

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

DIPLOMSKO DELO

BERNARDA LETNAR

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

Športno treniranje
Kondicijsko treniranje

**VPLIV KINEMATIČNIH SPREMENLJIVK ZADNJIH TREH
KORAKOV ZALETA NA DOLŽINO META PRI VRHUNSKIH
METALKAH KOPJA**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR

izr. prof. dr. Matej Supej

RECENZENTKA

izr. prof. dr. Katja Tomažin

KONZULTANT

Robert Teršek

Avtorica dela:

BERNARDA LETNAR

Ljubljana, 2016

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Mateju Supeju, recenzentki dr. Katji Tomažin, ter konzultantu g. Robertu Teršku za vso pomoč in podporo pri nastanku diplomskega dela. Njihova strokovnost in dostopnost sta bili ključni za nemoteno in kvalitetno izdelavo tega dela.

Prav tako se za podporo pri študiju zahvaljujem svoji družini, ter vsem ostalim, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku pričujočega dela.

Ključne besede: atletika, met kopja, zadnji trije koraki, kinematična analiza

NASLOV DIPLOMSKEGA DELA: Vpliv kinematičnih spremenljivk zadnjih treh korakov zaleta na dolžino meta pri vrhunskih metalkah kopja

Bernarda Letnar

IZVLEČEK:

Na dolžino meta kopja neposredno vplivajo izmetna hitrost kopja, kotna hitrost konice kopja, izmetni kot kopja in izmetna višina kopja. Pravilna izvedba ključnih elementov v zadnjih treh korakih zaleta neposredno vpliva na dva izmed teh dejavnikov

Cilja diplomskega dela sta bila ugotoviti ali kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta statistično pomembno vplivajo na dolžino meta, ter ugotoviti ali so kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta med seboj statistično pomembno povezane.

Vzorec merjencev so predstavljale 4 vrhunske metalko kopja, ki so tekmovali na EAA mitingu v Velenju 2011. Povprečen rezultat tekmovalk na tekmovanju je znašal 61.29 m. Meti so bili posneti z visokofrekvenčnima kamerama Casio Exilim EX-F1 pri frekvenci 300 Hz.

Pri preučevanju predmeta diplomskega dela smo se osredotočili na šest kinematičnih spremenljivk zadnjih treh korakov zaleta. S t-testom smo primerjali najdaljše in najkrajše mete tekmovalk, s Pearsonovim koeficientom korelacije pa medsebojno povezanost spremenljivk pri najdaljših metih tekmovalk.

Analiza dolžin korakov ter kontaktnih časov je pokazala, da so vrednosti, ki jih dosega tekmovalka M. A. najbližje optimalnem modelu meta kopja. Rezultati diplomskega dela so pokazali statistično pomemben vpliv ene kinematične spremenljivke na dolžino meta. Statistično pomembne razlike med boljšimi in slabšimi meti so se pokazale v času delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo. Pearsonov test korelacije je pokazal statistično pomembno korelacijo med spremenljivkama: čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo (ČDZN) in čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore (ČKOP).

V skladu z ugotovitvami diplomskega dela lahko zaključimo, da bi metalko z optimiziranjem časa delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo, ter časa prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore lahko izboljšale dolžino svojih metov.

Keywords: Track & Field, javelin throw, last three steps, kinematic analysis

THESIS TITLE: Contribution of the last three step's kinematic variables to throwing distances of the elite female javelin throwers

Bernarda Letnar

ABSTRACT:

Throwing distance of a javelin throw is directly influenced by the release velocity, pitch rate of the javelin tip, release angle and release height of the javelin. Correct execution of vital elements in the last three steps of a thrower's run-up has a direct influence on two of those factors.

The purpose of the Bachelor's thesis was to determine whether the throwing distance of a javelin is significantly affected by kinematic variables of the last three steps of thrower's run-up and whether there is a statistically significant correlation between them.

Four elite female javelin throwers, competing at EAA Meeting Velenje in 2011, were analyzed. Average throwing distance at competition was 61.29 m. Two high-frequency Casio Exilim EX-F1 cameras were used to film the athletes at 300 Hz frequency.

Six kinematic variables of the last three steps were analyzed. The longest and shortest throws of the competitors were compared using a t-test. Pearson correlation coefficient was used to determine the correlation of the variables in athlete's longest throws.

Javelin thrower M. A. demonstrated lengths and contact times of the last three steps closest to the optimal values. One kinematic variable (time of support leg contact before double support) was proven to have a statistically significant influence on a throwing distance. Pearson correlation coefficient showed statistically significant correlation between two variables: time of support leg contact before double support and first contact to double support time.

