK OBDELAVE REZULTATOV | 55 |
| 6. REZULTATI MERITEV IN ANALIZA | 56 |
| 6.1. NAJVEČJA UJEMNA SILA V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV | 57 |
| 6.2. NAJVEČJI RAZTEZEK V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV | 59 |
| 6.3. SHRANJENA ENERGIJA V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV | 61 |
| 6.4. DISIPIRANA ENERGIJA V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV | 64 |
| 6.5. SPREMEMBA POJEMKA V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV | 67 |
| 7. ZAKLJUČEK | 70 |
| 8. LITERATURA | 72 |

1. UVOD

1.1. SPLOŠNO

Šport se zelo hitro razvija in na vsakem koraku doživlja napredek, tako v smislu razvoja opreme, kot tudi v smislu povečevanja ljudi, ki se s športom ukvarjajo. Sem sodi tudi plezanje, ki v zadnjem času doživlja skokovit razvoj. Vedno več ljudi se ukvarja s to športno panogo, mnogim med njimi pa plezanje pomeni način življenja. Poznamo več vrst plezanja, v grobem ga lahko razdelimo na dve veliki skupini, in sicer na športno plezanje in alpinizem oziroma alpinistiko. Športno plezanje velja za najvarnejšo obliko plezanja, med tem ko je alpinizem z vidika varnosti nekoliko bolj tvegan.

Športno plezanje lahko definiramo kot varno prosto skalno plezanje. Je najbolj priljubljena in najvarnejša oblika plezanja, ki se je v Sloveniji od alpinizma odcepila v začetku 80. let. Zaradi varnosti je primerna za vse udeležence, tudi za otroke. Športno plezanje delimo na balvansko plezanje, plezanje kratkih in plezanje dolgih smeri. Pri balvanskem plezanju plezalec pleza brez vrvi, za varovanje skrbijo mehke blazine pod balvani. Pri plezanju kratkih in dolgih smeri pa je za varovanje poskrbljeno z vrvjo, ki jo preko sistema vponk vpenjamo v svedrovce (Leskošek et al, 2003).

Alpinizem oziroma alpinistika je zelo širok pojem in po definiciji Slovarja slovenskega knjižnega jezika pomeni vzpenjanje na visoke vrhove po nezavarovanih, nezaznamovanih smereh (ZRC SAZU). Velja za bolj tvegano obliko plezanja zaradi precej večjih objektivnih nevarnosti, ki pretijo plezalcu oziroma navezi pri plezanju. Vse te nevarnosti se da s primerno pripravo na vzpon in ravnanjem med samim vzponom dokaj uspešno zmanjšati oziroma se jim lahko uspešno izognemo. Kljub vsemu pa povečujejo tveganje oziroma možnost za padec plezalca in s tem nastanek poškodb ali celo smrti.

Večini tistih, ki se ukvarjajo s plezanjem, ta šport predstavlja izziv, a zaradi velikega tveganja za padec in s tem nastanek poškodb ali celo smrti so ljudje pri plezanju začeli uporabljati ključni varnostni element, vrv.

Namen plezalne vrvi si lahko predstavljamo kot vez, ki povezuje plezalca z življenjem. Njen osnovni namen v vsej zgodovini je bil, in še vedno je, preprečevati hujše poškodbe ali celo smrt pri padcih v stenah, to pa naj bi bilo zagotovljeno z mehanskimi lastnostmi vrvi, ki jih morajo proizvajalci plezalnih vrvi zagotoviti v okviru obstoječih standardov.

Vrvi so se skozi zgodovino spreminjale. Prve vrvi so bile narejene iz naravnih materialov, največkrat iz vlaken konoplje in manile. Zaradi takšne sestave so bile precej toge, podvržene gnitju in posledično tudi nevarne. Poleg tega je bila tudi izdelava takratnih vrvi slaba. Večinoma so bile sestavljene iz treh ali štirih pramenov, ki so bili zaviti ali pa položeni eden ob drugega. Obstajala pa je tudi trdna zgradba vrvi v obliki kite, ki je sicer omogočala lažje rokovanje z vrvjo na račun slabše odpornosti proti obrabi in poškodbam. Mnoge izmed vrvi, ki so jih včasih uporabljali za plezanje pa so bile tudi zelo tanke.

Do velikega napredka je prišlo med drugo svetovno vojno, ko je v industriji začelo primanjkovati naravnih vlaken. V tem času je podjetje Du Pont razvilo prvo poliamidno sintetično vlakno, ki so ga poimenovali Nylon. S tem je bil narejen velik korak v smeri varnosti in tehničnega napredka v industriji plezalnih vrvi (Soles, 1995).

Tako so plezalci končno dobili lahko, elastično vrv, ki je omogočala manj usodne padce vodilnega plezalca ter tako za dalj časa postala standardna vrv v alpinizmu. Toda tudi te vrvi niso bile povsem brez napak, saj so bile preveč raztegljive. Ko je plezalec visel v zraku, so se prameni odvijali, kar je povzročalo vrtenje plezalca. Druga slabost je bila trdota vrvi, ki je onemogočala dobro rokovanje z vrvjo. Hitro je vpijala vodo ter s tem bila izpostavljena hitremu zmrzovanju. Morda največja pomanjkljivost teh vrvi pa je bila odsotnost zaščitnega plašča, saj je vrv sestavljalo samo jedro. Tako je bila vrv močno izpostavljena obrabi, kar je hitro privedlo do opaznega zmanjšanja trdnosti (Soles, 1995).

Šele leta 1951 je podjetje Edelrid kot prvo predstavilo vrv v oplaščeni izvedbi (kernmantel). Sestavljena je iz notranjega dela ali jedra, ki nosi težo, in zunanjega dela, imenovanega plašč, katerega glavna naloga je ščititi nosilno

jedro vrvi pred zunanji, mehanski vplivi. Te vrvi so se hitro uveljavile in popolnoma zamenjale svoje predhodnice. Danes le tako zgrajene vrvi lahko dobijo potrdilo o ustreznosti, ki ga izda UIAA, Mednarodna zveza alpinističnih organizacij (Union Internationale des Associations d'Alpinisme), ki je bila ustanovljena leta 1932.

Kot smo že omenili, se s plezanjem ukvarja vse več ljudi. Lahko jih opredelimo kot uporabnike plezalnih vrvi, ki pa so si med seboj lahko zelo različni. Opazen je porast obiska športno plezalnih šol in tečajev, tudi zanimanje za alpinistične šole je precejšnje. Iz tega lahko sklepamo, da je rekreativnih plezalcev zelo veliko. Plezanje se v zadnjem času vse bolj uveljavlja tudi v šolah kot sestavni del vsebin pri športni vzgoji, ob novogradnji športnih dvoran in šol se stremi tudi k postavitvi plezalni stene.

Glede na zgoraj napisano je očitno, da je potrebno na tržišču zagotoviti dovolj varno plezalno vrv, ki bo uspešno kljubovala tako velikemu številu različnih vplivov in bo enako varna za vsakega uporabnika, naj bo to alpinist, športni plezalec ali otrok v šoli. To poskušajo doseči z enotnim standardom EN 892, ki je enak za vse proizvajalce plezalnih vrvi na trgu. Vsaka vrv, ki ustreza tem standardom, se smatra za dovolj varno za varovanje pri plezanju.

1.2. OPIS TER STRUKTURA PLEZALNIH VRVI IN MATERIALA

1.2.1. RAZVRSTITEV VRVI

V splošnem delimo vrvi glede na njihove mehanske lastnosti. Tako poznamo dinamične, polstatične in statične. Dinamične vrvi delimo še glede na področje njihove uporabe.

Dinamične

To so vrvi, ki jih uporabljamo za varovanje pri plezanju in gorništvu. Njihova glavna značilnost je, da omogočajo raztezek vrvi, ki poskrbi, da je morebiten padec plezalca amortiziran. Te vrvi so namreč zgrajene tako, da z načinom prepletanja vlaken in mehanskimi lastnostmi materiala, iz katerega so zgrajene, dosežemo, da se vrv ob obremenitvi raztegne in s tem absorbira energijo pri padcu.

Polstatične

To so vrvi, ki se uporabljajo v jamarstvu, reševanju, pri delu na višini itd., v plezanju pa le pri nadelovanju smeri, kjer služijo za vzpenjanje ob že pritrjeni vrvi. Njihova glavna značilnost je majhen raztezek, vendar pa še vedno dovolj velik, da v zadostni meri absorbira energijo padca s faktorjem padca 0,3. (http://www.bealplanet.com/portail-2006/index.php?page=normes_static&lang=us)

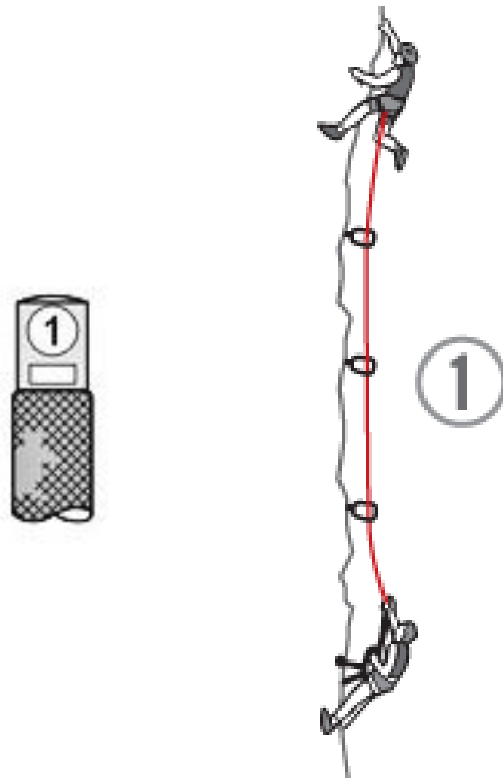
Statične

To so vrvi z majhnim premerom iz kevlarja. Kljub majhnemu premeru imajo veliko pretržno silo. Te vrvi imajo raztezek okoli nič odstotkov, zato niso primerne za plezanje, večinoma pa se uporabljajo kot rezervna vrv, največkrat za spuščanje po vrvi.

1.2.2. VRSTE DINAMIČNIH VRVI

Enojne vrvi

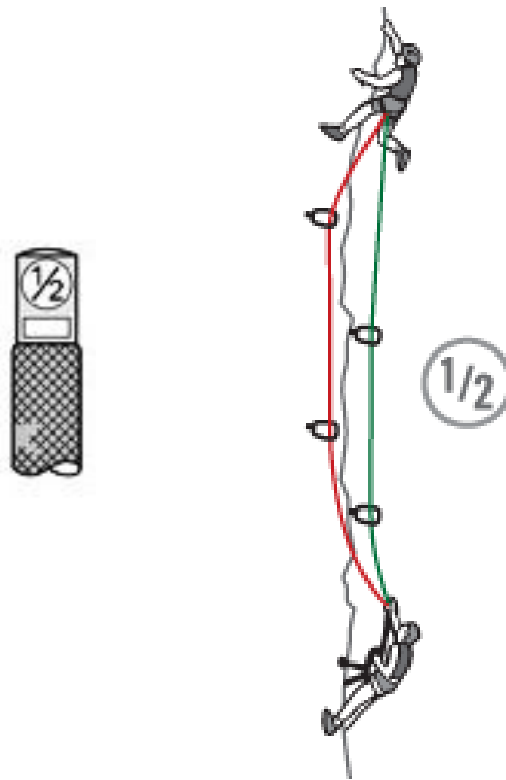
Enojna vrv (single rope) je najbolj uporabljana vrv, saj se pri plezanju uporablja le en pramen vrvi, zato je bolj pregledna, se manj zatika in je lažja za rokovanje. Najbolj se uporablja v športnem plezanju, čedalje bolj pa tudi pri plezanju daljših smeri. Fizično taka vrv zgloda kot samostojna celota, ki jo vpenjamo v varovala in ima premer, ki se giblje med 11 in 9,1 mm. Ta tip vrvi je tudi predmet celotnega diplomskega dela, zato bo tudi v nadaljevanju največ govora o enojni vrvi.



Slika 1: Označba in način plezanja z enojno vrvjo (vir: www.rocaropes.com)

Dvojna vrv ali polovična vrv

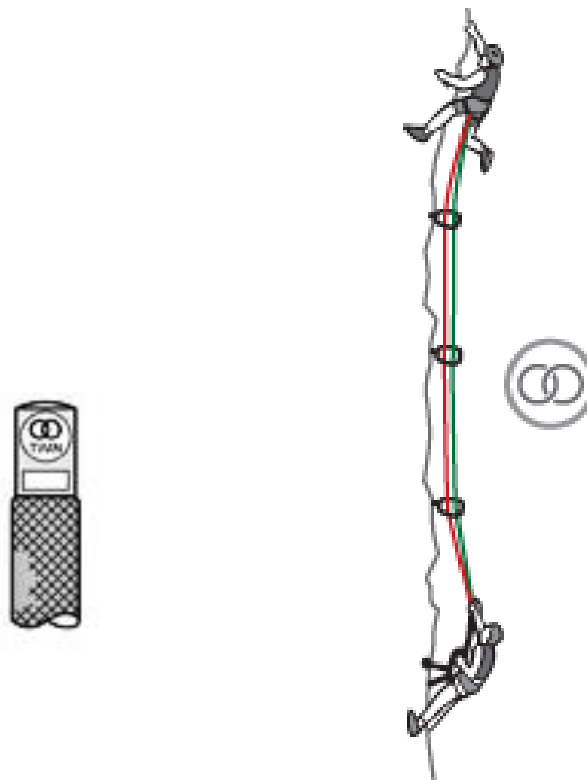
Dvojno vrv (double rope) ali polovično vrv (half rope) lahko umestimo med enojno vrv in dvojčka, odvisno od načina uporabe. Pri plezanju moramo vedno uporabljati dva pramena takšne vrvi, ki ju lahko vpenjamo posebej ali pa tudi skupaj. Na tržišču obstajajo polovične vrvi debeline med 7,9mm in 9mm. Prednost te vrvi je v tem, da omogoča določeno varnostno rezervo in se zato uporablja predvsem pri plezanju dolgih in zahtevnih smeri.



Slika 2: Označba in način plezanja z dvojno ali polovično vrvjo (vir: www.rocaropes.com)

Dvojček

Dvojček (twin rope) zglada podobno kot dvojna oziroma polovična vrv, le da je nekoliko tanjši, saj je večinoma na voljo debeline okoli 8mm. Glavna značilnost dvojčka je, da moramo vpenjati obe vrvi skupaj, njegove prednosti pa so večja trdnost (v primeru uporabe dveh vrvi hkrati), majhna teža in dobro prenašanje obremenitev na skalnih robovih.



Slika 3: Označba in način plezanja z dvojčkom (vir: www.rocaropes.com)

1.2.3. MATERIALI ZA IZDELAVO PLEZALNIH VRVI

Trenutno se moderne plezalne vrvi izdelujejo iz polimera, imenovanega "nylon 6", ki zagotavlja dobre mehanske lastnosti vrvi. Nylon 6 ima tudi dobre fizikalne, termične in kemične lastnosti, ter dobro odpornost proti utrujanju, obrabi in mikroorganizmom. Vpliv ultravijolične svetlobe na razpadanje nylona 6 je veliko manjše kot pri ostalih polimerih, vendar pa je vlakna kljub vsemu potrebno zaščititi pred dolgoročnim izpostavljanjem sončni svetlobi (Burnik, Jereb, Simonič, 2004).

Ima pa nylon 6 tudi nekaj slabih lastnosti. Mehanske lastnosti nylona 6 se znatno slabšajo pri povečani vlažnosti in absorpciji vode. Vsebnost vode materialu zniža temperaturo steklastega prehoda T_g , kar ima enak učinek kot da bi material segreli. Mokrim vrvem se tako zmanjša trdnost, kar se odrazi v zmanjšanju števila padcev, ki jih vrv zdrži do pretrga, poleg tega pa se pri obremenitvi poveča ujemna sila. Mokra vrv pri sobni temperaturi ima podobne lastnosti, kot suha vrv pri temperaturi okoli 70° do 80°C. Na mehanske lastnosti nylona 6 in posledično plezalnih vrvi vpliva tudi temperatura. Z višanjem temperature se mehanske lastnosti nylona 6 zmanjšujejo (Henkel, Schmid, Spierings, 2007).

1.2.4. ZGRADBA PLEZALNE VRVI

Moderne plezalne vrvi so narejene iz več polimernih niti, ki tvorijo dva osnovna dela vrvi – jedro in plašč.

V sredini jedra vrvi je trak z osnovnimi podatki o vrvi: ime vrvi, premer, vrsta vrvi, številka standarda in leto proizvodnje. Leto proizvodnje lahko določimo tudi po barvi sredinskega traku (vsako leto od 00 do 09 ima svojo barvo). Sredinski trak obdaja jedro. Zunanji plašč vrvi pa obdaja in ščiti jedro.

Jedro vrvi

Jedro vrvi je lahko narejeno s postopkom prepletanja ali pa je narejeno iz navitkov. Jedro iz navitkov tvorijo polimerna vlakna, ki so navita v navitke. Najmanj trije navitki naviti skupaj tvorijo osnovno vrvico jedra. Število vrvic v jedru

je odvisno od premera vrvi. Vrvice jedra so lahko navita v sourni ali protiurni smeri, kar povzroča torzijsko zvijanje vrvic v dveh navedenih smereh. Jedro vrvi je sestavljeno iz kombinacije obeh načinov navitja vrvic, da se prepreči torzijsko zvijanje celotne vrvi.

Prepletena jedra so sestavljena iz več vrvic, ki so medsebojno prepletene po celotni dolžini vrvi. Danes se prepletene plezalne vrvi zelo redko izdelujejo in uporabljajo, saj jedra iz navitkov dajejo veliko boljše rezultate.

Plašč vrvi

Plašč vrvi obdaja in ščiti jedro vrvi. Plašč je lahko stkan ohlapno ali tesno, iz manjšega ali večjega števila S ali Z navitih vlaken, kvaliteta plašča pa je v določeni meri odvisna tudi od stroja, s katerim se navija vlakna. Število navitkov v plašču vrvi bistveno vpliva na njene lastnosti. Ob enakem premeru vrvi daje večje število navitkov boljše dinamične lastnosti, medtem ko manjše število navitkov daje boljšo odpornost proti drgnjenju in obrabi (Burnik, Jereb, Simonič, 2004).

Namen plašča pa ni le zaščita vrvi, saj pri padcu plezalca plašč lahko prevzame tudi do 40% vse sile ob obremenitvi, poleg tega pa pri padcu čez rob večino sile prevzame plašč. Zato je pomembno tudi, iz kakšnega oziroma kako odpornega materiala je zgrajen plašč vrvi. Raziskave so pokazale, da se vrv največkrat menja prav zaradi obrabe plašča vrvi oziroma poškodb le tega. Obraba in poškodbe plašča namreč občutno zmanjšata trdnost vrvi (Stritar, 2004).

