

Lastnosti vrvi

Vpliv različne mase plezalca na odziv plezalnih vrvi pri padcu

Razvoj športne opreme je prinesel vrsto izboljšav, ki so namenjene predvsem varnosti in večjemu udobju uporabnikov — vrhunskih športnikov ali rekreativcev. Športni proizvodi in oprema so izdelani iz sodobnih materialov z uporabo modernih tehnologij. Proizvajalci pri tem upoštevajo mnenja in zahteve športnikov, mnogi koncerni imajo tudi svoje raziskovalno-razvojne laboratorije. K temu jih ne sili le želja ali zahteva po varnosti, temveč tudi vse večja konkurenca na trgu. Tudi plezalne vrvi niso izjema.

Kratka zgodovina

Med prvotnimi in sodobnimi vrvmi je ogromna razlika. Prvotne vrvi so bile narejene iz naravnih materialov, največkrat iz vlaken konoplje, manile in sisal vlaken. Glede na to, da so bile vrvi iz naravnih materialov, je razumljivo, da so bile podvržene biološkemu razkroju, kar je precej skrajšalo njihovo življenjsko dobo. 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 — Nylon (Soles, 1995). Kmalu za tem se je pojavila prav za plezalne potrebe prirejena vrv z imenom Mountainlay Goldline. Tako so plezalci končno dobili lahko, elastično vrv, ki je zdržala padce vodilnega plezalca in ki je za dalj časa postala standardna vrv v alpinizmu. Toda tudi ta vrv ni bila brez napak; bila je preveč raztegljiva, ko je plezalec visel v zraku, pa se je odvijala, kar je povzročalo vrtenje plezalca, imela je majhno gibkost, kar je onemogočalo dobro rokovanje, hitro je vpijala vodo in posledično zmrzovala. Največja pomanjkljivost teh vrvi je bila odsotnost zaščitnega plašča. Vrv je sestavljalo samo jedro, zato je bila močno izpostavljena obrabi (Soles, 1995). Leta 1951 je Edlerid kot prvi predstavil vrv v oplašeni izvedbi. Sestavljena je bila iz notranjega dela (jedra), ki je nosil težo, ter zunanega plašča, katerega glavna naloga je bila ščititi nosilno jedro pred zunanjimi mehaniškimi vplivi. Tovrstne vrvi so se hitro razširile in popolnoma zamenjale svoje predhodnice.

Sestava in zgradba plezalne vrvi

Sedaj se moderne plezalne vrvi najpogosteje izdelujejo iz polimera Nylon 6, ki vrvm zagotavlja dobre mehanske lastnosti in ima dobre fizikalne, termične in kemične lastnosti ter dobro odpornost proti utrujanju, obrabi in mikroorganizmom. Vpliv ultravijolične svetlobe na njegov razpad je veliko manjši kot pri ostalih polimerih, vendar pa je vlakna kljub vsemu treba zaščititi pred dolgoročnim izpostavljanjem sončni svetlobi (Tršelič, Potočnik, Emri, Nikonov, 2004).



Moderne plezalne vrvi so narejene iz množice polimernih niti, ki tvorijo dva osnovna dela vrvi — jedro in plašč. V sredini vrvi je trak z osnovnimi podatki o vrvi: ime vrvi, premer, vrsta vrvi, številka standarda in leto proizvodnje. Sredinski trak lahko vidimo samo, če odrežemo kos vrvi in jo razpletemo. Leto proizvodnje lahko določimo tudi po barvi sredinskega traku (številke 00–09 imajo svojo barvo). Sredinski trak obdaja jedro, ki ga ščiti zunanji plašč vrvi (Tršelič, Potočnik, Emri, Nikonov, 2004). Jedro vrvi je lahko narejeno s postopkom prepletanja ali iz navitkov. Jedro iz navitkov tvorijo tanka polimerna vlakna, ki so navita v navitke. Najmanj trije navitki skupaj tvorijo osnovno vrvico jedra. Število vrvic v jedru je odvisno od premera vrvi. Vrvice jedra so lahko navite v urni 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 (odvijanje) celotne vrvi. Prepletena jedra so sestavljena iz večjega števila vrvic, ki so medsebojno prepletena po celotni dolžini vrvi. Danes se prepletene plezalne vrvi zelo redko izdelujejo in uporabljajo, saj vrvi z jedri iz navitkov izkazujejo mnogo boljše mehanske lastnosti, tudi tiste, ki so predpisane s standardom EN 892. Plašč vrvi, ki je stkan ohlapno ali tesno, obdaja in ščiti jedro vrvi, sestavljeno iz navitkov. Število navitkov v plašču vrvi bistveno vpliva na njene mehanske in druge lastnosti. Ob enakem premeru vrvi daje večje število navitkov boljše dinamične lastnosti, medtem ko manjše število navitkov daje vrvi boljše gibkost in s tem odpornost proti drgnjenju in obrabi. Vrvi z boljšimi dinamičnimi lastnostmi imajo v plašču ponavadi 48 navitkov in s tem večji premer jedra. Vrvi z boljšo gibkostjo imajo ponavadi le okoli 32 navitkov v plašču, vendar pa se jim