It was concluded that increase in athlete's throwing distances could be achieved by optimization of the variables: time of support leg contact before double support and first contact to double support time.

KAZALO

1. UVOD.....	9
1.1. ATLETIKA.....	9
1.2. MET KOPJA	10
1.2.1. TEHNIKA IN PRAVILA META KOPJA.....	10
1.3. STRUKTURA POSAMEZNIH FAZ ZALETA PRI METU KOPJA	11
1.3.1. STRUKTURA CIKLIČNE FAZE ZALETA.....	11
1.3.2. PREHOD IZ CIKLIČNE V ACIKLIČNO ZALETNO FAZO.....	11
1.3.3. STRUKTURA ACIKLIČNE FAZE ZALETA.....	12
1.4. STRUKTURA ZADNJIH TREH KORAKOV ZALETA	13
1.4.1. KORAK PRED IMPULZNIH KORAKOM	13
1.4.2. IMPULZNI KORAK.....	14
1.4.3. IZMETNI KORAK	14
1.5. ŠIRŠE OPREDELJEN PROBLEM DELA: NAJPOMEMBNEJŠI ELEMENTI ZADNJIH TREH KORAKOV ZALETA, KI VPLIVAJO NA DOLŽINO META	16
1.5.1. NAJPOMEMBNEJŠI ELEMENTI ZADNJIH TREH KORAKOV ZALETA	17
1.5.2. IZMETNA HITROST IN ZADNJI TRIJE KORAKI ZALETA	20
1.5.2.1. Idealen graf pospeševanja.....	22
1.5.2.2. Primer izgube hitrosti zaradi napačnega dela nog v zadnjih treh korakih zaleta	23
1.5.3. IZMETNA VIŠINA IN ZADNJI TRIJE KORAKI ZALETA.....	24
1.5.3.1. Primer zviševanja izmetne višine zaradi napačnega dela nog v zadnjih treh korakih zaleta.....	24
1.5.4. RAZMERJE MED ZADNJIH TREH KORAKI ZALETA	25
1.5.5. SILE NA PODLAGO V ZADNJIH TREH KORAKIH ZALETA	26
1.6. CILJI IN HIPOTEZE.....	27
2. METODE DELA	28
2.1. VZOREC MERJENCEV IN PRIDOBIVANJE PODATKOV:.....	28
2.2. VZOREC SPREMENLJIVK:.....	28
2.3. OPIS SPREMENLJIVK:	28
2.4. OBDELAVA PODATKOV:	29
3. REZULTATI	30
3.1. SPREMENLJIVKE ZADNJIH TREH KORAKOV ZALETA	30
3.2. STATISTIČNA OBDELAVA SPREMENLJIVK	33

3.3. KORELACIJA MED SPREMENLJIVKAMI NAJBOLJŠIH METOV	34
4. RAZPRAVA.....	35
5. SKLEP	38
6. VIRI.....	39

1. UVOD

1.1. ATLETIKA

Atletika je skupina športnih disciplin, katerih osnova so tek, skok in met. Atletska tekmovanja se izvajajo na atletskem stadionu, daljši teki pa potekajo tudi izven stadiona (maraton, kros, itd.). Atletska tekmovanja so ena izmed najpogostejših tekmovanj na svetu zaradi enostavnosti tekmovanj in opreme. Tekmovalci so ločeni po spolu, z izjemo štafet in ekipnih tekmovanj pa je atletika individualen šport ("Atletika", 2015).

Prva poročila o organizirani atletiki segajo v leto 776 pr. n. št., ko so potekale antične olimpijske igre. Potekale so na vsaka štiri leta, atleti pa so na začetku tekmovali v teku, metu diska in borbah. Igram so sčasoma dodajali še druge discipline, zmagovalci pa so prejeli vence iz oljčnih vejic ("Atletika", 2015).

Sodobna tekmovanja so organizirana pod okriljem Mednarodne atletske zveze (IAAF). Le-ta jih kategorizira v pet sklopov disciplin: stadionske discipline, tek po cesti, hitra hoja, kros in gorski tek. Sodobne atletske discipline so se razvile v poznem devetnajstem stoletju kot tekmovanje med atleti, ki so zastopali konkurenčne izobraževalne ustanove, vojaške organizacije ali športne klube ("Atletika", 2015).