Vrvi z boljšimi dinamičnimi lastnostmi imajo ponavadi 48 navitkov v plašču in večji premer jedra. Vrvi z boljšo odpornostjo proti drgnjenju in obrabi imajo ponavadi okoli 32 navitkov v plašču, vendar pa se jim dinamične lastnosti zaradi manjšega premera jedra poslabšajo.

1.3. STANDARDI IN KARAKTERISTIKE PLEZALNIH VRVI

Standardi so zapisani sporazumi, ki temeljijo na priznanih rezultatih znanosti, tehnike in izkušenj. Njihov namen je doseči optimalne koristi za skupnost. Z njihovo uporabo je mogoče racionalizirati proizvodnjo in omogočiti večjo združljivost različnih izdelkov. S tem se doseže neko stopnjo urejenosti na področju, kjer se določen standard uporablja. Na področju gornišva tako standardi poskrbijo, da so pripomočki v uporabi narejeni v mejah, ki jih standard določa in s tem omogoča določeno kvaliteto in varnost teh izdelkov. V standardih najdemo tehnične specifikacije in druga natančna merila, pravila, navodila, preizkusne postopke ter definicije (Simonič, 2003).

Na mednarodni ravni so v splošni uporabi trije standardi. Prva dva se uporabljata na področju elektrotehnike (IEC) in telekomunikacij (ITU), tretji pa je pod okriljem Mednarodne organizacije za standardizacijo (ISO). ISO je nevladna mednarodna organizacija, ki obravnava vsa področja razen elektrotehnike in telekomunikacij. Rezultat dela te organizacije so mednarodni standardi, ki nosijo oznako ISO (na področju gornišva na primer ISO 9000) (Simonič, 2003).

Na področju Evrope se standardizacija deli na tri institucije. Dve pokrivata področje elektrotehnike in telekomunikacij, tretja (CEN) pa vsa ostala področja. CEN je Evropski komite za standardizacijo ter ima za nalogo spodbujanje prostovoljne standardizacije in povezovanje evropske standardizacije z mednarodno. CEN pripravlja evropske standarde EN (Europäische Norm) na vseh področjih in skrbi za harmonizacijo le-teh. Te standarde pripravljajo posebne tehnične komisije. Znotraj evropskih standardov, se pojavlja še oznaka prEN (provisional standard), ki pomeni, da ta standard temelji na nekem predhodnem standardu, ter ga kasneje potrdijo kot samostojen standard (EN). V gorništvu imamo tak standard EN 892, ki temelji na predhodnem standardu, ki ga je izdelala UIAA (Simonič, 2003).

Tako dobijo vsi izdelki, ki ustrezajo zahtevam EN, ki jih postavlja CEN, oznako CE. Oznaka CE pomeni, da proizvod, ki nosi to oznako, dosega zahteve določenega EN (EN 892:2004).

Na področju standardizacije, ki vključuje gorniško in plezalno opremo, obstaja še samostojna nevladna organizacija UIAA, ki je preko svoje varnostne komisije izdelala vrsto standardov. Prvi tak standard je pokrival področje plezalnih vrvi. Izdelan je bil že pred približno petdesetimi leti in je z dopolnitvami v uporabi še danes. Vsi izdelki na področju plezanja in gorništvu, ki dosegajo določene zahteve glede kvalitete in varnosti, so označeni z uradno oznako UIAA.

Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST) je mednarodno priznana institucija, ki v Sloveniji skrbi za področje standardizacije. Naloga SIST je skrbeti, da so nacionalni standardi pripravljene po ustreznem postopku, ter urejati sodelovanje z mednarodnimi organizacijami (Simonič, 2003).

1.3.1. STANDARD EN 892

Po veljavni evropski zakonodaji mora biti vsa oprema, ki je namenjena zaščiti pred padci z višine, zdrsni in zaščiti glave, izdelana v skladu z določenimi standardi. Ti standardi imajo oznako EN in nato ustrezno pripadajočo številko. Plezalna vrv in druga plezalna oprema mora izpolnjevati minimalne zahteve, ki jih določajo ti standardi. Za dinamične vrvi, ki se uporabljajo pri plezanju, so zahteve navedene v standardu EN 892, ki je bil osnovan na podlagi standarda Komisije za varnost pri UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme – Mednarodna zveza alpinističnih organizacij).

Kratek pregled osnovnih informacij

Standard EN 892 je bil sprejet 20.06.1996 in potrjen s strani CEN. CEN je evropski komite za standardizacijo, ki zajema pod svoje okrilje več članic. Vse njegove članice morajo upoštevati interna pravila CEN-a ter se obvezati, da jih bodo spoštovale brez kakršnih koli sprememb. Veljavni seznam nacionalnih standardov, skupaj z njihovimi bibliografskimi podatki, je na voljo v osrednjem tajništvu CEN. Standard EN 892 je izdelal tehnični odbor CEN/TC 136 za šport, naprave na igriščih in druge pripomočke za prosti čas (Simonič, 2003).

Besedilo standarda temelji na UIAA standardu ter spada v skupino standardov za gorniško opremo. Obstajajo tri uradne verzije standarda EN 892

(angleška, nemška, francoska), CEN pa omogoča članicam tudi prevod v lastni jezik, ki ga nato pregleda in overovi osrednje tajništvo CEN-a. S potrditvijo standarda s strani tajništva postane prevod uradno veljaven (Simonič, 2003).

Članice CEN-a so nacionalni uradi za standardizacijo v sledečih državah: Belgija, Danska, Nemčija, Finska, Islandija, Italija, Nizozemska, Norveška, Avstrija, Portugalska, Švedska, Švica, Španija in Anglija (Simonič, 2003).

Namen standarda EN 892

Standard EN 892 določa varnostne zahteve in način testiranja dinamičnih plezalnih vrvi (enojna vrv, dvojna vrv in dvojček) v oplaščeni izvedbi (kernmantel), ki jih uporabljamo v gorništvu in alpinizmu.

Normativni napotki

Ti napotki določajo normative iz drugih področij, ki omogočajo korektno in s tem vedno enako izvajanje testiranj. Zahtevane normative določajo spodaj navedeni standardi:

- EN 20139 (standardne klimatske razmere za pripravo vzorcev in preizkušanje),
- ISO 1052 (jekla za splošne konstrukcijske namene),
- ISO 6487 (Cestna vozila-merilne tehnike pri preizkušanju trkov; merilna oprema).

Testne metode standarda EN 892

V standardu EN 892 so postopki za opravljanje testov predpisani za vsako karakteristiko posebej.

Za test največje ujemne sile, števila padcev do pretrga in dinamičnega raztezka je predpisana višina padca 4,80 metra in obremenitev z maso 80 kilogramov za enojne vrvi in dvojčke (obremenjeni sta dve vrvi) ter 55 kilogramov za dvojne vrvi. Polmer roba, preko katerega vrv pade, znaša 5 mm. Faktor padca pri tem testu znaša 1,77.

Preizkus statičnega raztezka se izvede tako, da vrv najprej obremenimo s 5 kilogramsko utežjo, nato pa še z 80 kilogramsko utežjo. Razlika v dolžini vrvi med obema obremenitvama nam poda vrednost statičnega raztezka.

Preizkus zamika plašča poteka na 2 metrskem vzorcu, ki je vpet v tri zamaknjene čeljusti, vsaka od njih vrv stisne s silo 50 N tako, da so razporejene enakomerno v vse smeri, pod kotom 120° ena na drugo. Preden se odčita zamik plašča, je potrebno vrv povleči petkrat za 2 metra.

Glede debeline in teže vrvi ne obstaja nobenih omejitev, so pa predpisani standardni postopki meritev teh dveh lastnosti.

Poleg vsega naštetega standard tudi predpisuje posebno označevanje enojnih, polovičnih vrvi in dvojčkov (EN 892:2004).

Definicije pojmov v standardu EN 892

- Dinamična plezalna vrv: vrv, ki zdrži prosti padec plezalca z majhno ujemno silo.
- Enojna vrv: plezalna vrv, ki omogoča plezanje le z eno vrvjo in kot člen varovalnega sistema vzdrži padec enega človeka.
- Dvojna vrv: plezalna vrv, namenjena plezanju z dvema vrvema, ki kot člen varovalnega sistema vzdržita padec enega človeka.
- Dvojček: plezalna vrv namenjena plezanju z dvema vrvema (vedno oba pramena vpenjamo skupaj), ki kot člen varovalnega sistema vzdržita padec enega človeka.
- Oplaščena (kernmantel) vrv: vrv, ki je narejena iz jedra in plašča.

1.3.2. TEHNIČNE KARAKTERISTIKE DINAMIČNIH PLEZALNIH VRVI, OPREDELJENE V STANDARDU EN 892

Ujemna sila

Ujemna sila je ena od najpomembnejših karakteristik plezalnih vrvi. Pri padcu plezalca prevzame energijo padca sistem varovanja, v največji meri je to prav plezalna vrv. Ko vrv zadrži padec plezalca, ob tem absorbira večino sile, preostanek sile, ki deluje na plezalca, pa imenujemo ujemna sila.

Pri standardnih preizkusih za ujemno silo je vrv izpostavljena pogojem, ki ponavadi pri plezanju niso prisotni: kovinska utež, fiksno sidrišče, statično pritrjena vrv. V teh pogojih vso energijo prevzame vrv, medtem ko pri plezanju nekaj energije padca prevzamejo trenje, plezalni pas, deformacija človeškega telesa. Standardni preizkus tako predstavlja največjo ujemno silo v vrvi.

Pretekle raziskave so pokazale, da se z večanjem števila padcev sposobnost absorpcije energije v vrvi zmanjšuje. To pomeni, da ujemna sila z večanjem števila padcev narašča (Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič, 2008, Udovč, 2005; Kofler, Perger, 2006; Svet, 2007; Tehovnik, 2007).

Majhna ujemna sila je pomembna tudi pri analizi zadnjega pritrdišča. Padec plezalca zadrži zadnje pritrdišče vrvi, pri čemer nanj delujeta tako ujemna sila plezalca pri padcu, kot sila, ki jo zadrži varovalec, ko zaustavlja padec. Sila, ki jo zadrži varovalec, je manjša kot ujemna sila zaradi trenja med vrvjo in vponko ter kota, ki ga objame potek vrvi v zadnjem pritrdišču. Skupna sila, ki deluje na pritrdišče, je tako pri manjši ujemni sili manjša, kar je ugodno z vidika varnosti. Manjša ujemna sila pomeni tudi manjše obremenitve na vponke, pritrdišča, sidrišče in varovalca.

Število padcev do pretrga

Število padcev do pretrga nam pove, koliko zaporednih padcev (pod pogoji, ki jih določa standard) še zdrži testirana vrv.

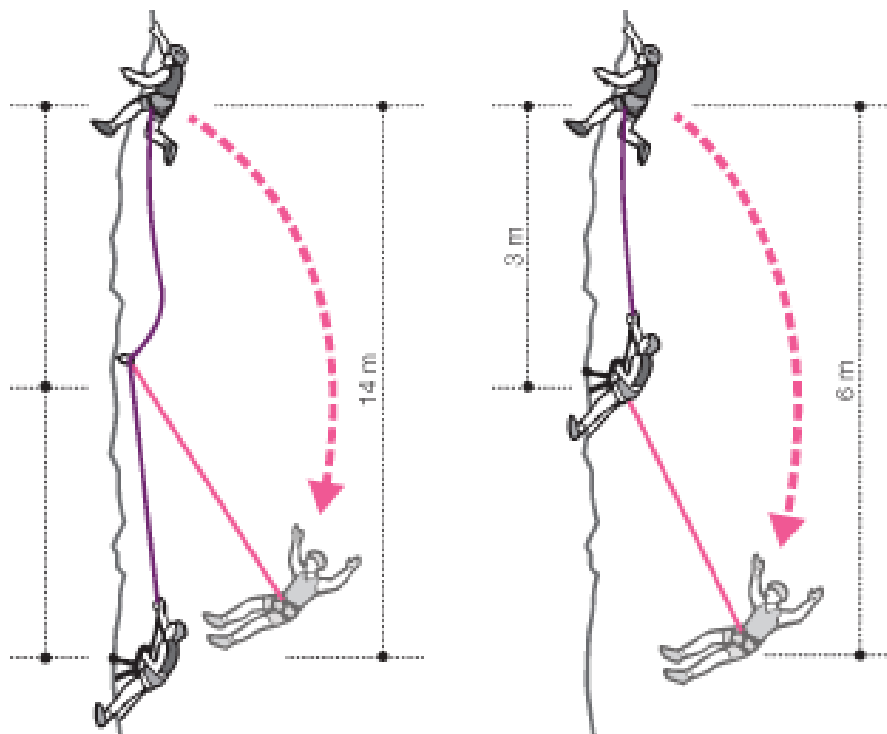
Faktor padca

Faktor padca določa težavnost padca. Večji, kot je faktor padca, težavnejši je padec. Pri plezanju lahko faktor padca zavzame vrednosti med 0 in 2. Teoretični faktor padca f je definiran z naslednjim razmerjem:

$$f = \frac{h}{l},$$

kjer je h višina padca in l dolžina vrvi v uporabi.

Težavnost padca ne določa njegova višina, temveč razmerje med višino padca in dolžino vrvi v uporabi – daljša vrv se bolj raztegne in s tem omogoča boljšo absorpcijo energije padca. Teoretični faktor padca predpostavlja, da ni trenja med varovalcem in najvišjim pritrdiščem, kar omogoča, da celotna dolžina vrvi v uporabi prevzame energijo.



Slika 4: Primer padca faktor 1 (levo) in faktor 2 (desno) (vir: www.rocaropes.com)

Raztezek

Ko govorimo o statičnem raztešku vrvi (static elongation), imamo v mislih podatek, ki nam pove, za koliko se bo vrv pri statični obremenitvi 80 kilogramov raztegnila. Raztezek omogoča dinamični plezalni vrvi, da absorbira energijo padca. Tako je zahteva po omejevanju raztezka precej v nasprotju z zahtevo po čim manjši ujemni sili, kar predstavlja proizvajalcem veliko oviro.

Dinamični raztezek enojne vrvi nam pove, koliko se vrv raztegne ob zadržanju prvega padca pri obremenitvi z maso 80 kilogramov.

Premer in teža vrvi

To sta osnovna podatka, ki ju plezalci največkrat najprej pogledajo. Teža vrvi nam ne pove le, koliko je določena vrv težka, ampak je tudi dober pokazatelj, koliko materiala je uporabljenega v vrvi. Kritično glejmo na vrv, za katero proizvajalec podaja majhno težo in veliko število padcev. Skoraj vedno so težje vrvi tudi tiste, ki zdržijo več padcev. Debelejše vrvi imajo praviloma daljšo življenjsko dobo, kot tanjše, obenem pa so težje in bolj okorne za uporabo. Zato

je potrebno glede na naše cilje in želje izbrati vrv, ki bo optimalna tako glede teže, kot tudi glede njenih dinamičnih lastnosti.

Zamik plašča

Zamik plašča (sheath slippage) nam pove, ali prihaja do drsenja med jedrom in plaščem vrvi.

Vozljivost

Faktor vozljivosti dobimo iz razmerja med notranjim premerom vozla na vrvi in premera vrvi. Ta podatek nam pove, kakšne lastnosti ima plašč vrvi. Nižja, kot je vrednost K, mehkejši je plašč vrvi. Če pa to vemo, lahko takoj ocenimo, za kakšno uporabo je taka vrv bolj primerna. Tako imajo vrvi, namenjene plezanju v vodstvu, mehkejši plašč, vrvi, namenjene plezanju z varovanjem z vrha ali v plezališčih pa trši plašč.

1.3.3. VARNOSTNE ZAHTEVE, KI JIH MORAJO IZPOLNJEVATI VRVI, DA USTREZAJO STANDARDU EN 892

1. **Zgradba vrvi:** plezalne vrvi morajo biti izdelane v oplaščeni izvedbi in to tako, da jedro prispeva najmanj 50 odstotkov celotne mase vrvi.
2. **Koeficient vozljivosti (K):** togost vrvi mora biti tolikšna, da pri preizkusu ne preseže mejne vrednosti 1.1.
3. **Zamik plašča** proti jedru po petih zaporednih vlekah na 2 metra dolgem vzorcu ne sme biti večji od 20 mm ali 1%.
4. **Raztezek**

Statični raztezek ne sme biti večji od spodaj navedenih normativov:

 - 10% za enojne vrvi (ena vrv),
 - 12% za dvojne (polovične) vrvi (ena vrv),
 - 12% za dvojčka (dve vrvi).

Dinamični raztezek ne sme presegati naslednjih vrednosti:

 - 40% za enojne in dvojne (polovične) vrvi (ena vrv),
 - 40% za dvojčka (dve vrvi).
5. **Ujemna sila:** pri preizkusu največja ujemna sila ob prvem padcu ne sme preseči spodaj navedenih normativov:
 - 12 kN za enojne vrvi (ena vrv),
 - 8 kN za dvojne vrvi (ena vrv),
 - 12 kN za dvojčka (dve vrvi).
6. **Število padcev do pretrga:**
 - vsaj 5 padcev za enojne in dvojne (polovične) vrvi (ena vrv),
 - vsaj 12 padcev za dvojčka (dve vrvi).

2. PROBLEM IN PREDMET RAZISKAVE

2.1. PROIZVAJALCI PLEZALNIH VRVI NA TRGU

Na trgu obstaja veliko proizvajalcev plezalnih vrvi. Na evropskem tržišču jih je precej, nekaj jih je pa tudi na področjih izven Evrope, ki na evropskem tržišču niso prisotni. V tabeli 1 so prikazani vsi pomembnejši proizvajalci dinamičnih plezalnih vrvi na trgu ter podatek, kakšne vrste dinamičnih vrvi proizvajajo in njihove debeline (podatki so pridobljeni s spletnih strani proizvajalcev).