¹ Katedra za gorništvost, športno plezanje in aktivnosti v naravi, Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani.

² Članek je kratek povzetek diplomske naloge *Vpliv kinetične energije na mehanske lastnosti dinamičnih plezalnih vrvi pri impulzni obremenitvi*, Katedra za športno plezanje in aktivnosti v naravi, Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani.

³ Katedra za mehaniko polimerov in kompozitov, Center za eksperimentalno mehaniko, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.

⁴ Katedra za mehaniko polimerov in kompozitov, Center za eksperimentalno mehaniko, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.



dinamične lastnosti zaradi manjšega premera jedra poslabšajo (Tršelič, Potočnik, Emri, Nikonov, 2004).

Standardi

Potrnilo o ustreznosti vrvi izda Mednarodna zveza alpinističnih organizacij (Union Internationale des Associations d'Alpinisme – UIAA), na podlagi ustreznosti z mednarodnim standardom. Na mednarodni ravni, vključujoč Evropo, so v splošni uporabi trije standardi. V gorništvu imamo tak standard EN 892, ki temelji na predhodnem standardu, katerega je izdelala UIAA in ki je preko svoje varnostne komisije (Safety Commission) izdelala tudi vrsto drugih standardov. Prvi tak standard je pokrival področje plezalnih vrvi in bil izdelan že pred približno petdesetimi leti ter je z določenimi dopolnitvami v uporabi še danes. Vsi izdelki, ki izpolnjujejo zahteve glede kvalitete in varnosti, so označeni z uradno oznako UIAA (<http://www.theuiaa.org/safety-standards.html>)

Proizvajalci športne opreme pri njenem razvoju upoštevajo tudi mnenja in zahteve športnikov. Plezanje v Paklenici.
Foto: Matevž Vučer

Namen in testne metode standarda EN 892

Standard EN 892 določa varnostne zahteve in postopke testiranja dinamičnih plezalnih vrvi: enojne, dvojne vrvi in dvojčka v oplaščeni izvedbi (hemško Kernmantel) in so predpisani za vsako specifično karakteristiko vrvi posebej. Za test največje ujemne sile, števila padcev do pretrga in dinamičnega raztezka je predpisana višina padca 4,80 m in obremenitev 80 kg za enojne vrvi in dvojčke (obremenjeni sta dve vrvi) ter 55 kg za dvojne vrvi. Polmer roba, preko katerega vrv pade, znaša 5 mm. Faktor padca pri tem testu znaša 1,78.

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

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

Glede debeline in teže vrvi ne obstaja nobenih omejitev, so pa predpisani standardni postopki meritev teh dveh lastnosti. Poleg vsega naštetega standard predpisuje tudi posebno označevanje enojnih, polovičnih vrvi in dvojčkov.

Varnostne zahteve za vrvi, da ustrezajo standardu EN 892

1. Plezalne vrvi morajo biti izdelane v oplaščeni izvedbi in to tako, da jedro prispeva najmanj 50 % celotne mase vrvi.
2. S standardom EN 892 je določena togost vrvi, tako da faktor vozljivosti (K) ne sme preseči vrednosti 1,1. Faktor vozljivosti dobimo iz razmerja med notranjim premerom vozla na vrvi in premera vrvi in nam pove, kakšne lastnosti ima plašč vrvi. Nižja vrednost K pomeni mehkejši plašč vrvi. Zato imajo vrvi, namenjene plezanju v vodstvu, mehkejši plašč, vrvi namenjene plezanju z varovanjem z vrha v plezalnih vrtcih, pa trši plašč.
3. Zamik plašča je s standardom omejen na 40 mm ali 2 % in nam pove, ali prihaja do drsenja med jedrom in plaščem vrvi. Vse moderne vrvi imajo zamik plašča blizu 0 %.
4. Raztezek vrvi nam pove, za koliko se bo vrv pri statični obremenitvi raztegnila. Standard EN 892 zahteva, da je raztezek za enojne vrvi največ 10 %, za dvojne največ 12 % in za dvojčka največ 12 % (obe vrvi skupaj). Raztezek omogoča dinamični plezalni vrv, da absorbira energijo padca. Ta lastnost je precej v nasprotju z zahtevo po čim manjši ujemni sili, kar predstavlja proizvajalcem veliko težavo. Včasih nekateri proizvajalci podajo tudi podatek o raztezu vrvi pri prvem padcu, ki je običajno do 40 % dolžine vrvi (http://www.mammut.ch/en/products_ropes.html)