Tekmovanja potekajo na prostem ter v atletskih dvoranah (pozimi). Večina tekmovanj poteka na atletskem stadionu. Tekaške discipline, ki potekajo na stezi atletskega stadiona ločimo na šprinte, tek na srednje proge in tek na dolge proge. Znotraj teh disciplin potekata tudi teka čez ovire (100 m za ženske, 110 m za moške), ter tek na 3000 m z zaprekami. V polju atletskega stadiona potekata dva sklopa disciplin: meti in skoki. Metalne discipline so suvanje krogle, met diska, met kopja in met kladiva. Skakalne discipline so skok v daljino, troskok, skok v višino, ter skok s palico. Sestavljeni disciplini, ki potekata na velikih tekmovanjih sta deseterboj (moški) ter sedmerboj (ženske). Končni rezultat tekmovalca je seštevek točk, ki jih tekmovalci zberejo v posameznih disciplinah, točkovan po madžarskih tablicah. Tekmovanja v posamezni disciplini mnogoboja potekajo zaporedno, navadno tekom dveh dni. Posamična tekmovanja potekajo vzporedno, tako da se tekmovalci med seboj ne ovirajo (npr. met kopja istočasno kot teki na 200 m) ("Atletika", 2015).

Atletska tekmovanja tvorijo osnovo modernih poletnih olimpijskih iger, večja tekmovanja pa so tudi svetovna in evropska prvenstva. Prav tako na ločenih paraolimpijskih igrah in svetovnih ter evropskih prvenstvih tekmujejo atleti invalidi. Organizacijo tekmovanj nadzirajo svetovna, celinske ali mednarodne zveze. Tekmovanja so rangirana po kvaliteti, od klubskih in šolskih tekmovanj, do najvišjega ranga tekmovanj – olimpijskih iger. Nastop na velikih mednarodnih tekmovanjih si atlet zagotovi z doseganjem mednarodnih norm, nastop na večjih mednarodnih mitingih (Diamantna liga) pa s povabilom organizatorja ("Atletika", 2015).

Atletski stadion navadno sestavlja osem tekaških stez z dolžino 400 m, ter širino 1.22 m. Znotraj tekaških stez se nahaja prostor za skoke, krogi za mete ter zaletišča. Zaletišča, kot tekaške steze pokriva tartan, medtem, ko sta kroga za met kladiva, diska in krogle betonska. Starejši stadioni imajo namesto tartana še peščeno površino ("Atletika", 2015).

V atletskih dvoranah je razporeditev tekmovališč podobna, le da je dolžina steze 200 m. Sestavlja jo štiri do osem prog v širini 0.90 – 1.10 m. Ovinki v dvorani so nagnjeni, notranji del stadiona pa predstavlja prostor za skoke in suvanje krogle, saj met kopja, diska in kladiva zaradi nizkega stropa dvorane v njej ne morajo potekati ("Atletika", 2015).

1.2. MET KOPJA

Met kopja je ena izmed disciplin atletike. V sklopu atletskih tekmovanj nastopa kot posamezna disciplina, ali pa kot ena izmed disciplin mnogoboja. Met kopja je bila sestavna disciplina mnogoboja na antičnih Olimpijskih igrah že leta 708 pred našim štetjem. Takrat so tekmovali v dveh disciplinah: metu v daljino in metu v cilj (Teršek, Štuhec in Čoh, 2003).

Na Olimpijskih igrah 1912, so tekmovali v obojročnem metu kopja, kjer so tekmovalci metali kopje najprej z eno in nato z drugo roko, rezultat pa je bil seštevek obeh metov. Ta disciplina pa se je takrat tudi zadnjič pojavila na tekmovanjih. Leta 1912 je Mednarodna atletska zveza tudi prvič priznala uradni svetovni rekord v moškem metu kopja (Teršek idr., 2003).

Leta 1984 je Uwe Hohn postavil svetovni rekord z rezultatom 104.80 m. Rezultat se je tako že približal maksimalni dolžini stadionov, regularnost pristanka pa je bilo težko določiti, ker so kopja navadno pristajala plosko (Morriss in Bartlett, 1996). Zato so v letu 1986 za moške, ter letu 1999 za ženske uvedli nova pravila, po katerih so težišče kopja premaknili za 4 oz. 3 cm naprej. Kopje se je posledično pogosteje zapikovalo v podlago, daljave pa so se skrajšale. Trenutna svetovna rekorda držita Jan Železny (98.48 m) v moškem metu kopja, ter Barbora Špotakova (72.28 m) v ženskem metu kopja (Teršek idr., 2003).

1.2.1. TEHNIKA IN PRAVILA META KOPJA

Tehnika meta kopja bo v diplomskem delu predstavljena za desničarja. Izraza metalec in tekmovalec oz. metalka in tekmovalka se nanašata na metalca oz. metalko kopja.