Tabela 1

Proizvajalci dinamičnih vrvi ter tipi njihovih proizvodov

| Proizvajalec | Vrste dinamičnih vrvi | debeline |
|----------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Edelrid (www.edelrid.de) | enojne | 9,4 – 11,0 mm |
| | polovične | 7,8 – 8,5 mm |
| | dvojčki | 7,8 – 8,5 mm |
| Roca (www.rocaropes.com) | enojne | 9,4 – 11,0 mm |
| | polovične | 8,0 – 9,0 mm |
| | dvojčki | 8,0 mm |
| Beal (www.bealplanet.com) | enojne | 9,1 – 11,0 mm |
| | polovične | 8,1 – 9,0 mm |
| | dvojčki | 7,7 – 8,0 mm |
| Millet (www.millet.fr) | enojne | 9,4 – 10,4 mm |
| | polovične | 8,5 – 8,6 mm |
| | dvojčki | 7,8 mm |
| Edelweiss (www.edelweiss-ropes.com) | enojne | 9,6 – 11,0 mm |
| | polovične | 8,2 – 9,0 mm |
| | dvojčki | 8,0 – 8,3 mm |
| Mammut (www.mammut.ch) | enojne | 8,9 – 10,5 mm |
| | polovične | 8,0 – 8,5 mm |
| | dvojčki | 7,5 mm |
| Tendon (Lanex) (www.mytendon.com) | enojne | 9,2 – 11,4 mm |
| | polovične | 7,8 – 9,1 mm |
| | dvojčki | 7,8 – 8,5 mm |
| Rock Empire (www.rockempire.com) | enojne | 9,8 – 10,5 mm |
| | polovične | 8,5 mm |
| | dvojčki | 7,9 mm |
| Petzl (www.petzl.com) | enojne | 9,4 – 10,3 mm |
| | polovične | 8,2 mm |

| | | |
|-------------------------------------------------------|-----------|----------------|
| Sterling (www.sterlingrope.com) | enojne | 9,2 – 11,2 mm |
| | polovične | 8,4 – 8,8 mm |
| | dvojčki | 7,7 mm |
| Liberty Mountain (www.libertymountain.com) | enojne | 10,3 – 11,0 mm |
| Infinity (Wild Country) (www.infinityropes.com) | enojne | 9,0 – 10,5 mm |
| | polovične | 8,4 mm |
| New England (www.neropes.com) | enojne | 9,5 – 11 mm |
| | polovične | 8,0 – 9,0 mm |
| PMI (Pigeon Mountain Industries) (www.pmirope.com) | enojne | 9,4 – 10,6 mm |
| | polovične | 8,6 mm |
| | dvojčki | 8,1 mm |
| Metolius (www.metoliusclimbing.com) | enojne | 9,2 – 10,2 mm |
| | polovične | 7,8 – 8,8 mm |
| | dvojčki | 7,8 mm |

Iz tabele 1 je razvidno, da imajo proizvajalci vrvi v svoji ponudbi veliko vrst različnih dinamičnih vrvi, ki se med seboj razlikujejo v debelini tudi za več kot 2 milimetra. Kako različne so karakteristike enojnih dinamičnih plezalnih vrvi posameznih proizvajalcev, lahko razberemo iz tabele 2, kjer so prikazane karakteristike vrvi petih proizvajalcev, ki so zelo pogosto v uporabi tudi v Sloveniji. Podane so karakteristike le enega artikla vsakega proizvajalca, ki so si po namenu in debelini vrvi med seboj najbolj podobni.

Tabela 2

Karakteristike enojnih dinamičnih plezalnih vrvi različnih proizvajalcev

| | PROIZVAJALEC in artikel | | | | |
|---------------------------|-------------------------|------------------|----------------|----------------------|---------------|
| | BEAL Booster III | EDELRID Eagle | MAMMUT Tusk | MILLET Silver III | ROCA Minus |
| Premer [mm] | 9,7 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,9 |
| Ujemna sila [kN] | 7,3 | 9,4 | 9,1 | 7,9 | 7,9 |
| Št. padcev po UIAA | 9 | 7 | 6-7 | 6 | 9 |
| Dinamični raztezek [%] | 38 | 34 | 30 | 32 | 35,7 |
| Statični raztezek [%] | 9,7 | 7,6 | 6,8 | 6 | / |
| Zamik plašča [mm] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Masa enega metra vrvi [g] | 63 | 62 | 63 | 63 | 64 |
| Vozljivost | / | / | / | / | / |

Enojne plezalne vrvi vseh v tabeli 2 omenjenih proizvajalcev so testirane v skladu s standardnim testom in ustrezajo zahtevam, ki jih standard navaja. Iz podatkov je razvidno, da prihaja do odstopanj med karakteristikami vrvi različnih proizvajalcev.

2.2. PLEZANJE IN UPORABA PLEZALNIH VRVI PRI RAZLIČNIH POGOJIH IN V RAZLIČNIH OKOLJIH

Ker je paleta uporabnikov plezalnih vrvi zelo široka, se pri plezanju srečujejo z zelo različnimi pogoji in tudi vrv je izpostavljena različnim pogojem, ki so velikokrat daleč od tistih, v katerih so testirane plezalne vrvi v laboratorijih.

Velike razlike pri uporabi plezalnih vrvi so v vremenskih pogojih. Alpinisti namreč plezajo v vseh letnih časih, v vseh vremenskih pogojih. Tako plezajo v južnih, osončenih stenah, kjer na vrv najbolj vplivajo sončni žarki in vročina. Plezajo pozimi, v zaledenelih slapovih in zimskih smereh, kjer se vrv velikokrat napoji z vodo, pogosto pa tudi zmrzne. Tudi poleti jih lahko ujame dež, kjer se vrv lahko še toliko bolj napoji z vodo. Kadar plezajo v vremenskih pogojih, ki so za vrv najbolj primerni, torej v senčnih in hladnih severnih stenah, pa je vrv nemalokrat izpostavljena veliki abraziji in umazaniji, saj teče preko številnih ostrih skalnih robov, trav, zemlje itd.

Zelo veliki abraziji so vrvi izpostavljene pri plezanju v dvoranah in v nizkih naravnih stenah, v plezališčih. Tam namreč plezalci plezajo po cele dneve, kar pomeni, da preplezajo več smeri, tudi po 15 ali več na dan. Ker so takšne smeri razmeroma kratke (v povprečju 25 do 30 metrov), prihaja do veliko spustov po vrvi, kar pa močno poveča obrabo vrvi in s tem zmanjša njeno trdnost. Raziskave so pokazale, da se z večanjem števila spustov plezalca z varovanjem od zgoraj (t.i. »top rope«) močno zmanjša trdnost vrvi, kar se kaže pri upadu števila padcev do pretrga. Deli vrvi, ki so tekli preko varovalnih naprav, so po samo 80 ciklih varovanja in spuščanja le še pol ali celo manj kot pol toliko vzdržljivi, kot nova vrv. Običajno se to pojavi že po prvih nekaj dneh plezanja z varovanjem od zgoraj. Ob nadaljnji uporabi vrvi za plezanje z varovanjem od zgoraj se vrv zaradi drgnjenja in močnega ukrivljanja preko varovalnih naprav in vršne vponke vedno

bolj obrablja in s tem še naprej izgublja svojo trdnost in posledično se zmanjšuje število padcev, ki jih vrv zdrži do pretrga. To sicer ni tako ključnega pomena za plezanje z varovanjem od zgoraj, saj so faktorji padca in s tem sile v vrvi pri takšnem načinu plezanja majhni, veliko bolj ključnega pomena pa je to pri plezanju v vodstvu, ko so višine padcev večje in lahko faktor padca hitro doseže najvišjo vrednost in s tem tudi velike sile (Boksch, Vogel, 1996).

Pri plezanju v dvorinah oziroma na umetnih stenah je plezanje z varovanjem od zgoraj zelo pogosta oblika plezanja, saj se na ta način s plezanjem spoznavajo najmlajši oziroma začetniki. Ker ti niso veščci plezanja, se jim z varovanjem od zgoraj zagotovi največja možna varnost, da ob morebitnem padcu ali zdrsu vrv takoj prevzame obremenitev in je višina padca tako zelo majhna. Bolj izkušeni pa se vedno pogosteje lotevajo plezanja s sprotnim nameščanjem varovanja, saj tekmovalno športno plezanje za srednje in starejše kategorije zahteva le takšen način plezanja. V alpinizmu in v tekmovalnem športnem plezanju zato lahko pride do višjih, nekaj metrskih padcev, v alpinizmu tudi nekaj deset metrskih padcev, z večjim faktorjem padca.

Druga dejavnost, kjer je vrv velikega pomena in kjer zelo pride do izraza faktor padca, je hoja po plezalnih poteh. Vse več ljudi se namreč navdušuje nad plezanjem po zavarovanih plezalnih poteh, tako imenovanih »feratah«, kjer preko strmih in visokih gorskih sten vodijo označene in nadelane poti, ki so dokaj dobro zavarovane oziroma opremljene s klini, jeklenicami in lestvami. Sprva so ljudje po takšnih poteh hodili večinoma neopremljeni, nevarovani, zanašali so se le na lastne telesne in duševne sposobnosti. Sčasoma pa se je tudi na tem področju uveljavila uporaba vrvi kot varnostnega elementa, ki bi preprečil poškodbe ali smrt. V takšnih primerih se vrv uporablja kot del samovarovalnega sistema, ki je sestavljen iz plezalnega pasu, čelade, zavorne ploščice, dveh vponk in krajše dinamične vrvi, ki jo imenujemo tudi popkovina. Pri hoji po zavarovanih plezalnih poteh na pohodnika prav tako pretijo številne objektivne nevarnosti, ki povečujejo tveganje za padec. Zato se z vrvjo oziroma popkovino sami pripnejo na varovala v steni (kline, jeklenice, lestve) in z napredovanjem prenašajo vpeto vrv iz varovala na varovalo ter s tem zagotavljajo stalno varovanje. Ker so nemalokrat

varovala daleč vsak sebi, se lahko zgodi, da so padci na zavarovanih plezalnih poteh kljub varovanju lahko zelo nevarni. Za primer pogledimo jeklenico, ki služi za varovanje ob poti: ob navpičnem poteku plezalne poti je tudi jeklenica v steno vzporedno s potjo pritrjena navpično, vmesni klini, s katerimi je jeklenica pritrjena pa so včasih precej narazen, tudi po nekaj metrov. Če predpostavljamo, da je popkovina dolga meter in pol, razdalja med pritrdilnimi klini jeklenice 3 metre in da človek pade ravno v času, ko je nad naslednjim klinom, vponke pa še ni prenesel nad njega, znaša višina padca 6 metrov, faktor padca pa kar 4! To lahko ponazorimo s spodnjo enačbo:

$$f = \frac{h}{l} \Rightarrow f = \frac{6}{1'5} = 4,$$

kjer je h višina padca in l dolžina vrvi, ki je na voljo (v našem primeru popkovina). Zaradi tega je obvezni sestavni del samovarovalnega kompleta zavorna ploščica, ki je namenjena, da ob večjih sunkih nekaj vrvi zdrsi skozi njo in s tem ublaži sunek padca. Vendar je takšen padec, kot je opisan zgoraj, lahko še vedno zelo nevaren.

Pri vseh naštetih dejavnostih precejšnjo vlogo igra tudi masa bremena. Tako je masa, s katero je vrv obremenjena pri padcu plezalca, lahko zelo različna. Na eni strani zasledimo plezalce in alpiniste, ki skupaj z vso opremo, potrebno za turo ali smer v visoki steni, tehtajo 80 kilogramov ali več, po drugi strani pa v šolah plezajo otroci, lažji od 30 kilogramov. Znano pa je, da večja, kot je masa plezalca, večja ujemna sila se proizvede na plezalca pri padcu, torej so težji plezalci izpostavljeni težjim pogojem oziroma večji ujemni sili pri padcu, kot lažji plezalci. Prav ujemna sila pa je tista, ki je nevarna plezalcem pri padcih, saj so lahko sunki zelo veliki, kar lahko privede do hudih notranjih poškodb. Del energije, ki jo ima namreč utež pri padcu, vrv absorbira v trenutku, ko vrv prestreže padec, na utež pa deluje ujemna sila. Ker je plezalna vrv zgrajena tako, da ob sunku absorbira čim več energije, se le-ta ne prenese na plezalca v celoti. Utež ima tik pred padcem potencialno energijo, ki se ob padcu pretvori v kinetično energijo. Zato lahko že pred začetkom obremenitve ugotovimo, kolikšno

energijo bo imela padajoča utež v trenutku, ko bo vrv prestregla padec. To lahko izračunamo z naslednjo formulo:

$$W_p = mgh,$$

kjer je m masa uteži, g težnostni pospešek in h višina padca uteži.

Ker smo že prej omenili, da so plezalne vrvi izpostavljene obremenitvam z različnimi masami pri različnih višinah oziroma faktorjih padca, se pojavi vprašanje, ali je mehanski odziv dinamične plezalne vrvi ob enaki vneseni energiji enak pri obremenitvi z različno maso in različnih višinah oziroma faktorjih padca.

Obstoječ standard pove malo o trajnosti vrvi. Trajnosti, ki jo je težko opredeliti s poenostavljenimi metodami, ne moremo enačiti le z napovedjo odpovedi vrvi, temveč je potrebno spremljati časovno odvisen odziv vrvi in s tem povezano poslabšanje njene kakovosti zaradi izpostavljenosti impulznim obremenitvam. UIAA standardni testi niso namenjeni analizi časovne odvisnosti deformacijskega procesa vrvi, ki povzroči strukturne spremembe materiala in posledično vpliva na njegovo trajnost. Test ujemne sile je namenjen le preizkusu vrvi ob prvem padcu, nikjer pa ni zapisano, kako naj bi se vrv obnašala po nekaj zaporednih padcih. Poleg tega se vse vrvi, ki zadostijo zahtevam standarda, smatrajo za enako varne, čeprav so pretekle raziskave pokazale, da med vrvmi različnih proizvajalcev obstajajo razlike (Kofler, Perger, 2006; Svet, 2007; Tehovnik, 2007). Ker je na tržišču prisotnih ogromno proizvajalcev plezalnih vrvi, se postavlja vprašanje, ali so res vse vrvi enako varne. Kot je že bilo omenjeno, se vrvi v okviru standarda EN 892 preizkušajo le pod določenimi pogoji. Tako vse karakteristike, ki so podane na izdelku, med njimi tudi tiste, navedene v tabeli 2, veljajo le pri obremenitvi enojne plezalne vrvi z maso 80 kilogramov pri faktorju padca 1,77, pri čemer je višina meta 4,80 metra. Iz tega lahko izračunamo, da je vnesena energija uteži pri tem preizkusu 3767 Nm. Pri tem se pojavi vprašanje, ali bi bil odziv vrvi enak, če bi enako energijo vnesli na drugačen način, torej z obremenitvijo z različno maso pri različnem faktorju padca oziroma z druge višine. Energija, vnesena v vrv je lahko enaka pri različnih masah uteži, če predpostavljamo, da so višine padcev različne. Tako lahko težja utež pri manjši

višini padca doseže enako energijo kot lažja utež pri večji višini padca. Vsa ta dejstva pa so dejansko prisotna tudi pri plezanju.

V primeru, da bi bil odziv vrvi v takšnih primerih res različen, se pod vprašaj postavljajo varnostne zahteve standarda EN 892, ki zagotavlja varnost plezalca pri uporabi vrvi, ki dosega zahteve standarda le pri določenih oziroma omejenih pogojih uporabe.

Glede na zgoraj napisano se sprašujemo, kako na mehanske lastnosti dinamičnih plezalnih vrvi vpliva različna masa obremenitve ob enaki vneseni energiji.

3. DEFINICIJA IN CILJ NALOGE

V prejšnjem poglavju so navedene dileme, ki se porajajo pri postavljanju pogojev testiranja vrvi, ki jih določa standard EN 892, in sicer, ali bo odziv plezalne vrvi pri obremenitvi z različnimi masami pri različnih faktorjih padca ob enaki vneseni kinetični energiji različen.

Cilj naloge je ugotoviti, ali ima obremenitev dinamičnih plezalnih vrvi z dvema različnima masama, pri padcu z različne višine za vsako maso posebej ob enaki vneseni kinetični energiji, različen vpliv na mehanski odziv enojnih dinamičnih plezalnih vrvi. Standardni preizkus namreč ne predvideva preizkusa z enako vneseno kinetično energijo ob različnih masah uteži, nas pa zanima mehanski odziv vrvi, ki je obremenjena z različnimi masami pri različnih faktorjih padca ob enaki vneseni kinetični energiji. V praksi se namreč mnogokrat srečujemo s padci različno težkih plezalcev z različnih višin, kar lahko velikokrat pomeni, da je energija, ki jo vnesemo v vrv ob padcu, enaka, vprašanje pa je, ali je v takem primeru tudi učinek na plezalca vedno enak.

V ta namen so bili v okviru diplomske naloge pripravljene vzorci vrvi in izvedene meritve v skladu z novo razvito metodologijo. Izmerjene vrednosti so bile analizirane z namensko razvitim programom. Na osnovi izračunanih fizikalnih količin so bile izvedene primerjave naslednjih mehanskih lastnosti vrvi:

- največja ujemna sila,
- največji dinamični raztezek,
- shranjena energija,
- disipirana energija,
- sprememba pojemka.

4. HIPOTEZE

H1: Obremenitev z različnima masama pri padcu z različnih višin ima ob enaki vneseni kinetični energiji različen vpliv na mehanski odziv dinamičnih plezalnih vrvi.

5. METODE DELA

V tej raziskavi je bila uporabljena raziskovalna metoda dela, ki temelji na uporabi na novo razvite metodologije za nestandardni preizkus vrvi. Z uporabo te metode, ki je bila razvita v Centru za eksperimentalno mehaniko (CEM), ter eksperimentalne metode smo opazovali časovno odvisno vedenje vrvi pri impulznem obremenjevanju, česar standardni preizkus ne omogoča. Novo razvita procedura uspešno podaja izračune pomembnih karakteristik, ki definirajo elasto-visko-plastične lastnosti vrvi, kot so sila v vrvi, deformacija vrvi, elastični in viskoplastični del deformacije vrvi, shranjena, vrnjena in disipirana energija v procesu obremenjevanja in razbremenjevanja vrvi, odboj, ter maksimalna sprememba pospeška in pojemka. Vse te parametre lahko določimo z meritvijo enega samega dinamičnega odziva vrvi pod vplivom impulzne obremenitve. Rezultat takšnih meritev so podatki, ki z ustrežno obdelavo v obliki diagramov prikažejo zgoraj omenjene karakteristike vrvi. Vse meritve so bile opravljene s posebej v ta namen razvito merilno verigo.

5.1. VZOREC MERJENCEV

Vzorec merjencev je sestavljalo 24 kosov enojne dinamične plezalne vrvi treh različnih proizvajalcev, po 8 vzorcev od vsakega proizvajalca, od tega je bila polovica vzorcev namenjena obremenitvi z eno in polovica vzorcev obremenitvi z drugo maso. Pri izboru proizvajalcev smo se omejili na slovenski trg, vsi trije proizvajalci pa so iz Evrope.

Vsak vzorec je bil dolg $3,80 \pm 0.02$ metra, ki smo ga na koncih zašili, da smo dobili zanke ter končno dolžino $3,40 \pm 0.02$ metra. Vsi vzorci so bili pred in po meritvah ustrezno shranjeni v suhem in temnem prostoru.

5.2. VZOREC SPREMENLJIVK

S pomočjo prej omenjene nestandardne analitično eksperimentalne metode, ki omogoča opazovanje časovno odvisnega vedenja vrvi pri impulznem obremenjevanju, lahko opazujemo različne mehanske lastnosti vrvi pri različnih pogojih, in sicer maksimalno silo, maksimalno deformacijo, elastični del deformacije, viskoplastični del deformacije, shranjeno energijo, vrnjeno energijo, disipirano energijo, odboj vrvi, spremembo pojemka in spremembo pospeška (Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič, 2008).

Izmed vseh zgoraj naštetih spremenljivk smo se odločili, da bomo pri tej raziskavi opazovali spremenljivke, navedene v tabeli 3.