5. Ujemna sila je ena od najpomembnejših karakteristik plezalnih vrvi. Standard zahteva, da pri preizkusu ujemna sila ne sme preseči 12 kN za enojne vrvi (ena vrv), 8 kN za dvojne vrvi (ena vrv) in 12 kN za dvojčka (obe vrvi).

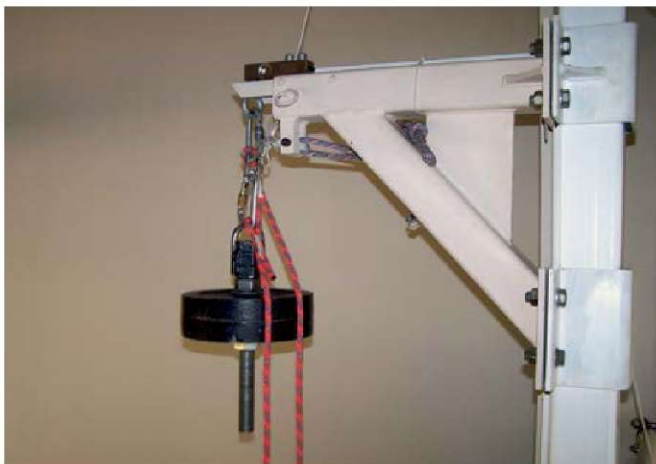
6. Število padcev nam pove, koliko zaporednih padcev (pod pogoji, ki jih določa standard) še zdrži testirana vrv. Najmanjše število padcev, ki še dovoljuje, da vrv pozitivno opravi test, je najmanj 5 za enojno in dvojno vrv ter najmanj 12 za dvojčka (obe vrvi skupaj).

Rezultati obstoječih raziskav

Ko plezalec pade, energijo padca prevzame sistem varovanja; v največji meri je to prav plezalna vrv. Vrv zadrži padec plezalca in prevzame nase vso obremenitev.

V preteklosti izvedene raziskave (Nikonov, Burnik, Emri, 2010) v Centru za eksperimentalno mehaniko Fakultete za strojništvo so pokazale, da se z večanjem števila padcev sposobnost absorpcije energije vrvi zmanjšuje, ker se vlakna po padcu v celoti ne povrnejo v prvotno stanje. To pomeni, da ujemna sila z večanjem števila padcev narašča. Prav tako smo ugotovili, da pride do značilnih sprememb pri dinamičnem raztezu, spremembi pospeška, togosti vrvi, disipirani (izgubljeni) energiji in odbijanju. Shranjena in disipirana energija, velikost ujemne sile ter sprememba pojemka (pospeška) so med seboj nelinearno povezane fizikalne veličine, ki opredeljujejo kvaliteto in varnost plezalca. Ugotovili smo, da se vrvi proizvajalcev različno odzivajo in da prihaja do velikih razlik, ki bi lahko imele tudi negativne posledice na padlega plezalca. Tudi mehanske lastnosti mokrih in suhih vrvi se med seboj močno razlikujejo; pri uporabi mokrih vrvi se povečajo ujemna sila, dinamični raztezek in sprememba pospeška/pojemka, znižata pa se togost vrvi in disipirana energija (Nikonov, Saprunov, Zupančič, Emri, 2011). Z raziskavami smo odgovorili na nekatera pomembna vprašanja o karakteristikah plezalnih vrvi, a še več smo jih odprli. Eno od pomembnih vprašanj je, ali se mehanske lastnosti plezalnih vrvi pri padcu ali padcih spreminjajo glede na težo plezalca. Dejstvo je, da je plezanje v naravnih in na umetnih