Kopje je sestavljeno iz treh glavnih delov: glave, telesa in držaja iz vrvice. Telo kopja je lahko polno ali votlo, izdelano iz kovine ali drugega primerne materiala tako, da tvori trdno celoto. Žensko kopje tehta 600 g in meri 2.2 – 2.3 m, moško kopje pa tehta 800 g in meri 2.6 - 2.7 m. Za tekmovanje so dovoljene teže od 605 – 625 g za žensko, ter 805 – 825 g za moško kopje. Dolžina ženskega kopja lahko varira med 2.2 in 2.3 m, medtem, ko je moško kopje lahko dolgo med 2.6 in 2.7 m (Ambrožič in Udovč 2016).

Tekmovalec mora kopje vreči nad ramenom, ter se pri metu na sme obrniti popolnoma iz smeri meta (s hrbtom v smeri meta). To pravilo je posledica rotacijske tehnike, ki so jo tekmovalci uporabljali do leta 1956, posledica katere so bile izredno nepredvidljive smeri meta. Metalec mora zalet opraviti znotraj zaletišča, ki je dolgo najmanj 30 m in široko 4 m. Sektor za veljaven pristanek kopja znaša 40° (Ambrožič in Udovč 2016).

Različni proizvajalci izdelujejo kopja različnih kakovostnih razredov. Kopja izdelujejo iz treh osnovnih materialov – aluminija, jekla ali karbona. Proizvajalci tako z različno sestavo in polaganjem vlaken izdelujejo različno toga kopja. Mehkejša kopja so namenjena začetnikom, saj kompenzirajo napake v tehniki z večjimi oscilacijami, medtem, ko so trša karbonska kopja zaradi manjših izgub v letu namenjena vrhunskim metalcem (Teršek idr., 2003).

Zaradi razvoja discipline in spremembe težišča kopja se je tekom let spreminjala tudi tehnična izvedba meta.

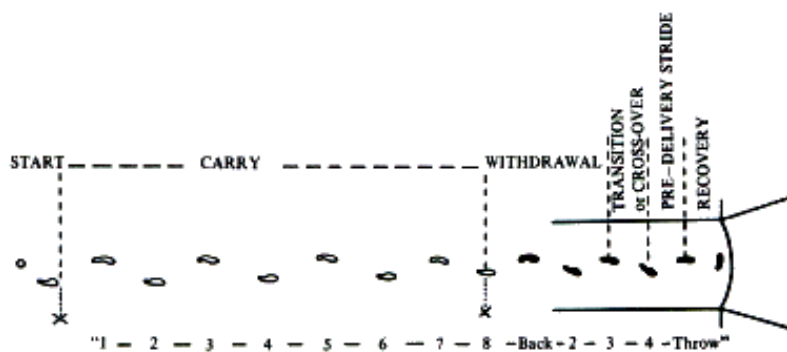
Pred spremembo težišča kopja so kopja jadrjala dlje in pristajala bolj plosko. Metalec v zadnjem koraku s težiščem ni potoval naprej in obračal podporno (zadnjo) nogo, temveč je najprej postavil oporno (sprednjo) nogo in šele nato obračal podporno nogo. Značilnost tega principa je rahla pokrčenost v kolenu oporne noge in izdatno iztegovanje podporne noge v fazi izmeta. V trenutku postavitve podporne noge je bilo stopalo le-te postavljeno skoraj 90

stopinj iz smeri meta. Posledica tega je izguba hitrosti v zadnjem koraku in dolgo delovanje kolčne osi (desnega boka), ki deluje v smeri navzgor. Izrazit je bil tudi kopjaški lok metalca in velika obremenitev trupa v ledvenem predelu. (Teršek idr., 2003).

Pri sodobnem načinu meta kopja tekmovalec takoj po pristanku na prstih podporne noge začne z delom le-te. Težišče metalca v akciji podporne noge potuje naprej in dol. Podporna noga metalca po akciji ostaja pokrčena, svoje delo pa zaključi prva. Oporna noga metalca je postavljena nizko, metalec pa ohranja velik kot v kolenu. Pokrčenost v kolenu v primerjavi s starim načinom meta je minimalna. Delovanje kolčne osi je hitro, kopjaški lok pa je zaradi manjšega zaostanka podporne noge manj izrazit v ledvenem, ter bolj izrazit v prsnem delu (Teršek idr., 2003).

1.3. STRUKTURA POSAMEZNIH FAZ ZALET A PRIMETU KOPJA

Zalet metalca kopja sestavljata ciklična in aciklična faza. Metalec lahko izvaja poljubno dolg zalet znotraj črt zaletišča. Na voljo ima 30 – 36.5 m dolgo tartansko zaletišče. Zalet metalca sestavljata ciklična faza, prehod iz ciklične v aciklično fazo ter aciklična zaletna faza (Slika 1).