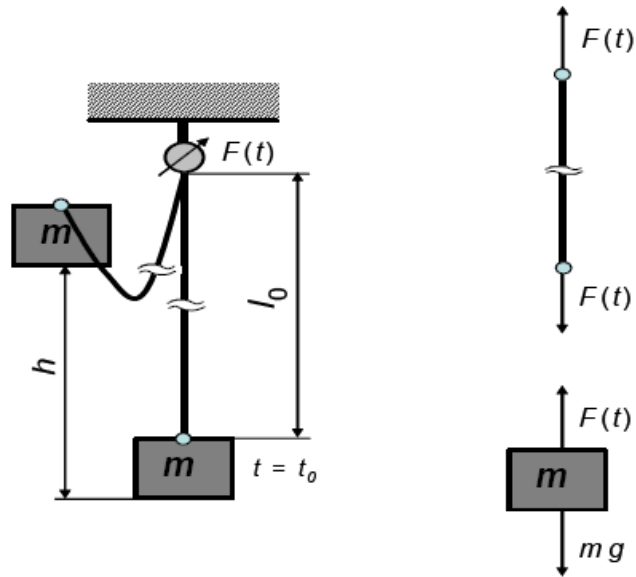
Tabela 3

Mehanske lastnosti vrvi, ki smo jih primerjali pri raziskavi

| MEHANSKE LASTNOSTI | OZNAKA [ENOTA] |
|------------------------------|-------------------------|
| Maksimalna (ujemna) sila | F_{\max} [N] |
| Maksimalna deformacija | S_{\max} [m] |
| Shranjena energija | W_{store} [Nm] |
| Disipirana energija | W_{diss} [Nm] |
| Maksimalna sprememba pojemka | m [m/s ³] |

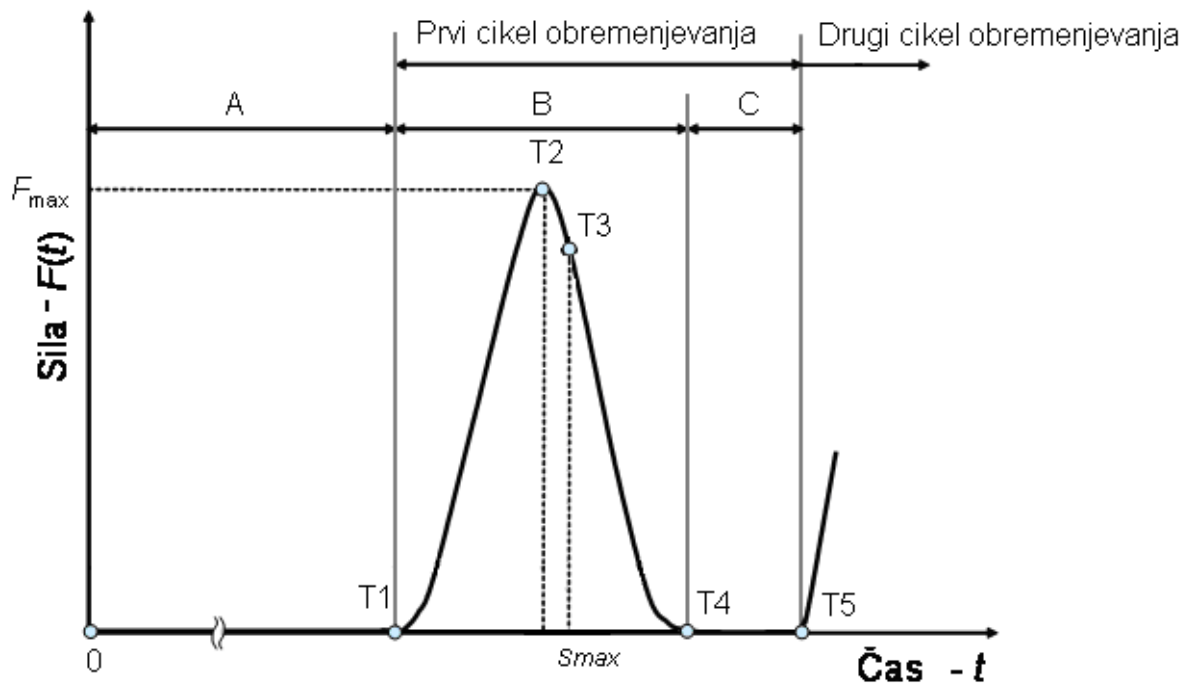
5.3. OPIS PRINCIPA MERITEV

V tem poglavju je na kratko razložen princip meritev mehanskih lastnosti vrvi, opazovanih v tem diplomskem delu, pri dinamični obremenitvi, ki nastane pri lovljenju prosto padajoče uteži. Odziv vrvi pod tako obremenitvijo lahko dobimo iz analize sile, merjene s senzorjem, nameščenim na zgornjem vpetju vrvi, kot je shematsko prikazano na sliki 5. Pri takšnem preizkusu mečemo utež s poljubne višine $h \leq l_0$, pri čemer je l_0 dolžina testirane vrvi, v našem primeru $3,40 \pm 0,02$ m (Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič, 2008).



Slika 5: Shematični prikaz izvajanja eksperimenta z metom uteži, ki je pritrjena na vrh (vir: Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič, 2008).

Iz vrvi, ki je vpeta v senzor, se impulz preko senzorja, analogno – digitalnega pretvornika in ojačevalca prenese v računalnik. Na ekranu se nato izriše impulz sile, ki ponazarja potek sile v vrvi, oziroma sile, ki deluje na plezalca pri padcu (ujemna sila). Impulz je shematično ponazorjen na sliki 6.

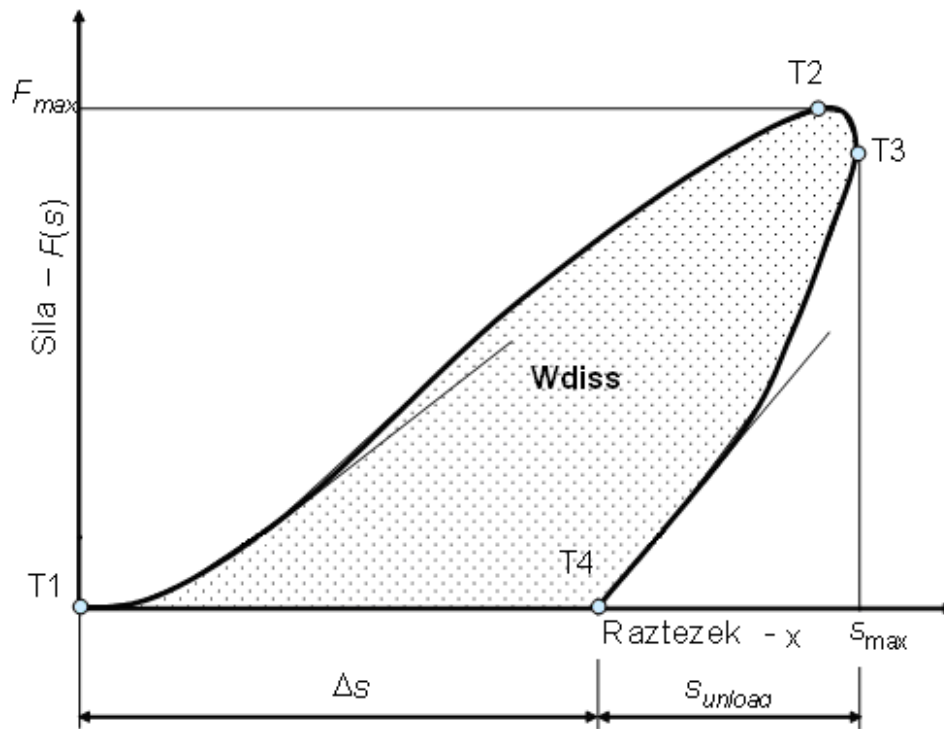


Slika 6: Shematični prikaz impulza sile, dobljenega pri preizkusu padca uteži (vir: Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič, 2008).

Iz slike 6 lahko razberemo potek sile v vrvi pri padcu. V fazi A je vrv razbremenjena, utež pa še prosto pada. V točki T1 se prične prvi cikel obremenjevanja, kar pomeni, da se v tem trenutku vrv prične deformirati, sila v vrvi pa narašča. Sila narašča vse do točke T2, kjer hitrost uteži doseže vrednost 0, sila pa najvišjo vrednost (F_{max}). Od te točke začne sila, ki deluje na utež oziroma plezalca, padati, deformacija vrvi pa se nadaljuje do točke T3, kjer doseže največjo vrednost (S_{max}). Po tej točki se začne utež dvigovati. Vrv je namreč elastična, zato deluje na plezalca kot vzmet. Sila v vrvi zopet doseže vrednost 0 v točki T4, ko je vrv ponovno povsem razbremenjena. V točki T5 se prične drugi cikel obremenjevanja, ko se vrv spet prične raztegovati, sila, ki deluje na utež pa narašča. Na podlagi te krivulje lahko določimo največjo ujemno silo. Ta sila nam pove, kakšna sila deluje na telo pri padcu in posledično tudi na ostale dele plezalne opreme (zadnja točka, ki je zadržala padec, plezalni pas plezalca).

Ujemna sila je v določeni meri odvisna od raztezka vrvi. Ta nam pove, koliko se vrv deformira in s tem ublaži določen delež energije, ki je pogojena z maso in hitrostjo uteži. Najbolj nazorno se porazgubljena energija za raztegovanje oziroma deformacijo vrvi prikaže s histerezo krivuljo, prikazano na sliki 7. Ta krivulja namreč prikazuje potek sile v odvisnosti od deformacije vrvi. V točki T1 začne sila naraščati, temu primerno se tudi deformacija povečuje. V točki T2, ko sila doseže najvišjo vrednost (F_{max}), se deformacija nadaljuje do točke T3, ko je deformacija največja (S_{max}). Razlaga za časovni zamik največje deformacije vrvi v primerjavi z največjo silo je navedena v članku »*Time-dependent behavior of ropes under impact loading: a dynamic analysis*«, avtorjev Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič (2004). Od te točke se tudi vrv začne vračati proti prvotnem stanju, utež pa dvigovati, vendar se kljub temu, da sila doseže vrednost 0 (v točki T4), vrv ne povrne v začetno stanje oziroma ne doseže začetne dolžine. Površina znotraj histerezne krivulje nam pove, koliko energije se je porazgubilo za deformacijo vrvi. Grafično je to na sliki 7 prikazano z osenčeno površino znotraj krivulje. Več energije, ko se porabi za deformacijo vrvi, manjša

sila bo delovala na plezalca in manjše posledice bo občutil pri padcu. To energijo imenujemo disipirana (izgubljena energija). Celotna površina pod krivuljo do točke T3 pa nam poda vrednost shranjene energije v vrvi.



Slika 7: Diagram sile v odvisnosti od raztezka (histerezna krivulja) (vir: Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič, 2008).

Še ena karakteristika, ki smo jo opazovali, je sprememba pojemka. Ta nam namreč pove, za koliko se spremeni pojemek uteži na enoto časa, ko jo vrv prestreže. Večinoma so bila raziskave o spremembah pospeška in pojemka opravljene v avtomobilski industriji in avio-kozmični industriji, kjer so analizirali pojemke pri trkih oziroma nesrečah. Večje, ko so spremembe pojemka v enoti časa, bolj je nevarno z vidika plezalca. Z večjo spremembo pojemka se namreč v telesu ustvarjajo večji pritiski, saj se notranji telesni organi po zaustavitvi telesa še naprej premikajo in se počasneje zaustavljajo kot samo telo. Z vidika varnosti za plezalca in vzdržljivosti vrvi je pomembno tudi to, kakšna je sprememba pojemka uteži na enoto časa z vsakim ciklom obremenjevanja (Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič, 2008).

5.4. MERILNA VERIGA

Merilna veriga je namenjena določanju mehanskih lastnosti plezalnih vrvi, ki so izpostavljene impulzni obremenitvi in so opisane v poglavju 5.2. in 5.3. Sestavljena je iz obremenjevalnega dela, ki ga sestavljajo (glej sliko 8):

- nosilna konzola,
- merilno zaznavalo (senzor),
- dvigalo,
- utež,
- jeklena žica za sprostitev uteži in
- zaščitna oprema

ter zajemalno - analitičnega dela, ki ga sestavljajo:

- ojačevalec,
- A/D pretvornik,
- osebni računalnik s programskim sistemom za zajem podatkov in
- programski sistem za obdelavo podatkov.

5.4.1. OBREMENJEVALNI DEL

Konzola

Konzola je bila namensko izdelana za nestandardni preizkus vrvi pri impulzni obremenitvi. Zvarjena je iz jeklene kvadratne cevi in pločevine. Pritrjena je na steber z dvema objemkama. Konzola služi za pritje merilnega zaznavala. Togost konzole je takšna, da ne omogoča visokofrekvenčnih vibracij znotraj zajetega signala.

Merilno zaznavalo

Za merjenje sile smo uporabili merilno zaznavalo proizvajalca Hottinger Baldwin Messtechnik G.m.b.h. z oznako HBM Z6 tipa FD1. Merilno območje zaznavala je od 5 do 1000 kg, temperaturno območje delovanja pa od -10°C do

+40°C. Deluje na osnovi merilnih uporovnih lističev, zato potrebuje napajanje. Napajamo ga z napetostjo 5V iz ojačevalca.

Dvigalo

Električno dvigalo služi za dvigovanje uteži in njeno vpetje v sprožilni mehanizem. Vpeto je na gibljivo gradbeno konzolo, ki je pritrjena na steber z dvema objemkama. Dvigne lahko 125 kg.

Jeklenica

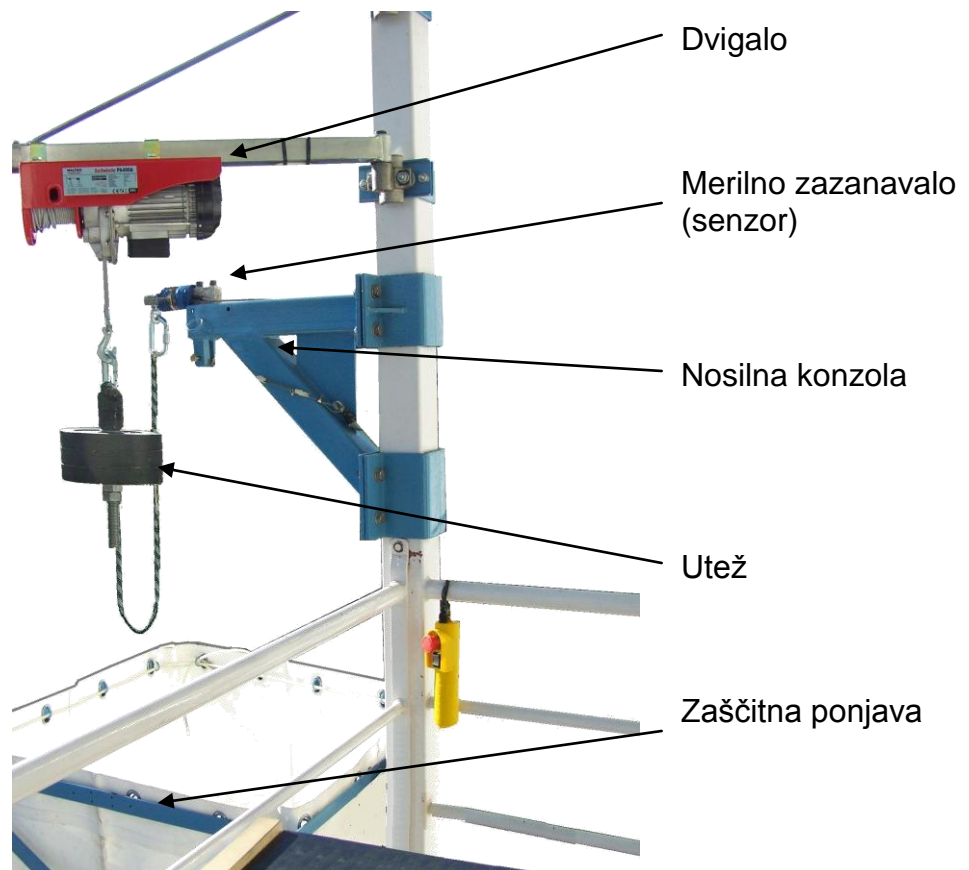
Jeklenica je namenjena temu, da meritve lahko izvajamo s faktorjem padca, ki je manjši od 1. Jeklenica, uporabljena v tej raziskavi, je bila dolga 1,07 metra, in je imela na zgornjem koncu zanko za vpetje, na spodnjem koncu pa sprožilec.

Uteži

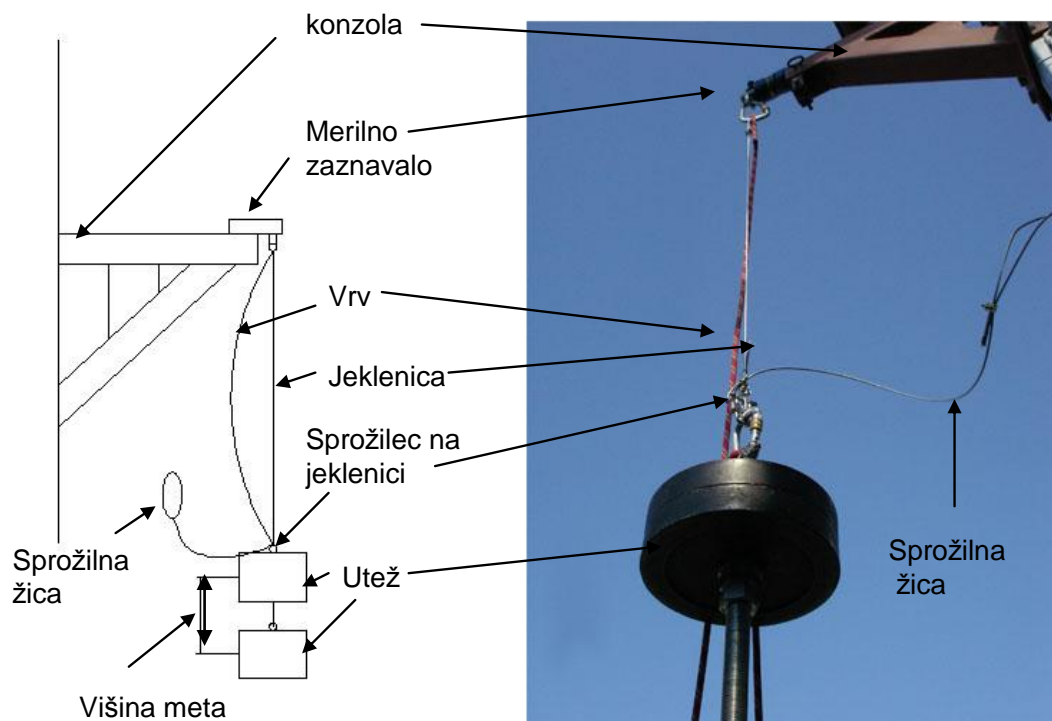
Uteži so namensko narejene za športno dejavnost in so v obliki kolutov. Kombinacija kolutov po 10 kg in 20 kg omogoča, da sestavimo različno težke mase bremena. Za povezovanje uteži se uporablja nosilno steblo, ki je izdelano iz navojne palice z navojem M30, dolžine 400 mm.