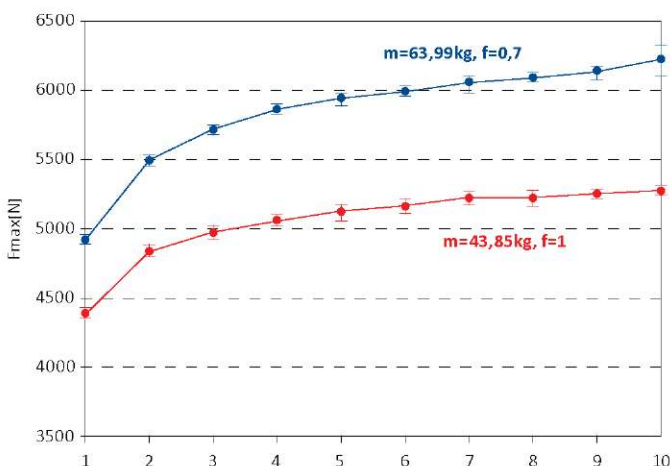
Vrv, pripravljena na prosti met uteži
Foto: Anatolij Nikonov



plezalnih stenah vse bolj popularno in da se z njim ukvarjajo različni ljudje. Opazen je višji obisk športnoplezalnih tečajev, tudi zanimanje za alpinistične šole je precejšnje. Vse bolj se uveljavlja tudi v šolah kot sestavni del vsebin pri športni vzgoji, ob novogradnji športnih dvoran in šol se pogosto postavi tudi plezalno steno. Poleg tega je bil v Ljubljani nedavno odprt sodoben plezalni center, namenjen najširši populaciji plezalcev.

lastnosti vrvi, kot so ujemna sila v vrvi, raztezek vrvi, disperzirana energija v procesu obremenjevanja in razbremenjevanja vrvi ter maksimalna sprememba pospeška in pojemka. Opravili smo primerjavo mehanskih lastnosti enojnih dinamičnih plezalnih vrvi treh proizvajalcev pri impulznem obremenjevanju (z utežjo, ki jo spustimo z izbrane višine) z dvema različnima masama uteži (63,99 kg in 43,85 kg) pri različnih faktorjih padca (0,7 in 1).

Slika 1: Sprememba ujemne sile v odvisnosti od števila metov za dve različni masi uteži



Predstavitev rezultatov raziskave

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 različen. Standardni preizkus ne predvideva preizkusa z različnimi masami uteži. V praksi se mnogokrat srečujemo s padci različno težkih plezalcev z različnih višin, vprašanje pa je, ali je v takem primeru tudi učinek na plezalca vedno enak. Uporabili smo raziskovalno metodo dela, temelječe na uporabi nove metodologije, ki so jo razvili v Centru za eksperimentalno mehaniko za nestandardni preizkus vrvi. S to metodo 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

Rezultati meritev na vrvi enega izmed proizvajalcev so prikazani na slikah 1, 2 in 3.

Izvedena primerjalna analiza je pokazala, da se mehanske lastnosti vrvi pri obremenjevanju z različno težkimi utežmi, ki smo jih vrgli z različnih višin, med seboj razlikujejo. Da smo to lahko posplošili na vse vrvi na tržišču, smo opravili preizkus na vrhovih treh različnih proizvajalcev. Razlike med različnimi obremenitvami so opazne pri vseh proizvajalcih.

Velike razlike med različnimi obremenitvami so opazne pri ujemni sili, disperzirani energiji ter spremembi pojemka. Prvi dve karakteristiki sta dosegli večje vrednosti pri obremenitvi s 63,99 kg težko utežjo pri faktorju padca 0,7. Sprememba pojemka pa je dosegla večje vrednosti pri obremenitvi 43,85 kg težki uteži pri faktorju padca 1. To so zelo zanimivi podatki, saj so ti parametri zelo pomembni za varnost plezalca.

Večja vrednost ujemne sile pomeni slabše pogoje za padlega. Ugotovili smo, da se pri ujemni sili pojavijo višje vrednosti pri večji obremenitvi in pri manjšem faktorju padca, pri spremembi pojemka pa večje