Slika 1: Zalet ("Javelin", 2016).

1.3.1. STRUKTURA CIKLIČNE FAZE ZALET A

Metalec kopja ciklično fazo zaleta začne s telesom obrnjenim proti izmetni črti in kopjem v višini glave. Tekmovalec stopnjuje hitrost teka znotraj črt zaletišča v smeri izmetne črte. Cilj tekmovalca v cikličnem delu zaleta je ustvariti optimalno hitrost zaleta, ki jo nato v acikličnem delu nadgradi. Optimalna hitrost je pogojena s fizičnimi in tehničnimi sposobnostmi metalca. Metalci, ki znajo s pravilno izvedbo zadnjih treh korakov zaleta učinkoviteje izkoristiti zaletno hitrost lahko z višjo hitrostjo zaleta dosegajo bistveno višje daljave. Metalci, ki še ne znajo pravilno oceniti optimalne zaletne hitrosti pa lahko zaradi previsoke hitrosti neustrezno delujejo v zadnjem koraku zaleta, saj dosegajo previsoko hitrost, da bi le-tega izvedli pravilno.

1.3.2. PREHOD IZ CIKLIČNE V ACIKLIČNO ZALETNO FAZO

V prehodu iz ciklične v aciklično fazo zaleta tekmovalec odvede kopje v položaj za izmet. Poznamo štiri načine odvajanja kopja (Teršek idr., 2003):

Švedski način

Roka s kopjem potuje nazaj skoraj v vodoravni črti iz položaja pokrčene roke nad ramenom v položaj iztegnjene roke za glavo, z zapestjem rahlo obrnjenim navznoter. V končnem položaju je roka povsem iztegnjena v višini glave malo nad temenom.

Finski način

Za finski način meta je značilno dvokoračno odvajanje nazaj, kar omogoča metalcu, da nadaljuje tekoče nadaljevanja teka iz cikličnega v aciklični del. Pri tem načinu se roka, ki drži kopje nad ramenom giblje navzdol do višine bokov in nato nazaj navzgor v iztegnjen položaj, kot pri švedskem načinu odvajanja kopja. Metalec začne izvajati gib z roko v trenutku opore na desni nogi, zato pride do nasprotnega gibanja desne roke in leve noge. Le-to omogoča metalcu boljšo ritmično pripravo, ki se kasneje obrestuje v impulznem koraku in izmetni fazi.

Nemški način

Nemški način je podoben finskemu. Metalec izvede dodatni gib roke v smeri naprej. Roka se giblje v polkrogu naprej, nato pa še v polkrogu nazaj in gor v iztegnjen položaj za glavo.

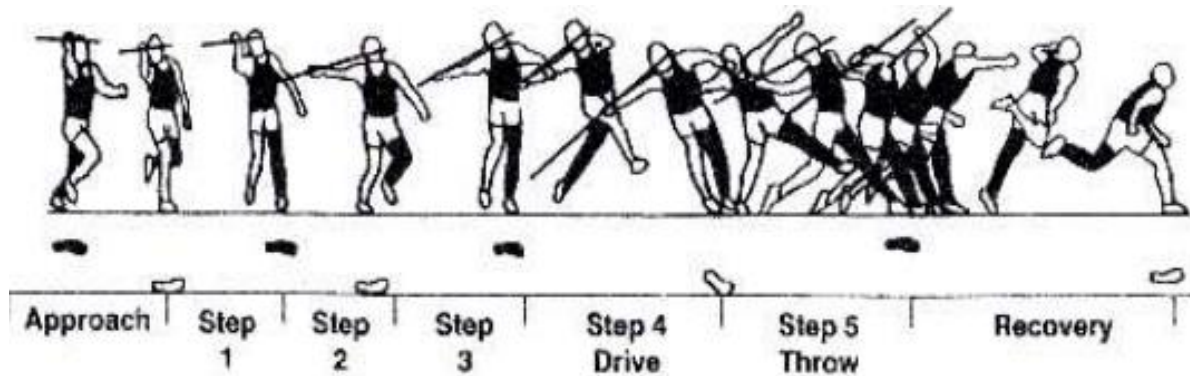
Ruski način

Pri ruskem načinu metalec drži roko s kopjem na pol iztegnjeno nad glavo. V nasprotju z ostalimi načini odvajanja, metalec ne izvede celotnega obrata ramena nazaj za 90 stopinj ampak naredi tako imenovani frontalni zamah nazaj. Po drugi svetovni vojni so tak način odvajanja uporabljali predvsem Rusi. Med vrhunskimi metalci danes le redko kdo še odvaja na tak način.