Zaščitna oprema

Zaščitno opremo sestavlja lovilna posoda, ki ob morebitnem pretrgu vrvi ščiti tla in prestreže padajočo utež, ter zaščitna ponjava, ki ščiti okolico pred letečimi delci, na primer, ob poku vponke prepreči, da bi delec odneslo v okolico.



Slika 8: Obremenjevalni del merilne verige (vir: arhiv CEM)



Slika 9: Prikaz uporabe jeklenice pri obremenitvi z maso m_2 pri faktorju padca manj kot 1 (vir: arhiv CEM)

5.4.2. ZAJEMALNO - ANALITIČNI DEL

Ojačevalec

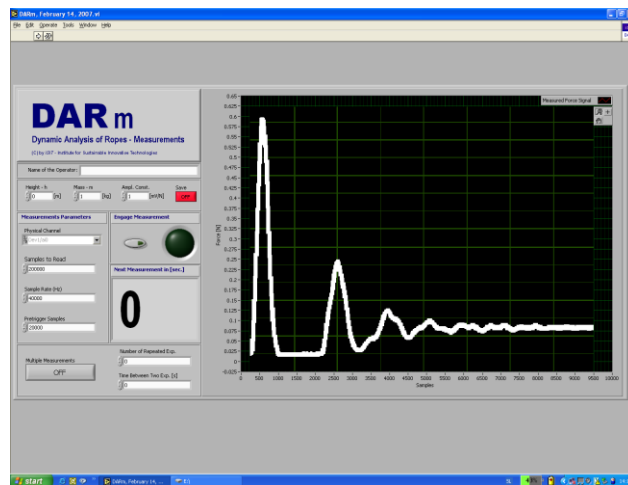
Za ojačanje napetosti je bil v uporabi 12 kanalni ojačevalec HPSC 3102. Aparat je še posebno primeren za napajanje uporovnih mostičkov in ojačanje majhnih merilnih napetosti.

A/D pretvornik

Za digitalizacijo analognega signala, ki smo ga dobili iz ojačevalca, smo uporabili analogno digitalno kartico DAQ USB 6009, proizvajalca National Instruments.

Program za zajem podatkov

Program DARm za zajem podatkov je bil namensko izdelan v Centru za eksperimentalno mehaniko in je namenjen zajemu in shranjevanju podatkov. V pogovorno okno programa smo pred začetkom meritve vnesli podatke o dolžini vzorca pred meritvijo in masi uteži ter kalibracijsko konstanto in ime izhodne datoteke. Zajeti signal smo shranili v formatu ASCII z imenom *ime_datoteke.dat*.

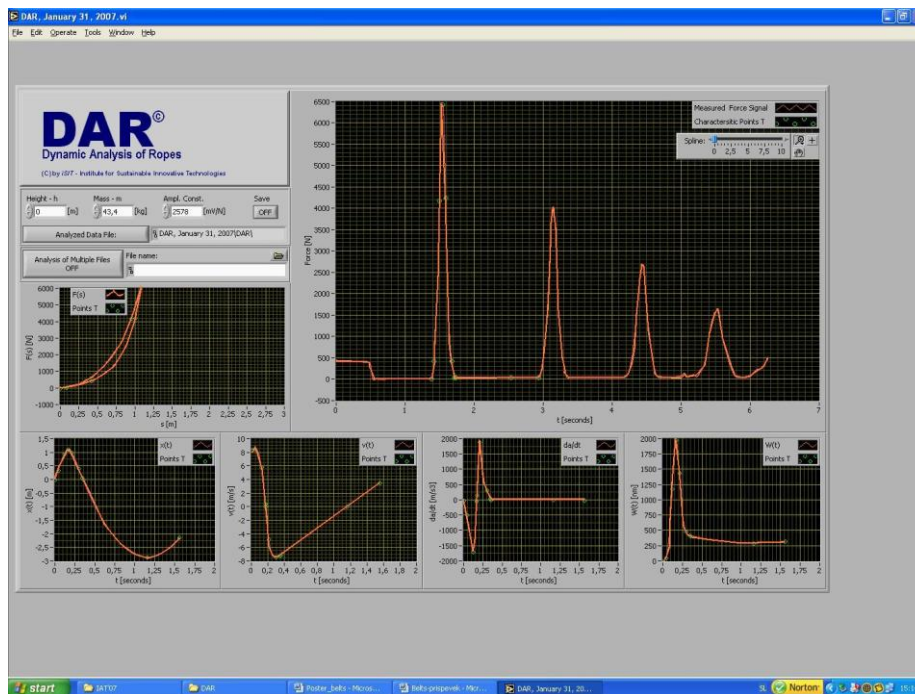


Slika 10: Pogovorno okno programa DARm (vir: arhiv CEM)

Program za obdelavo podatkov

V Centru za eksperimentalno mehaniko je bil razvit program DAR. Ta je izdelan v LabView okolju in je namenjen izračunu mehanskih lastnosti (tabela 3).

Vhodni podatki, ki jih je pred obdelavo potrebno vnesti, so masa uteži za obremenjevanje, višina meta uteži in kalibracijska številka. Kot rezultat obdelave vhodnih datotek se v okviru komunikacijskega okna izrišejo diagram sile v odvisnosti od časa, diagram sile v odvisnosti od raztezka, diagrami raztezka, hitrosti in spremembe pospeška ter diagram energije v odvisnosti od časa. Na sliki 11 je prikazano pogovorno okno programa DAR.



Slika 11: Pogovorno okno programa DAR (vir: arhiv CEM)

5.5. PRIPRAVA VZORCEV

5.5.1. RAZREZ VRVI

Novo dinamično enojno vrv dolžine 60 metrov smo razvili in pripravili za razrez. Na ravno površino smo pričvrstili pripravo za rezanje vzorcev, na sredino podložne deske priprave smo označili mesto rezanja in od te oznake odmerili dolžino 3.80 m. Nato smo vrvi razrezali na posamezne kose.



Slika 12: Priprava za rezanje vrvi (vir: arhiv CEM)

Vrv je bilo potrebno pretaliti, saj se v nasprotnem primeru (če bi vrv rezali z nožem) začne na koncih razpletati. V ta namen smo uporabili vroče rezalno orodje, s katerim smo vrv pretalili.

5.5.2. IZDELAVA ZANK

Vzorci so bili na obeh koncih zaključeni s prešitimi zankami, ki so služile za vpetje vrvi v merilno zaznavalo na enem koncu ter za vpetje uteži v vrv na drugem koncu. Za zanke smo se namesto vozlov odločili zato, ker vozli zmanjšajo nosilnost vrvi, del energije ob sunku pa se porazgubi ob zategovanju vozla. Za izdelavo obeh zank smo predvidevali približno 40 cm vrvi. Šiv dolžine 6 cm je bil zašit z najlonsko vrvico s pomočjo posebnega šivalnega stroja, kar je omogočalo enakost šivov na vseh vzorcih.



Slika 13: zašita vzorca (vir: arhiv CEM)

Izdelane vzorce smo pred merjenjem dolžine razvili in položili na ravno površino, da so se poravnali.

5.5.3. OZNAČEVANJE VZORCEV

Vsak vzorec posebej smo označili. Na belo samolepilno etiketo smo napisali oznako vzorca, ki je vsebovala:

- začetno črko proizvajalca vrvi,
- obremenitev (masa, s katero smo obremenili vzorce),
- črko »S« (oznaka za vrsto pogojev – »suh«),
- zaporedno številko vzorca v seriji (1 - 4 za vsakega proizvajalca).

V tabeli 4 so prikazane oznake vseh vzorcev, različnih proizvajalcev pri različni obremenitvi.

Tabela 4
Označbe vseh preizkušanih vzorcev

| PROIZVAJALEC A | | | |
|----------------|--------|-------|-------|
| | m [kg] | 43,85 | 63,99 |
| | f | 1 | 0,7 |
| Št. vzorca | 1 | A40S1 | A60S1 |
| | 2 | A40S2 | A60S2 |
| | 3 | A40S3 | A60S3 |
| | 4 | A40S4 | A60S4 |
| PROIZVAJALEC B | | | |
| | m [kg] | 43,85 | 63,99 |
| | f | 1 | 0,7 |
| Št. vzorca | 1 | B40S1 | B60S1 |
| | 2 | B40S2 | B60S2 |
| | 3 | B40S3 | B60S3 |
| | 4 | B40S4 | B60S4 |
| PROIZVAJALEC C | | | |
| | m [kg] | 43,85 | 63,99 |
| | f | 1 | 0,7 |
| Št. vzorca | 1 | C40S1 | C60S1 |
| | 2 | C40S2 | C60S2 |
| | 3 | C40S3 | C60S3 |
| | 4 | C40S4 | C60S4 |

5.6. MERILNI POSTOPEK

Odločili smo se za obremenitev vrvi z dvema masama pri različnih višinah oziroma faktorjih padca. Masi uteži sta znašali $m_1 = 43,85 \pm 0,02$ kg in $m_2 = 63,99 \pm 0,02$ kilogramov.

Vneseno kinetično energijo, ki jo je imela utež mase m_1 pred začetkom deformacije vrvi in je enaka začetni potencialni energiji pri faktorju padca 1, ko je $h = l_0$, pri čemer je l_0 dolžina vzorca, izračunamo s formulo:

$$w_p = m_1 \cdot g \cdot l_0 \Rightarrow w_p = 43,85(\pm 0,02) \cdot 9,81 \cdot 3,4(\pm 0,02) = 1463 \text{ Nm } (\pm 20 \text{ Nm})$$

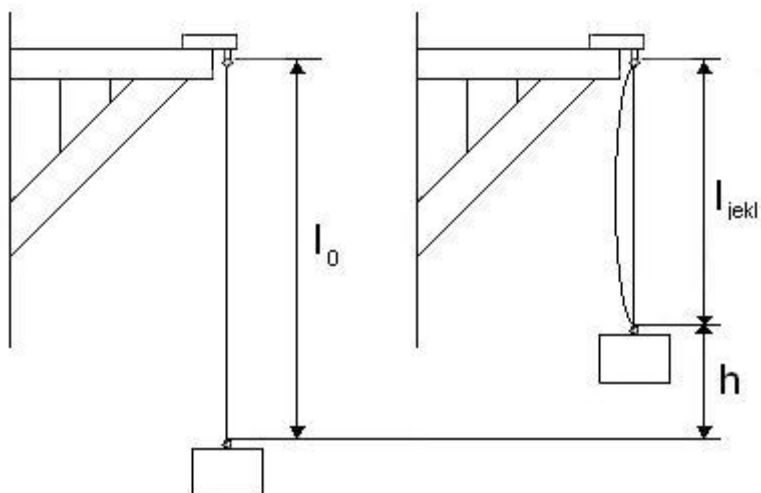
Z ozirom na to, da mora biti kinetična energija pri vseh preizkusih enaka, višino padca za maso m_2 izračunamo s formulo:

$$h = \frac{w_p}{m_2 \cdot g} = \frac{1463(\pm 20)}{63,99 \cdot 9,81} = 2,33(\pm 0,02)$$

Faktor padca smo spremenili z uporabo jeklenice, tako da smo spremenili višino meta h , kot je prikazano na sliki 14. Dolžino jeklenice, ki je bila potrebna za obremenjevanje vrvi z maso m_2 , smo izračunali s formulo:

$$l_{\text{jekl}} = l_0 - h,$$

kjer je l_0 dolžina vrvi, l_{jekl} pa je dolžina jeklenice. Tako smo 63,99 kilogramsko utež spuščali s faktorjem padca 0,7 s povprečne višine $2,33 \pm 0,02$ metra, uporabili pa smo jeklenico, dolgo 1,07 metra. Ponazoritev meta s faktorjem padca manj kot 1 s pomočjo jeklenice je ponazorjena na sliki 14.



Slika 14: Shema meta s faktorjem padca, manjšim od 1

V tabeli 5 so podane vse začetne dolžine, izračunane višine padcev, faktorji padca vsakega vzorca posebej ter povprečne vrednosti vnesene energije, za obe masi.

Tabela 5
Začetne dolžine, višine padcev, faktorji padca vsakega vzorca posebej in vnesena energija, za obe masi

| PROIZVAJALEC A | | | | | | | |
|-----------------------|---|--------------------|-------|---|--------------------|-------|-----|
| | | m=43,85kg | | | m=63,99kg | | |
| | | l ₀ [m] | h [m] | f | l ₀ [m] | h [m] | f |
| številka vzorca | 1 | 3,43 | 3,43 | 1 | 3,42 | 2,38 | 0,7 |
| | 2 | 3,42 | 3,42 | 1 | 3,45 | 2,41 | 0,7 |
| | 3 | 3,42 | 3,42 | 1 | 3,44 | 2,40 | 0,7 |
| | 4 | 3,43 | 3,43 | 1 | 3,40 | 2,38 | 0,7 |
| povprečje | | 3,43 | 3,43 | 1 | 3,43 | 2,39 | 0,7 |
| standardni odklon | | 0,01 | 0,01 | 0 | 0,02 | 0,02 | |
| Wp [Nm] | | 1475,48 | | | 1500,30 | | |
| PROIZVAJALEC B | | | | | | | |
| | | m=43,85kg | | | m=63,99kg | | |
| | | l ₀ [m] | h [m] | f | l ₀ [m] | h [m] | f |
| številka vzorca | 1 | 3,36 | 3,36 | 1 | 3,42 | 2,38 | 0,7 |
| | 2 | 3,39 | 3,39 | 1 | 3,41 | 2,37 | 0,7 |
| | 3 | 3,37 | 3,37 | 1 | 3,38 | 2,34 | 0,7 |
| | 4 | 3,41 | 3,41 | 1 | 3,38 | 2,34 | 0,7 |
| povprečje | | 3,38 | 3,38 | 1 | 3,40 | 2,36 | 0,7 |
| standardni odklon | | 0,02 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0,02 | |
| Wp [Nm] | | 1453,97 | | | 1481,47 | | |
| PROIZVAJALEC C | | | | | | | |
| | | m=43,85kg | | | m=63,99kg | | |
| | | l ₀ [m] | h [m] | f | l ₀ [m] | h [m] | f |
| številka vzorca | 1 | 3,39 | 3,39 | 1 | 3,34 | 2,30 | 0,7 |
| | 2 | 3,36 | 3,36 | 1 | 3,40 | 2,36 | 0,7 |
| | 3 | 3,38 | 3,38 | 1 | 3,38 | 2,34 | 0,7 |
| | 4 | 3,36 | 3,36 | 1 | 3,37 | 2,33 | 0,7 |
| povprečje | | 3,37 | 3,37 | 1 | 3,37 | 2,33 | 0,7 |
| standardni odklon | | 0,02 | 0,02 | 0 | 0,03 | 0,03 | |
| Wp [Nm] | | 1449,67 | | | 1462,64 | | |

5.6.1. ČASOVNI PLAN IZVAJANJA MERITEV

Celoten preizkus je bil zastavljen tako, da so se vzorci preizkušali v enakih časovnih intervalih. Tako smo vzorce obremenjevali vsakih 5 minut, kar nam je omogočal računalniški program z odštevalnikom. Ker smo vsak vzorec preizkusili desetkrat, smo za meritve enega vzorca potrebovali 50 minut. Zastavili smo si nalogo, da v enem dnevu izvedemo meritve vzorcev, obremenjenih z isto maso. To pomeni preizkusiti 12 vzorcev, torej izvesti 120 obremenitev dnevno.

5.6.2. POTEK PREIZKUSA

Pred meritvami je bilo potrebno pripraviti merilno verigo, namestiti varovalno opremo in pripraviti voziček z utežmi. Nato smo pripravili program za zajem podatkov in nastavili ojačevalec.

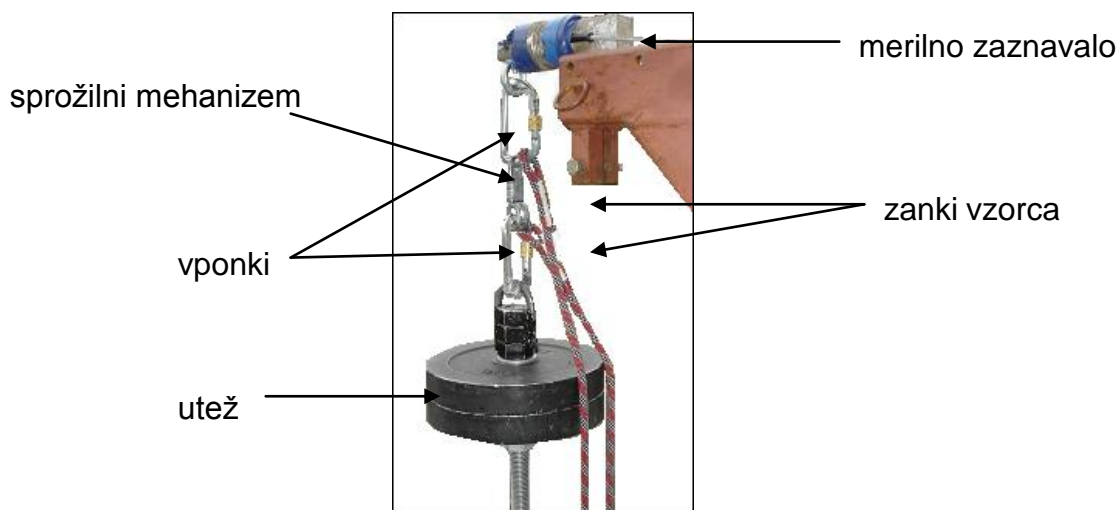
Pred vsakim testom smo izmerili dolžino vzorca na pripravi za merjenje dolžine vzorcev (glej sliko 15). Vzorec smo nataknili na kljukico na steni, ga poravnali po polici in ga preko kaveljčka obremenili z utežjo. Dolžino vrvi smo odčitali na kovinskem merilu, nameščenem pod kaveljčkom, podatke pa vpisali v tabelo na kontrolnem listu za spremljanje meritev vrvi. Vzorcem smo izmerili dolžino tudi po vsakem padcu.

Nato smo pripravili ustrezno maso uteži za obremenjevanje ter utež vpeli v sprožilni mehanizem. Vrv smo z zgornjim koncem vpeli v vponko na merilnem zaznavalu, s spodnjim koncem pa v vponko na uteži (glej sliko 16).

Utež smo spustili, zajeli signal in ga shranili v za to pripravljeno mapo v računalniku. Z dvigalom smo dvignili utež in jo ponovno vpeli na sprožilec. Vrv smo nato izpeli, ponovno izmerili dolžino vrvi in jo zabeležili v kontrolni list. Opisani postopek smo opravili desetkrat za en vzorec vrvi in je veljal pri obremenjevanju s faktorjem padca 1 z maso 43,85 kilogramov.