Eksperimentalna naprava za nestandardni preizkus vrvi

Foto: Anatolij Nikonov

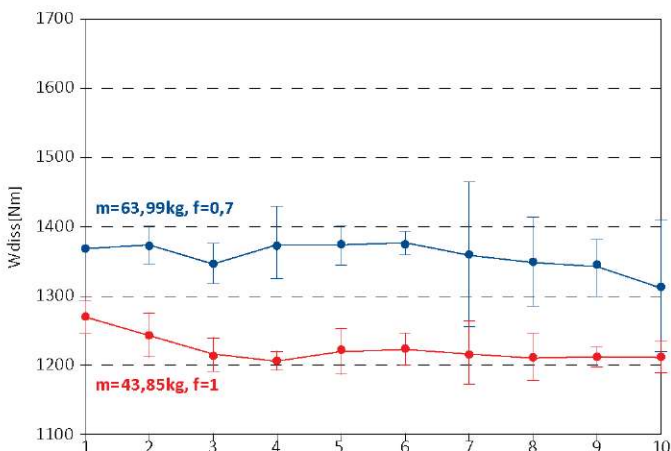
spremembe dosežejo obremenitve z lažjimi utežmi ob večjem faktorju padca. Poleg tega je disipirana energija prav tako večja pri večji obremenitvi in pri manjšem faktorju padca. Če to prenesemo v prakso, pomeni, da se lahko enaka vrvi pri različnih uporabnikih obnaša povsem drugače, odvisno od okoliščin, pri katerih je do obremenitve – padca prišlo. 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. Zelo pomembna je ugotovitev, da bodo sprememba pojemka intenzivne občutili lažji plezalci pri padcih z večje višine v primerjavi s padcem težjih plezalcev z manjše višine. Vesoljske raziskave so pokazale, da sprememba velikosti pojemka/pospeška 120 g (g označuje težnostni pospešek) lahko že povzroči trajne

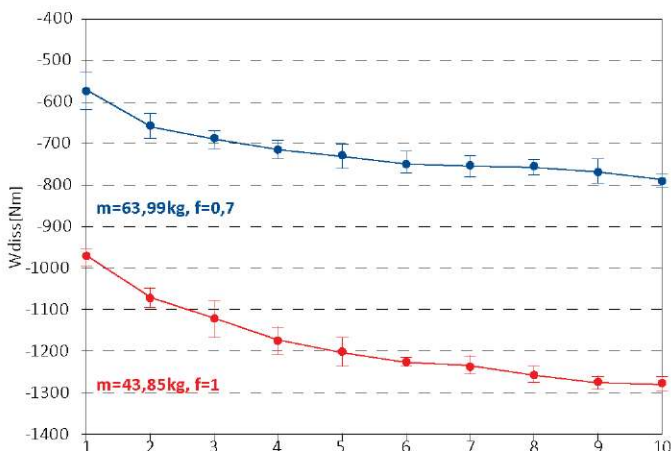
poškodbe na organizmu človeka. Iz Slike 3 lahko razberemo, da lažji plezalec doseže to kritično mejo že pri 5. padcu! To pomeni, da bi pri lažjih plezalcih pri isti vrvi teoretično lahko zaradi velike spremembe pojemka prišlo celo do poškodb. Zato je pomembno, da se na tržišču in v proizvodnji stremi k vrvi, ki bi bila vsaj približno enako varna za širši spekter uporabnikov pod različnimi pogoji obremenitve. ●

Literatura
Anatolij Nikonov, Stojan Burnik, Igor Emri (2010): *Preiskava časovno odvisnega vedenja plezalnih vrvi pri impulznih obremenitvah*, Kinesiologia Slovenica, 16, 3, 7–14.
Anatolij Nikonov, Ivan Saprunov, Barbara Zupancič, Igor Emri (2011): *Influence of moisture on functional properties of climbing ropes*, International Journal of Impact Engineering, 38, 900–909.
Soles, C. (1995). *Single-rope buyer's guide*, Rock & Ice, 68, 117–134.
Ivana Tršeliš Buble, Rok Potočnik, Igor Emri, Anatolij Nikonov (2004): *Analiza počeka pojemka pri ponavljajočih se impulznih obremenitvah*, Seminarska naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Slika 2: Sprememba disipirane energije v odvisnosti od števila metov za dve različni masi uteži



Slika 3: Sprememba pojemka v odvisnosti od števila metov za dve različni masi uteži





KJE:
Mašera Spasičeva 8, Ljubljana
Telefon: 01 530 96 67

KDAJ:
15. 5. - 15. 6. 2015



20€

ENOSTAVNO DO VRHA
ENOSTAVNO DO POPUSTA

WILDFIRE PRO

SALEWA

Sole developer partner



*Popust 20€ se upošteva pri nakupu nad 100€ pri blagovnih znamkah DYNAFIT in SALEWA. Popusti se med seboj ne seštevajo.