1.3.3. STRUKTURA ACIKLIČNE FAZE ZALETA

Z odvajanjem kopja in obračanjem bočne ter ramenske osi pravokotno na črto izmeta metalec preide v aciklični del zaleta. Le-tega sestavljajo križni koraki, ki omogočajo predpripravo na izvedbo zadnjih treh korakov zaleta ter prehajanje v pravilne položaje in ustvarjanje pogojev za dolg met. Večina metalcev za izvedbo acikličnega dela zaleta potrebuje 9-12 m, ter izvede skupno 4-7 križnih korakov (Teršek idr., 2003).

Aciklični del zaleta je sestavljen iz križnih korakov in zadnjih treh korakov zaleta (Slika 2). Le-ti so izvedeni v specifičnem razmerju, ki je potrebno za pravilno izvedbo meta.



Slika 2: Aciklični del zaleta in izmet.

Najpomembnejše naloge metalca v tem delu zaleta so (Teršek idr., 2003):

- odvajanje kopja (nameščanje kopja in prehitevanje kopja z nogami)
- doseganje končne horizontalne hitrosti (pospeševanje z nogami)
- ustvarjanje pravilnega ritma korakov (priprava za zadnji korak in pravilen prehod v optimalen izmetni položaj)

V aciklični fazi zaleta ima tekmovalec bočno in ramensko os vzporedno s smerjo meta in izvaja križne korake. Število križnih korakov je individualno pogojeno, glede na čas, ki ga tekmovalec potrebuje za prehod v pravilni položaj in glede na izbrani način odvajanja (začetek odvajanja v opori na levi oz. desni nogi). Cilj tekmovalca je prehod v pravilne položaje, priprava na izvedbo zadnjih treh korakov zaleta, ter doseganje optimalne hitrosti zaleta.

1.4. STRUKTURA ZADNJIH TREH KORAKOV ZALETA

Zadnji trije koraki zaleta so sestavljeni iz koraka pred impulznim korakom (tretji korak), impulznega koraka (drugi korak), ter izmetnega koraka (zadnji korak). Pravilna izvedba teh korakov je ključna za dolg met.

1.4.1. KORAK PRED IMPULZNIH KORAKOM

Tekmovalec v koraku pred impulznim korakom (Slika 2 – "Step 3") izvede odziv s katerim pospešuje spodnje dele telesa. Cilj učinkovitega koraka pred impulznim korakom je močan odziv v horizontalni smeri, ki omogoča prehitevanje nog pred telesom in prehod v uravnotežen položaj na desni nogi. Korak pred impulznim korakom mora biti kratek in aktivno izveden. Kopje, bočna in ramenska os so že postavljeni v pravilnem položaju za nadaljevanje meta.

1.4.2. IMPULZNI KORAK

Impulzni korak se začne s poudarjenim odzivom aktivnega dela stopala leve noge. Le-ta se na tla postavlja nekoliko bolj prečno na smer zaleta, kar omogoča hitrejše potovanje levega boka naprej zaradi delno obrnjene kolčne osi metalca. Odziv z nogo je poudarjen, nizek in usmerjen naprej. V trenutku odziva z levo nogo, desna noga že v potuje naprej in prehiteva telo, ki zaostaja za nogami.

Odvedena roka s kopjem se v impulznem koraku iztegne še dlje nazaj in se s kopjem dokončno namesti. Leva roka je medtem z navzven obrnjeno dlanjo iztegnjena nad višino rame in je v podaljšku ramenske osi, ki znaša približno 180 stopinj (Teršek idr., 2003).

Odriv leve noge in prehod desne noge naprej omogoči tudi potreben nagib telesa v nasprotno smer zaleta za 25-35 stopinj, ki pride še bolj do izraza v zadnjem koraku. Po končanem odzivu z levo nogo (ko desna nadaljuje svojo pot naprej) je telo v brezopornem položaju. V tem trenutku leva noga dohiteva in prehiteva desno. Kolčna in ramenska os sta vzporedni na smer zaleta (Teršek idr., 2003).

Glavne naloge impulznega koraka so (Teršek idr., 2003):

- doseganje največjega prehitevanja zgornjega dela telesa z nogami
- prenos osi bokov iz prečnega položaja v vzporedni položaj glede na smer zaleta in na trenutni položaj ramenske osi,
- naklon zgornjega dela telesa nazaj iz smeri meta
- začetek čim hitrejšega, aktivnega prenosa leve noge naprej takoj po odzivu s prsti (brezoporni položaj, ki je pogojen s kakovostjo impulznega koraka)

Predhodne raziskave navajajo povprečne dolžine impulznega koraka vrhunskih tekmovalk 1.88 m (Jung idr., 2012), 1.88 m (Lehmann, 2010) in 2.24 m (Bottcher in Kuhl, 1998). Čas trajanja impulznega koraka v predhodnih raziskavah znaša 350 ms (Jung idr., 2012) in 244 ms (Lehmann, 2010).