Slika 15: Merilno mesto za meritev dolžine vrvi (vir: arhiv CEM)



Slika 16: Vpetje vzorca pri padcu faktorja 1 (vir: arhiv CEM)

Pri izvajanju meritev z maso 63,99 kilogramov pri faktorju padca 0,7 smo uporabili jeklenico. Jeklenico smo z zgornjim delom vpeli v merilno zaznavalo, kamor smo vpeli tudi vrv. Spodnji del jeklenice, na kateri je bil pritrjen sprožilec, smo pritrdili na utež na isto mesto, kot tudi vzorec vrvi, na enak način, kot smo vpeli utež in vrv pri meritvah z obremenitvijo 43,85 kilogramov (glej sliko 16).

Sprožilec na jeklenici smo sprožili z dodatno žico, pritrjeno na sprožilec (glej sliko 9). S potegom smo odprli sprožilec, posledično se je sprožil met. V trenutku, ko se je met izvedel, sta bili vrv in utež povezani, jeklenica pa je bila prosta. Takšen postopek meritve smo opravili desetkrat za vsak vzorec posebej.

5.7. POSTOPEK OBDELAVE REZULTATOV

Podatke, ki smo jih zajeli s pomočjo merilne verige in shranili v podatkovne datoteke, smo obdelali s programom DAR. Pri obdelavi podatkov oziroma izračunanih mehanskih lastnosti vzorcev vrvi smo sledili navodilom za uporabo programa ter upoštevali različne mase in višine meta uteži. Obdelane in shranjene podatke smo nato uporabili za izdelavo diagramov mehanskih lastnosti v odvisnosti od števila metov, in sicer:

- največja ujemna sila v odvisnosti od števila metov,
- največji raztezek v odvisnosti od števila metov,
- shranjena energija v odvisnosti od števila metov,
- disipirana energija v odvisnosti od števila metov,
- pojemek v odvisnosti od števila metov.

6. REZULTATI MERITEV IN ANALIZA

V prejšnjih poglavjih omenjene karakteristike vrvi treh proizvajalcev v odvisnosti od števila metov pri impulznem obremenjevanju so bile izračunane z namensko razvitim programom DAR in prikazane v obliki diagramov. Karakteristike so podane v obliki povprečnih vrednosti s prikazom standardnih odklonov, izračunanih iz meritev na štirih vzorcih vrvi istega proizvajalca pri isti masi uteži in faktorju padca.

V diagramih smo med seboj primerjali vzorce istega proizvajalca, primerjavo pa smo naredili tudi med diagrami različnih proizvajalcev za vsako karakteristiko posebej.

6.1. NAJVEČJA UJEMNA SILA V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV

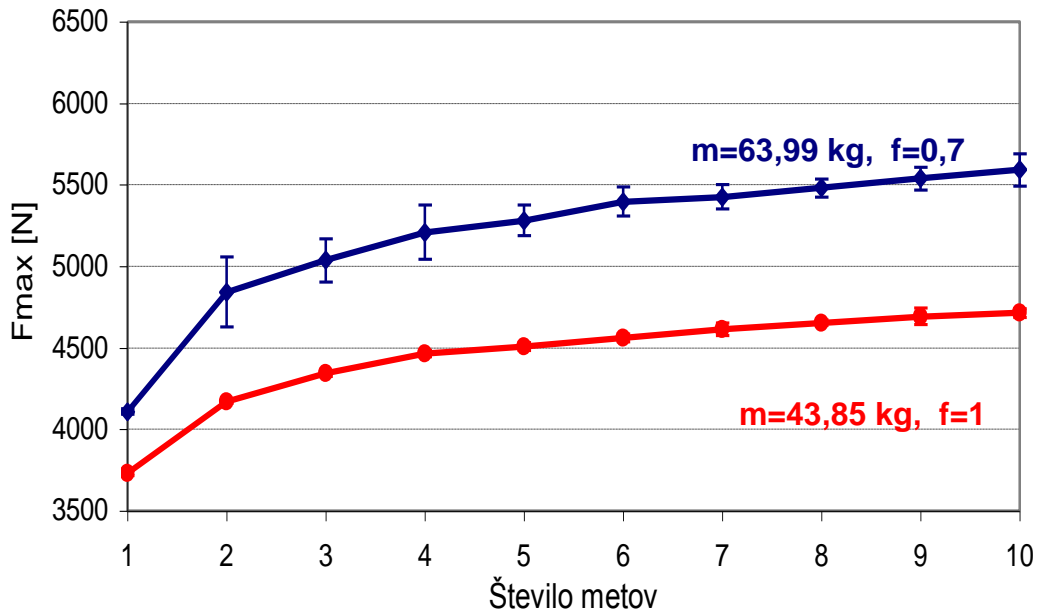


Diagram 1: Maksimalna sila v odvisnosti od števila metov za vrvi proizvajalca A pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

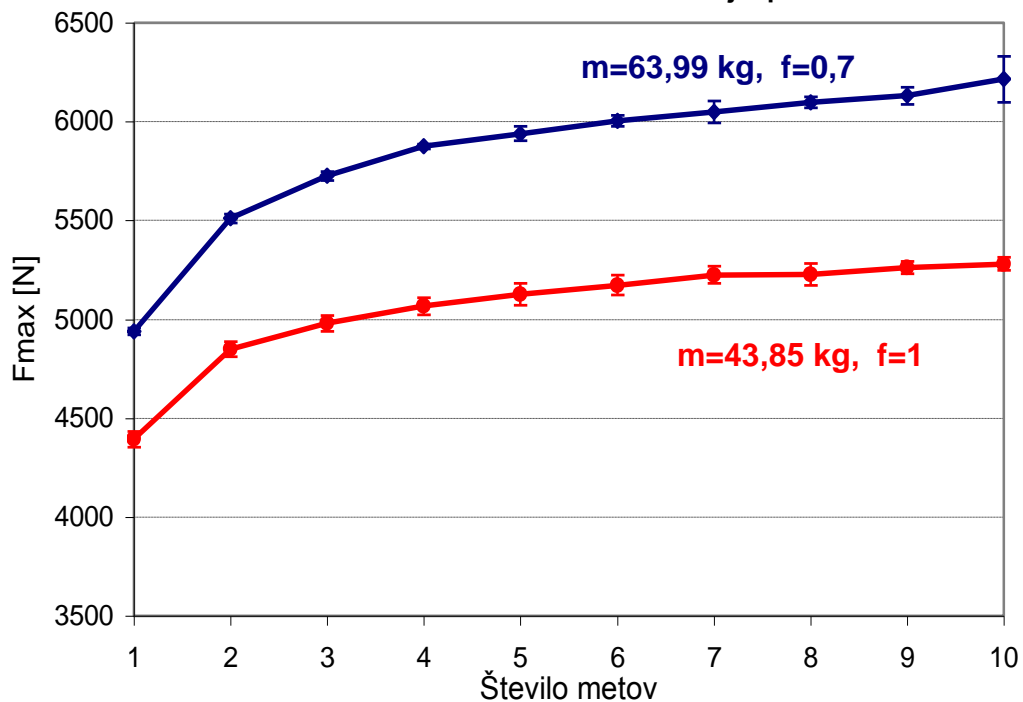


Diagram 2: Maksimalna sila v odvisnosti od števila metov za vrvi proizvajalca B pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

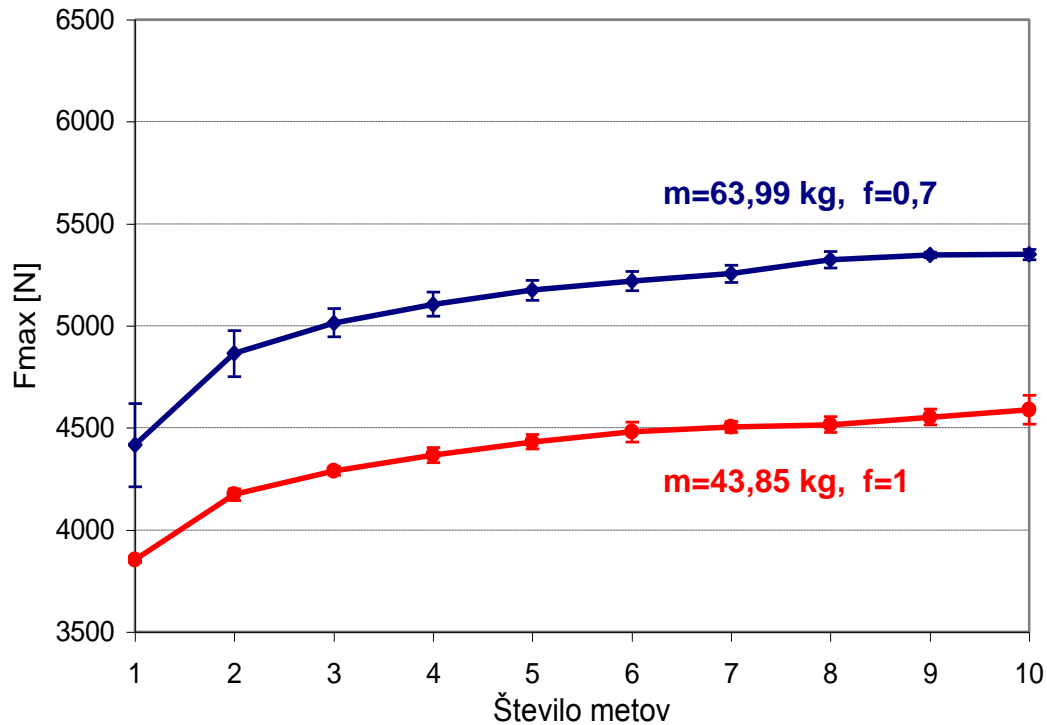


Diagram 3: Maksimalna ujemna sila v odvisnosti od števila metov za vrh proizvajalca C pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

ANALIZA

Na zgornjih treh diagramih so prikazane povprečne vrednosti največje ujemne sile s prikazom standardnih odklonov v odvisnosti od števila metov za vsakega proizvajalca posebej. Narejena je primerjava med vzorci, ki smo jih preizkušali z obremenitvijo 43,85 kilogramov pri faktorju padca 1 in 63,99 kilogramov pri faktorju padca 0,7. Z diagramov je razvidno, da je pri vseh treh proizvajalcih prišlo do razlike pri obremenitvi z različnima masama, in sicer je ujemna sila bistveno večja pri obremenitvi z maso 63,99 kg v primerjavi z ujemno silo pri obremenitvi z maso 43,85 kg. Prirast ujemne sile se po desetem padcu še ne ustavi, kar pomeni, da sila s številom padcev raste. To z vidika uporabnika pomeni zaskrbljujoč podatek, saj pri plezanju v dvoranah in naravnih plezališčih prihaja do večjega števila padcev. To pa nas pripelje do vprašanja, kako varna je še vrh po nekaj zaporednih padcih. Na podlagi teh rezultatov lahko rečemo, da je razlika očitna in pomembna. Ujemna sila je zelo pomembna karakteristika, ki pove, kolikšna sila deluje na telo. Večja, kot je, več neugodnosti to pomeni za plezalca, saj lahko pri večji sili pride do hujših poškodb. Obenem pa tudi pove, kako veliki sili so bili izpostavljeni ostali pomembni deli plezalne opreme.

6.2. NAJVEČJI RAZTEZEK V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV

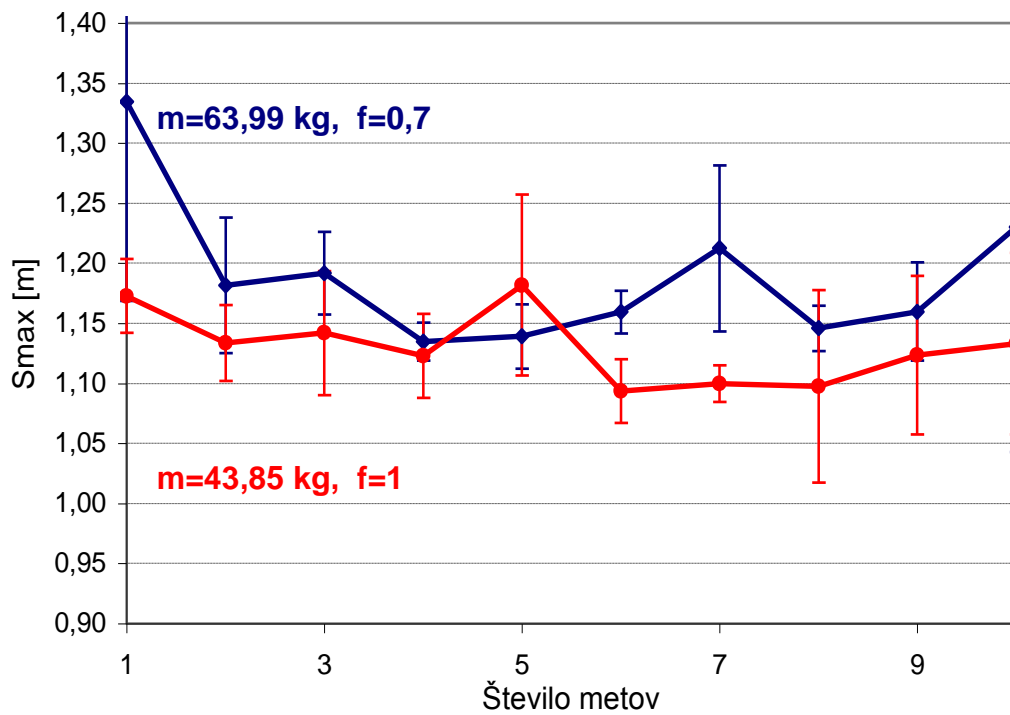


Diagram 4: Največji raztezek v odvisnosti od števila metov za vrv proizvajalca A pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

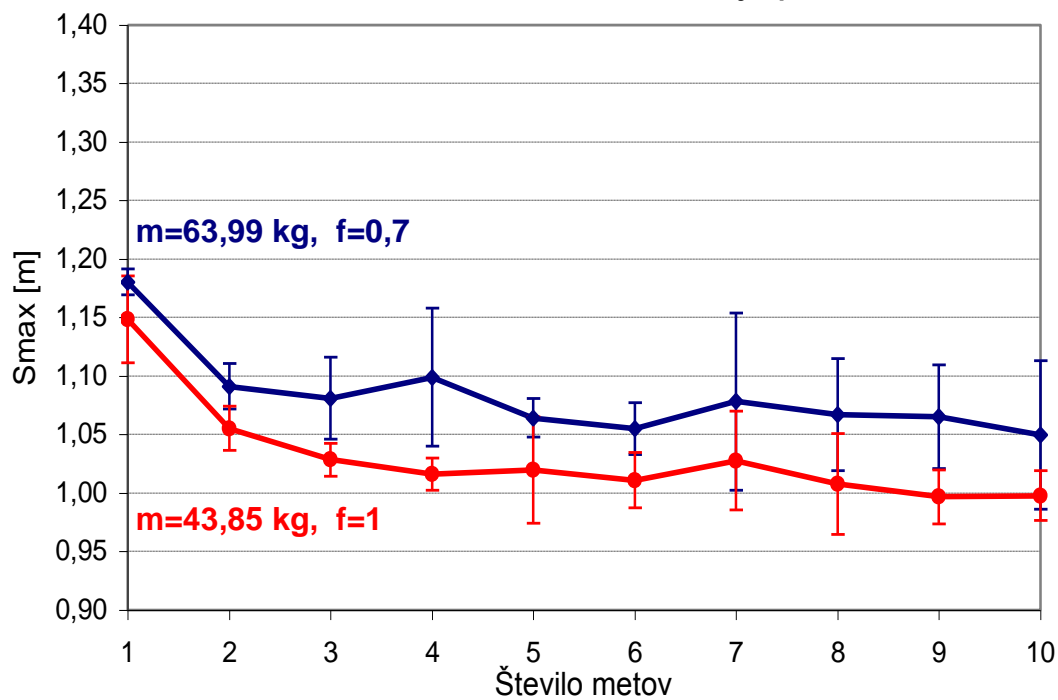


Diagram 5: Največji raztezek v odvisnosti od števila metov za vrv proizvajalca B pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

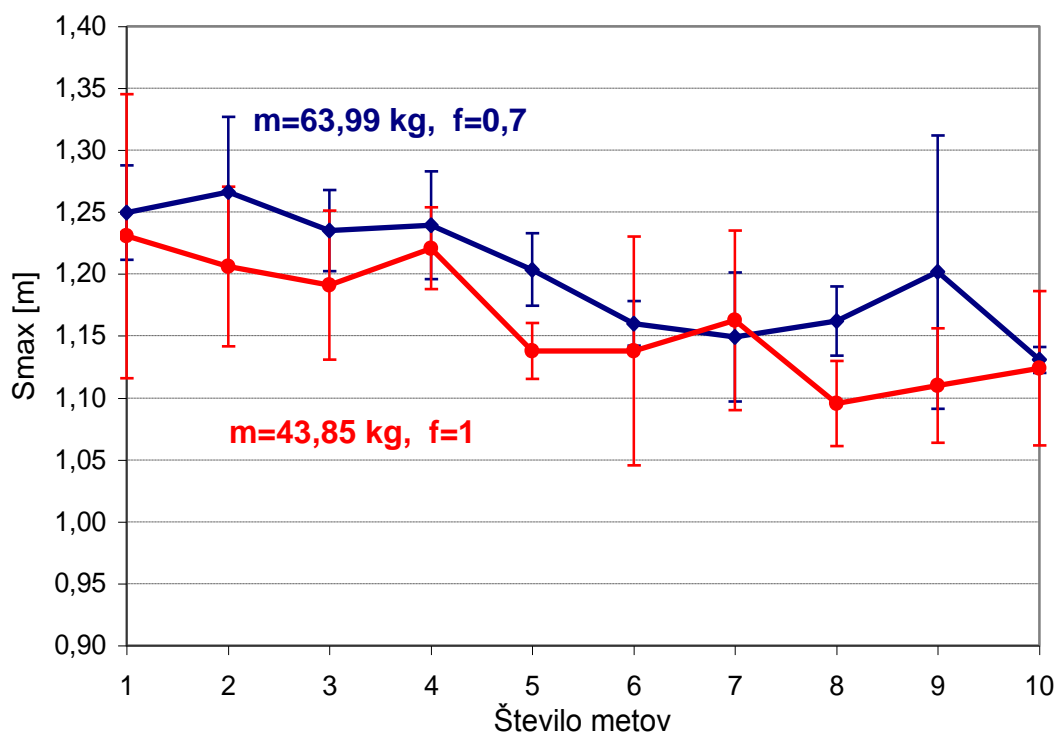


Diagram 6: Največji raztezek v odvisnosti od števila metov za vrv proizvajalca C pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

ANALIZA

Na zgornjih treh diagramih so prikazani povprečni največji raztezki s prikazom standardnih odklonov v odvisnosti od števila metov za vsakega proizvajalca posebej. Narejena je primerjava med vzorci, ki smo jih preizkušali z obremenitvijo 43,85 kilogramov pri faktorju padca 1 in 63,99 kilogramov pri faktorju padca 0,7. Z diagramov je razvidno, da so razlike med največjimi raztezki pri obremenitvi z maso 43,85 kg pri faktorju padca 1 v primerjavi z obremenitvijo 63,99 kg pri faktorju padca 0,7 znotraj prikazanih standardnih odklonov, vendar je opaziti trend zmanjševanja raztezka s številom metov. Takšne razlike je opaziti pri vrveh vseh treh proizvajalcev. Raztezek je z vidika uporabnika pomemben do te mere, da nam pove, koliko se vrv po nekaj padcih sploh še raztegne in kako je po tem še varna. Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da pri različnih obremenitvah ni prišlo do opaznih razlik v največjem raztezu.