1.4.3. IZMETNI KORAK

Brezopornemu položaju sledi izmetni korak, ki se začne s postavitvijo podporne noge na tla. Le-ta je krajši od predhodnega koraka. Postavitev podporne noge poteka prek sprednjega dela stopala, kar omogoča manjšo izgubo hitrosti in hitrejše obračanje stopala. Desno stopalo se postavlja na tla pod kotom 30 – 45 stopinj iz smeri meta. Center težišča metalca je v trenutku postavitve desne noge za postavljeno nogo. Kopje je odvedeno nazaj, desna roka je v visokem položaju z dlanjo obrnjeno navznoter, ter konico kopja v višini med brado in očmi (Teršek idr., 2003).

Kolčna in ramenska os sta vzporedni s smerjo meta. Ob stiku s tlemi je kot v kolenu desne noge med 120 in 150 stopinjami, kar omogoča aktivno prenašanje težišča in postavljanje oporne noge. Podporna noga med postavljanjem oporne noge nadaljuje s krčenjem in obračanjem tako, da boki in težišče telesa metalca lahko nezadržano potujejo naprej čez desno nogo. To prenašanje težišča je v strokovni literaturi opisano kot "položaj mehkega koraka" (Teršek idr., 2003).

V izmetnem koraku se pojavi odmik postavitve nog iz smeri zaleta. Impulzni korak metalca kopja je izveden rahlo v levo, tako, da na podporni nogi pristane bližje levemu robu metališča.

Desna noga se tako postavlja za 15 - 35 cm bolj v levo, leva noga pa se postavlja v levo stran še dodatnih 20 – 50 cm od že postavljene desne noge (Teršek idr., 2003).

Postavitev oporne noge v zadnjem koraku mora biti čim hitrejša, da metalcu omogoči hitrejšo izvedbo kinetične verige mišic in manjšo izgubo vodoravne hitrosti. Oporna noga se v izmetnem koraku postavlja na tla v nizkem nivoju nad tlemi, preko pete in je povsem iztegnjena v kolenu. Tik pred postavitvijo je že izometrično napeta, da v oporni fazi lahko zdrži silo, ki je enaka večkratni teži metalca (Teršek idr., 2003).

Predhodne raziskave navajajo povprečne dolžine izmetnega koraka vrhunskih tekmovalk 1.53 m (Jung idr., 2012), 1.76 m (Lehmann, 2010) in 1.60 m (Bottcher in Kuhl, 1998). Čas trajanja izmetnega koraka v predhodnih raziskavah znaša 198 ms (Jung idr., 2012) in 208 ms (Lehmann, 2010).

Faze opore v izmetnem koraku:

V izmetnem koraku metalec prehaja iz faze enojne opore v fazo dvojne opore.

Faza enojne opore:

V fazi enojne opore (Slika 3) se metalec kopja aktivno znižuje na podporni nogi (desna noga pri desničarju) z namenom znižanja pod nivo kopja (znižanje pod orodje) in prenašanja teže, kar omogoča hitro postavitev leve noge na tla (prehod v dvojno oporo). Z aktivnim delom podporne noge pred postavitvijo oporne noge metalec pospešuje desni bok in tako začinja zadnjo fazo pospeševanja.

Faza dvojne opore

V fazi dvojne opore (Slika 4) metalec kopja prenaša težo na sprednjo nogo (oporna noga), ki se na tla postavlja preko pete. Metalec stremi k čim manjšem pokrčenju sprednje noge, saj le-ta omogoča učinkovito oporo in blokado ter s tem prenos hitrosti zaleta v izmetno hitrost kopja. Cilj metalca kopja v tej fazi je postavljanje učinkovite opore na nogah, na katero se lahko metalec opre v fazi izmeta kopja.



Slika 3: Faza enojne opore (Monneret,2016).



Slika 4: Faza dvojne opore (Monneret,2016).