6.3. SHRANJENA ENERGIJA V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV

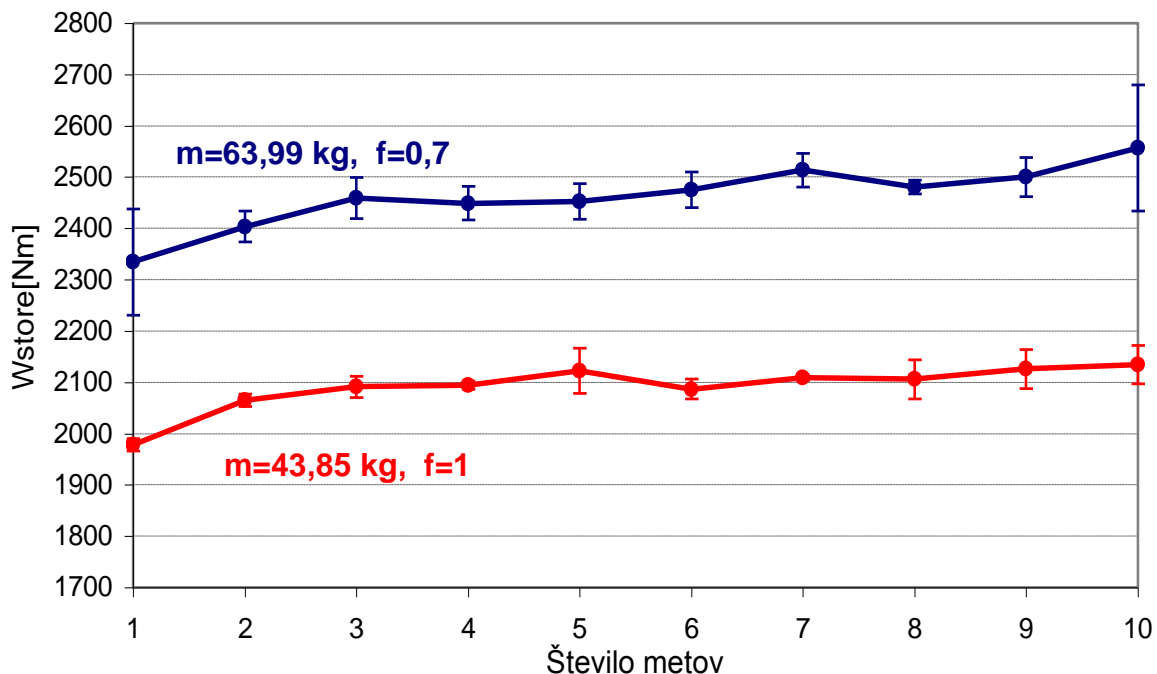


Diagram 7: Shranjena energija v odvisnosti od števila metov za vrv proizvajalca A pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

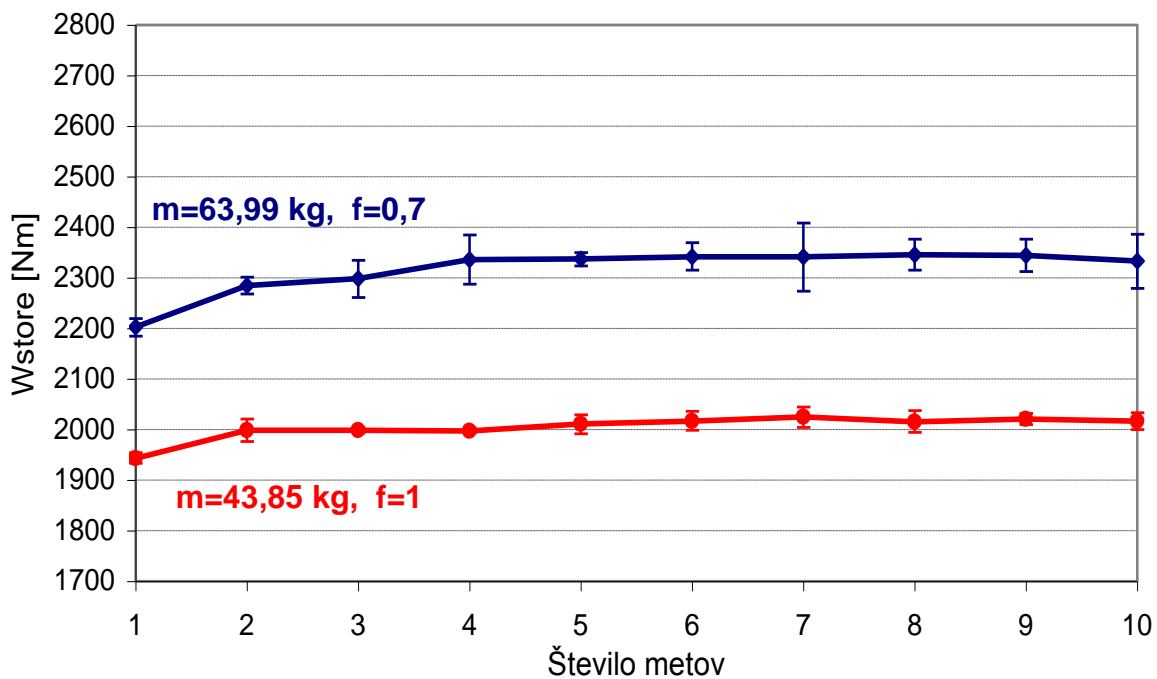


Diagram 8: Shranjena energija v odvisnosti od števila metov za vrv proizvajalca B pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

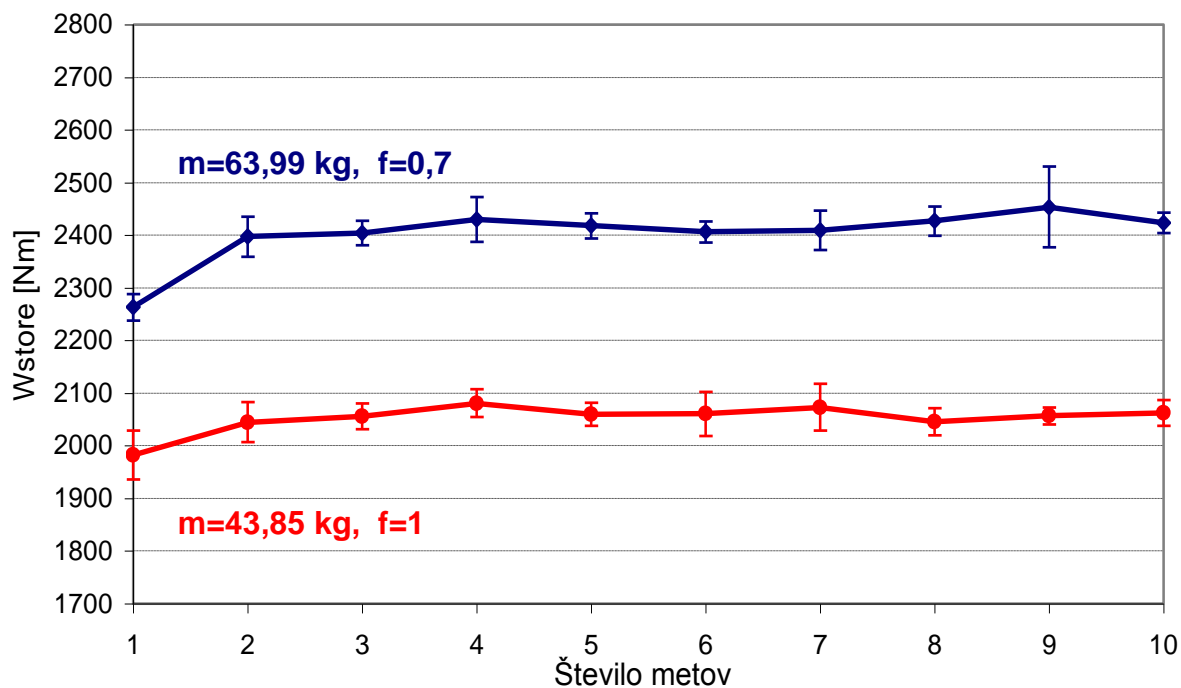


Diagram 9: Shranjena energija v odvisnosti od števila metov za vrvi proizvajalca C pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

ANALIZA

Na zgornjih treh diagramih so prikazane vrednosti povprečne shranjene energije s prikazom standardnih odklonov v odvisnosti od števila metov za vsakega proizvajalca posebej. Narejena je primerjava med vzorci, ki smo jih preizkušali z obremenitvijo 43,85 kilogramov pri faktorju padca 1 in 63,99 kilogramov pri faktorju padca 0,7. Z diagramov je razvidno, da je pri vseh treh proizvajalcih prišlo do razlike pri obremenitvi z različnima masama.

V skladu z definicijo energije pri časovno odvisnem raztezu vrvi (Emri, Nikonov, Zupančič, Florjančič, 2004), shranjeno energijo izrazimo s formulo

$$W_{store} = \int_0^{S_{max}} F(s) ds,$$

kar pomeni, da je to integralska karakteristika, ki jo dobimo kot produkt sile in raztezka. Kot je lahko razvidno iz diagramov 4, 5 in 6, razlike v največjih raztezkih med obremenitvijo z maso 43,85 kg pri faktorju padca 1 in maso 63,99 kg pri faktorju padca 0,7 znotraj prikazanih standardnih odklonov niso velike.

Istočasno pa so razlike ujemne sile pri teh obremenitvah očitne, zato je, glede na prej navedeno formulo za izračun shranjene energije, pričakovati, da bo shranjena energija pri obremenitvi z maso 63,99 kg pri faktorju padca 0,7 očitno večja v primerjavi s shranjeno energijo pri obremenitvi z maso 43,85 kg pri faktorju padca 1. Na podlagi rezultatov, prikazanih v diagramih 7, 8 in 9 tako lahko potrdimo to domnevo, saj je bila ta razlika bistvena pri vseh treh proizvajalcih.

6.4. DISIPIRANA ENERGIJA V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV

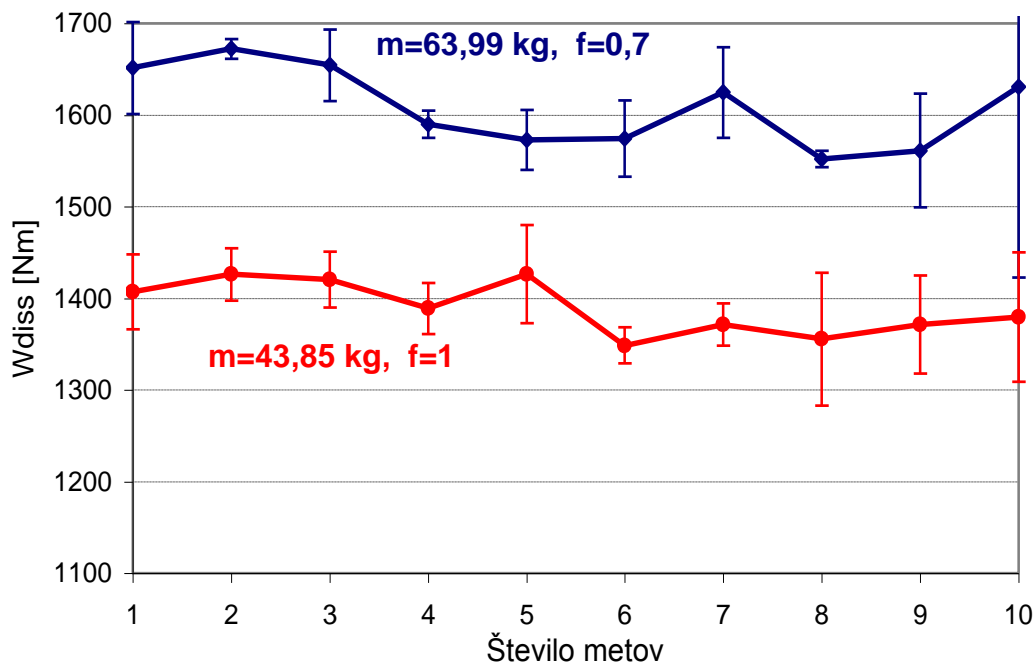


Diagram 10: Disipirana energija v odvisnosti od števila metov za vrvi proizvajalca A pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

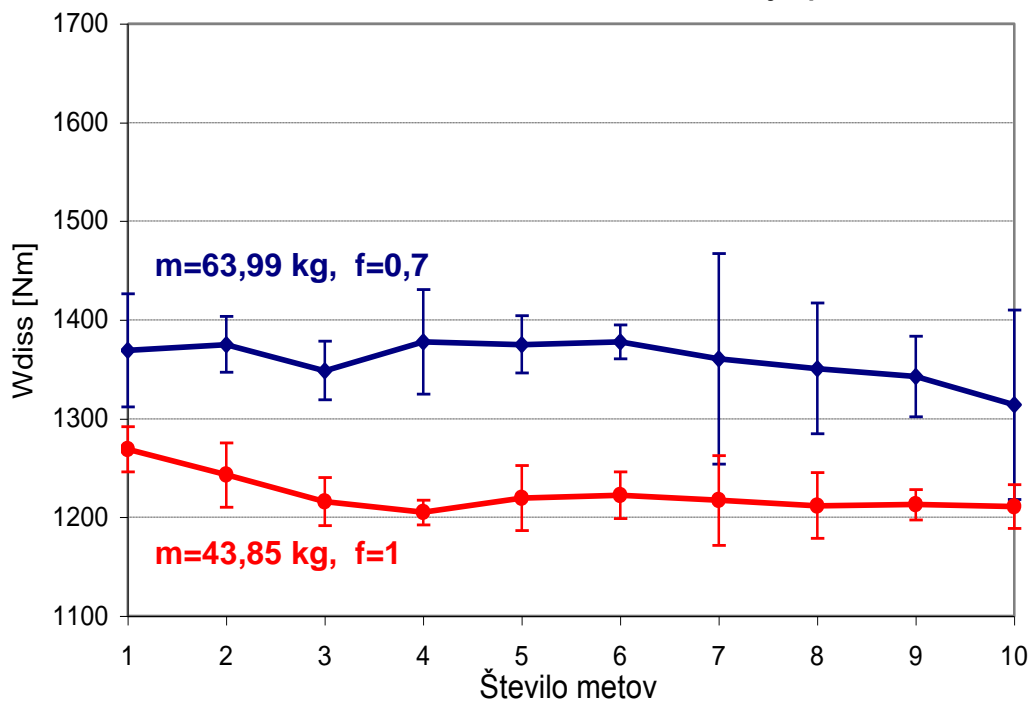


Diagram 11: Disipirana energija v odvisnosti od števila metov za vrvi proizvajalca B pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

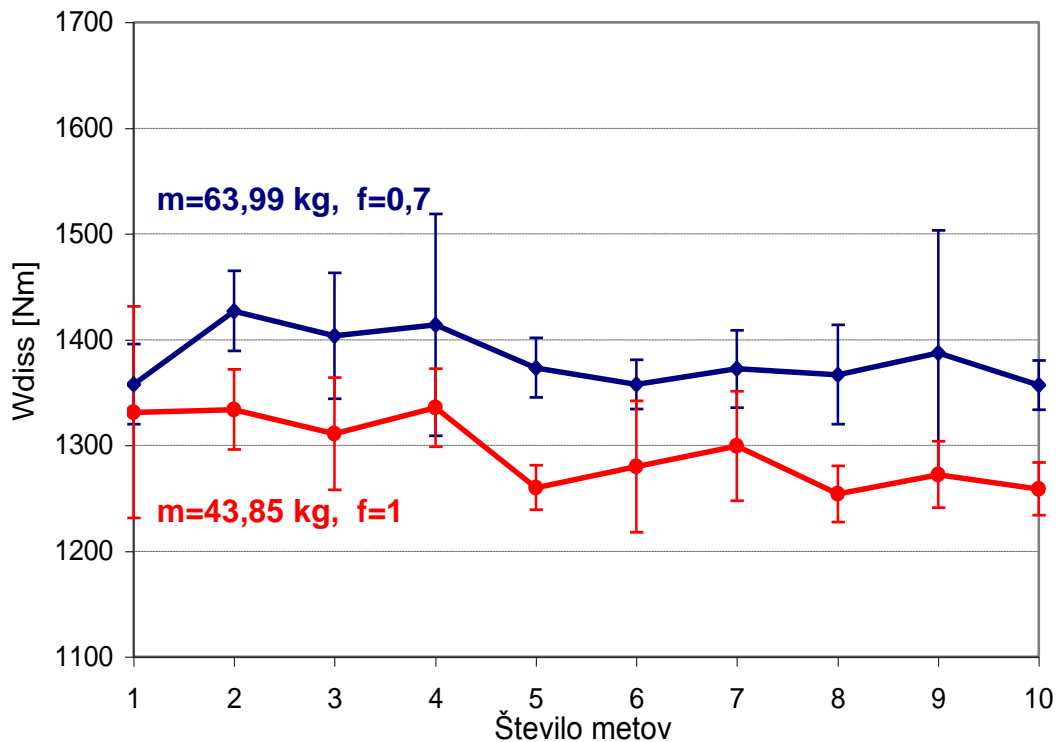


Diagram 12: Disipirana energija v odvisnosti od števila metov za vrv proizvajalca C pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

ANALIZA

Na zgornjih treh diagramih so prikazane vrednosti povprečne disipirane energije s prikazom standardnih odklonov v odvisnosti od števila metov za vsakega proizvajalca posebej. Narejena je primerjava med vzorci, ki smo jih preizkušali z obremenitvijo 43,85 kilogramov pri faktorju padca 1 in 63,99 kilogramov pri faktorju padca 0,7. Z diagramov je razvidno, da je pri vseh treh proizvajalcih prišlo do razlike pri obremenitvi z različnima masama. Disipirana energija je bistveno večja pri obremenitvi z maso 63,99 kg pri faktorju padca 0,7, v primerjavi z obremenitvijo z maso 43,85 kg pri faktorju padca 1. Velike razlike v padcu disipirane energije od meta do meta pri vseh treh proizvajalcih ni. Opaziti je, da disipirana energija s številom metov pada, kar pomeni, da z vsakim nadaljnjim padcem vrv izgublja sposobnost disipacije energije. Z vidika plezalca je višja disipirana boljše, saj nam pove, koliko energije pri sunku padca prevzame vrv. Kot že prej omenjeno, ima vsak predmet pri padcu določeno energijo, ki se ob sunku na plezalca manifestira kot ujemna sila. Kakšna je ta energija in

posledično ujemna sila, je odvisno predvsem od mase plezalca in višine padca. Zato je z vidika uporabnika plezalnih vrvi pomembno, da se v trenutku, ko vrv prestreže padec, čim več energije porazgubi oziroma, da se je čim več prenese v sistem varovanja in ne na plezalca. Tako ima glavno vlogo pri absorbiranju energije plezalna vrv. Vrv je zgrajena tako, da disipira energijo ob sunku padca, s tem pa zmanjšuje silo, ki se prenese na plezalca. Z lastnostmi materiala, iz katerega je vrv zgrajena in z načinom izdelave vrvi, torej prepletanjem vlaken, dosežemo boljše lastnosti vrvi, ki ob sunku služi kot amortizer, s katerim se ta sunek ublaži. Sicer so bili pogoji pri naših preizkusih drugačni, kot so v večini primerov v realnih okoliščinah, vendar rezultati zato niso nič manj pomembni. Pri padcih se namreč del energije lahko porazgubi s trenjem, ki se ustvarja s potekom vrvi preko naravnih tvorb v steni, preko varoval, nameščenih v steni ter s samim potekom, lomom vrvi. Poleg tega lahko veliko k ublažitvi sunka padca pripomore tudi varujoči, saj z načinom varovanja lahko absorbira dobršen del energije. Še vedno pa je najpomembneje zagotoviti vrv, ki bo dispirala čim več energije in obenem ostala dovolj trdna za nadaljnjo uporabo.

6.5. SPREMEMBA POJEMKA V ODVISNOSTI OD ŠTEVILA METOV

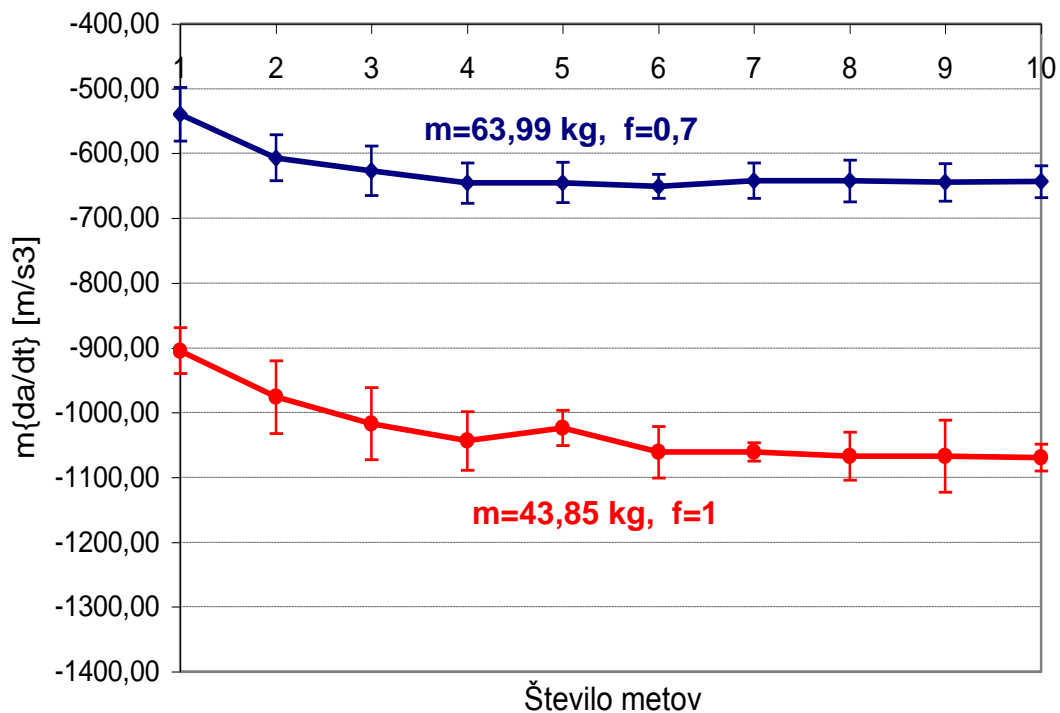


Diagram 13: Sprememba pojemka v odvisnosti od števila metov za vrh proizvajalca A pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

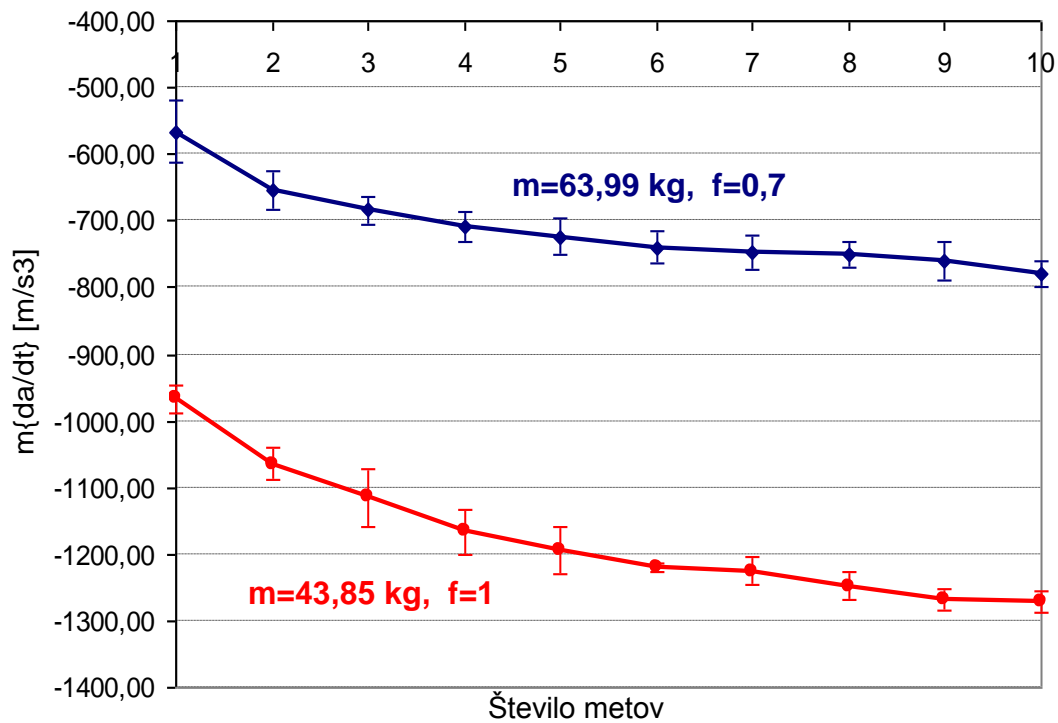


Diagram 14: Sprememba pojemka v odvisnosti od števila metov za vrh proizvajalca B pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

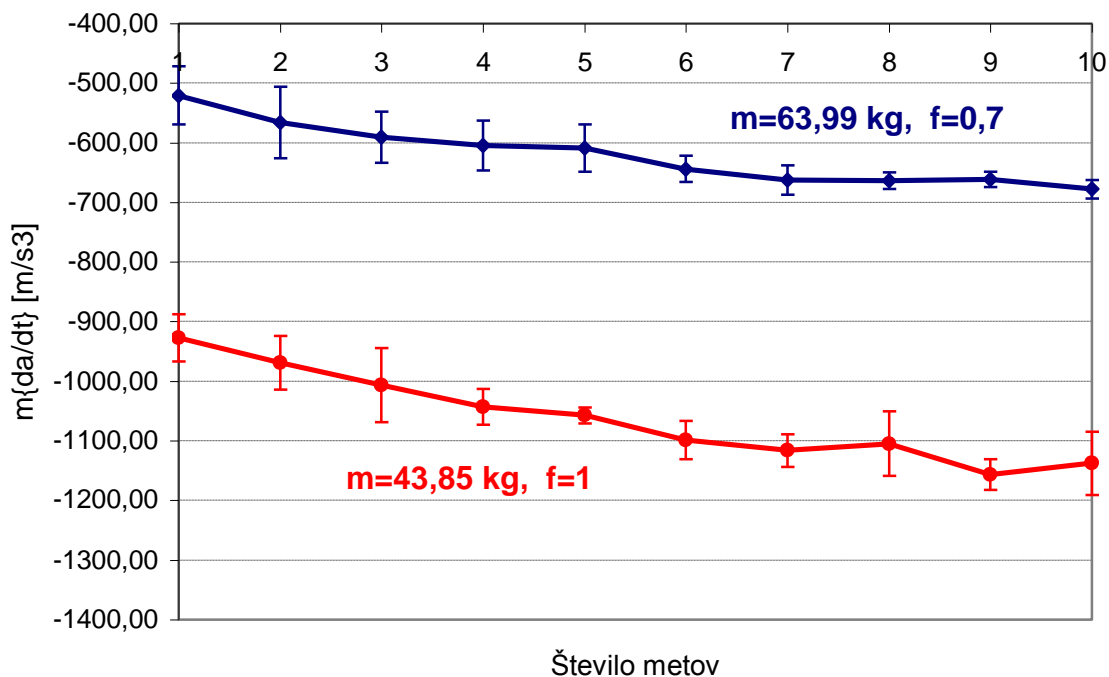


Diagram 15: Sprememba pojemka v odvisnosti od števila metov za vrh proizvajalca C pri dveh različnih masah in dveh različnih faktorjih padca

ANALIZA

Na zgornjih treh diagramih so prikazane povprečne vrednosti spremembe pojemka s prikazom standardnih odklonov v odvisnosti od števila metov za vsakega proizvajalca posebej. Narejena je primerjava med vzorci, ki smo jih preizkušali z obremenitvijo 43,85 kilogramov pri faktorju padca 1 in 63,99 kilogramov pri faktorju padca 0,7. Z diagramov je razvidno, da je pri vseh treh proizvajalcih prišlo do opazne razlike pri obremenitvi z različnima masama. Najmanjša razlika pri začetnem metu je pri vrveh proizvajalca A (68%), sledi proizvajalec B (71%), nato pa proizvajalec C (78%). Iz tega lahko sklepamo, da tudi na to karakteristiko vpliva način, kako vnesemo energijo v vrh. Sprememba pojemka je bistveno manjša pri obremenitvi z maso 63,99 kilogramov pri faktorju padca 0,7, kot pri obremenitvi z maso 43,85 kilogramov pri faktorju padca 1.

Sprememba pojemka je z vidika plezalca zelo pomembna, saj je to končna posledica prestrežanja padca z vrvjo. V trenutku, ko vrh prestreže padec, ima namreč telo določeno hitrost, ki je pogojena s potencialno energijo, ki jo je imelo telo pred padcem. Ta hitrost sprva narašča, v trenutku, ko vrh prestreže padec,

pa začne pojemati. To se odrazi na telesu, ki začne izgubljati hitrost takoj, ko se vrv prične raztegovati. Problem pri človeškem telesu pa ni le pojemek telesa, temveč tudi notranjih vitalnih organov. Ti imajo namreč zaradi zgradbe telesa manjši pojemek kot telo, zato pri padcih zaradi pritiskov, ki nastanejo v telesu, obstaja velika nevarnost za nastanek hudih notranjih poškodb. Manjša, ko je sprememba pojemka v enoti časa, manjši pritiski se ustvarjajo na telo in notranje organe in telo lažje prenese sunke pri padcih. Tako se tu ponovno postavi zahteva po vrvi, ki bi padec naredila manj sunkovit, z manjšo spremembo pojemka ob hkratnem obstoju trdnosti vrvi.

7. ZAKLJUČEK

V okviru diplomskega dela smo opravili primerjavo mehanskih lastnosti enojnih dinamičnih plezalnih vrvi treh proizvajalcev pri impulznem obremenjevanju z dvema različnima masama uteži pri različnih faktorjih padca ob enaki vneseni kinetični energiji. Meritve so bilo opravljene z analitično eksperimentalno metodo, ki omogoča preiskavo časovno odvisnega vedenja vrvi pri impulznem obremenjevanju, ki je bila razvita v Centru za eksperimentalno mehaniko.

Glede na široko paleto uporabnikov plezalnih vrvi, ki plezajo v različnih pogojih in posledično vrvi obremenjujejo z različnimi masami, smo se spraševali, ali je vpliv obremenitve plezalne vrvi z različnimi masami pri različnih faktorjih padca na mehanski odziv vrvi ob enaki vneseni kinetični energiji različen.

Izvedena primerjalna analiza je pokazala, da se mehanske lastnosti vrvi pri obremenjevanju z različno težkimi utežmi, ki smo jim vnesli enako energijo, med seboj razlikujejo. Da smo to lahko posplošili na vse vrvi na tržišču, smo opravili preizkus na vrveh treh različnih proizvajalcev. Razlike med različnimi obremenitvami so opazne pri vseh proizvajalcih. Velike razlike med različnima obremenitvama so opazne pri ujemni sili, shranjeni in disipirani energiji ter spremembi pojemka. Prve tri karakteristike so dosegle večje vrednosti pri obremenitvi s 63,99 kilogramov pri faktorju padca 0,7. Sprememba pojemka pa je dosegla večje vrednosti pri obremenitvi 43,85 kilogramov pri faktorju padca 1. To so zelo zanimivi podatki, saj so ti parametri zelo pomembni za plezalca. Večja vrednost ujemne sile pomeni slabše pogoje za padlega. Tako je zanimivo, da se pri ujemni sili pojavijo višje vrednosti pri večji obremenitvi pri manjšem faktorju padca, pri spremembi pojemka pa večje spremembe dosežejo obremenitve z lažjimi utežmi pri večjem faktorju padca. Poleg tega je disipirana energija prav tako večja pri večji obremenitvi pri manjšem faktorju padca, enako velja tudi za shranjeno energijo, ki pa je večje vrednosti dosegla na račun manjše spremembe v raztezkah vrvi in večje spremembe v ujemni sili.

Na podlagi dobljenih rezultatov in opravljene analize lahko ugotovimo, da ima obremenitev z različnimi masami pri obratno sorazmerno različnih faktorjih padca ob enaki vneseni kinetični energiji različen vpliv na mehanski odziv dinamičnih plezalnih vrvi pri impulzni obremenitvi. Iz tega sledi, da lahko hipotezo, ki smo jo postavili na začetku tega diplomskega dela, potrdimo.

Če to prenesemo v prakso, to pomeni, da se lahko enaka vrv pri različnih uporabnikih obnaša povsem drugače, odvisno od okoliščin, ki botrujejo pri obremenitvah teh vrvi. Težji plezalci lahko pričakujejo, da bodo čutili večji sunek že pri manjših višinah padca, medtem ko bodo lažji plezalci pri padcu z večje višine to občutili manj intenzivno. Po drugi strani pa bodo spremembo pojemka intenzivneje občutili lažji plezalci pri padcih z večje višine v primerjavi s padcem težjega plezalca z manjše višine. Zato je pomembno, da se na tržišču in v proizvodnji stremi k vrvi, ki bi bila vsaj približno enako varna za širši spekter uporabnikov pod različnimi pogoji obremenitve.

Dodatna rešitev bi verjetno bila sprememba že obstoječih standardov, ki predpisujejo karakteristike in testiranje plezalnih vrvi le pod določenimi pogoji. Morda bi bilo smotno, da se oblikujejo nove zahteve, ki bi jih morale izpolniti plezalne vrvi, da bi ustrezale že obstoječim standardom.

8. LITERATURA

Bernstorff, B. S., Emri, I., Florjančič, U., Nikonov, A., Zupančič, B. (2006). Časovno-odvisno vedenje plezalnih vrvi. V J. Korelc, D. Zupan (ur.), *Zbornik Kuhljevi dnevi 2006* (str. 92-98). Ljubljana: Slovensko društvo za mehaniko.

Boksch, F., Vogel, W. (2002). Safety Loss of Mountaineering Ropes by Lowering Cycles in Toprope Climbing. Pridobljeno 16.12.2009 na www.alpineclubofcanada.ca/services/safety/Vogel1.doc.

Burnik, S., Simonič, E., Jereb, B. (2004). Odpornost plašča plezalnih vrvi. *Šport*, 52(2), 62-66.

Cecič Erpič, S., Čufar, M., Grilc, P., Guček, V., Leskošek, B., Simonič, A. (2003). *Osnove športnega plezanja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.

EN 892:2004. (2004). Mountaineering equipment. Dynamic mountaineering ropes. Safety requirements and test methods. The European Committee for Standardisation.

Emri, I., Florjančič, U., Nikonov, A., Zupančič, B. (2008). Time-dependent behavior of ropes under impact loading: a dynamic analysis. *Sports technology*. [Online ed.], vol. 1, no. 4/5, 208-219.

Henkel, O., Schmid, M., Spierings, A. B. (2007) Water absorption and the effect of moisture on the dynamic properties of synthetic mountaineering ropes. *International Journal of Impact Engineering*, 34 (2), 205-215.

Perger, A., Kofler, G. (2006). *Študij vpliva vlage na mehanske lastnosti plezalnih vrvi*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.

Simonič, E. (2003). *Standardi in obraba vrvi*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.

ISJ ZRC SAZU: Slovar slovenskega knjižnega jezika. (b.d.) Ljubljana: ZRC SAZU. Pridobljeno 17.03.2010, s
http://bos.zrcsazu.si/cgi/a03.exe?name=sskj_testa&expression=alpinizem&hs=1

Soles, C. (1995). Single-rope buyer's guide. *Rock & Ice*, 68, 117-134.

Stritar, R. (2004). *Prenos tehnologije iz znanosti v gospodarstvo: poslovni načrt za prodajo nove generacije plezalnih vrvi na ameriškem trgu*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta.

Svet, T. (2007). *Primerjava mehanskih lastnosti mokrih plezalnih vrvi različnih proizvajalcev, izpostavljenih impulznemu obremenjevanju*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Tehovnik, M. (2007). *Primerjava vrvi različnih proizvajalcev pri dinamičnih obremenitvah*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Udovč, M. (2005). *Študij vpliva impulzne obremenitve na vzdržljivost plezalne vrvi*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

A summary of the conference on nylon and ropes Turin, March 8/9, 2002. (2002). Pridobljeno 15.02.2010, s
www.theuiaa.org/upload_area/files/.../Conference_on_nylon_and_ropes.pdf

BEAL – leader mondial des cordes d'escalades. (2008). Vienne, Francija: Beal. Pridobljeno 25.01.2010, s
http://www.bealplanet.com/portail-2006/index.php?page=normes_static&lang=us

Information - ROCA cordes de muntanya, s.l. (b.d.). Santa perpetua de Mogoda, Španija: Roca. Pridobljeno 27.01.2010, s

http://www.rocaropes.com/eng/info_tec.htm

Information - ROCA cordes de muntanya, s.l. (b.d.). Santa perpetua de Mogoda, Španija: Roca. Pridobljeno 27.01.2010, s

http://www.rocaropes.com/eng/tip_cordes.htm