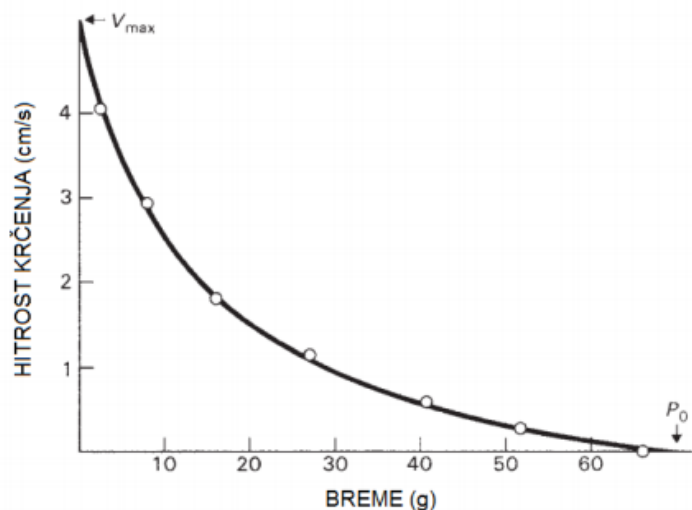
1.5. ŠIRŠE OPREDELJEN PROBLEM DELA: NAJPOMEMBNEJŠI ELEMENTI ZADNJIH TREH KORAKOV ZAETA, KI VPLIVAJO NA DOLŽINO META

Neposreden vpliv na let kopja in dolžino meta imajo naslednji dejavniki: izmetna hitrost kopja, kotna hitrost konice kopja, izmetni kot kopja in izmetna višina kopja. Pravilna izvedba ključnih elementov v zadnjih treh korakih zaeta neposredno vpliva na dva izmed teh dejavnikov (Teršek idr., 2003).

V zadnjih treh korakih zaeta tekmovalec z delom nog vpliva na izmetno hitrost in višino kopja. Izmetno hitrost tekmovalec zvišuje z učinkovitim prenosom zaletne hitrosti v izmetno hitrost, optimalno izmetno višino kopja pa dosega z zniževanjem na desni nogi (izmetni korak). V zadnjih treh korakih zaeta je zato izredno pomembno pravilno razmerje med dolžinami in frekvencami korakov, kar omogoča prehod v optimalen položaj za met, ter učinkovit prenos hitrosti iz zaeta v izmetno hitrost, s katero tekmovalec vrže orodje. Zadnji trije koraki zaeta so za dolžino izmeta izredno pomembni, ker so spodnje ekstremitete v stiku s podlago in tako predstavljajo oporo s tlemi, s pomočjo katere lahko metalec razvija in prenaša sile na orodje (Teršek idr., 2003).

To potrjuje tudi raziskava Alexandra (1991), ki je raziskoval pomembnost proksimalno – distalnega principa pri metih. Ugotovil je, da ustrezna tehnična izvedba, ter optimalno zaporedje vključevanja mišic omogočajo doseganje maksimalne hitrosti metalnega orodja. Prekratka časovna zakasnitev med delom proksimalnih in distalnih mišic pomeni, da je čas za kontrakcijo proksimalnih mišic skrajšan, kar pomeni manj navora in krajši razpon giba, ter posledično krajši met. Raziskava dodatno potrjuje pomembnost kvalitetnega dela nog v zadnjih treh korakih, za doseganje maksimalne hitrosti metalne roke.

Met kopja je specifična disciplina iz vidika razmerja med maksimalno hitrostjo in silo. Kopje je najlažje orodje, ki ga atleti uporabljajo v metalnih disciplinah (moško kopje – 800 g, žensko kopje – 600 g), zato metalki kopja dosegajo višje izmetne hitrosti kot atleti v ostalih disciplinah (moški: met kopja - okoli 32 m/s, moški: suvanje krogle – okoli 14 m/s). Na grafu, ki prikazuje razmerje med silo in hitrostjo tako ti dve disciplini zajemata različni vrednosti (Slika 5). Dodatna spremenljivka, ki vpliva na specifične zahteve discipline je čas izvedbe giba. Povprečni čas potreben za doseganje maksimalne sile znaša 0.3 – 0.4 s. Izmetna faza v metu kopja traja 0.16 – 0.18 s, zato tekmovalci ne morejo dosegati maksimalne sile in prihaja do deficita eksplozivne moči. Deficit eksplozivne moči predstavlja procent atletovega potenciala za ustvarjanje sile, ki ni bil uporabljen v metu. Korelacija med maksimalno silo in hitrostjo gibanja v izmetu meta kopja je zato nizka, tekmovalci pa posledično namenjajo dvigovanju uteži le 15-25% treninga. Metalec kopja zato stremi k povečanju izmetne hitrosti s povečanjem hitrosti zaeta in izboljšanjem tehnike, kar omogoča boljši prenos zaletne hitrosti v izmetno hitrost z učinkovitim prenosom energije prek telesnih segmentov v zadnjih treh korakih zaeta (Zatsiorsky, 1995).



Slika 5: Graf razmerja med silo in hitrostjo (Pišotek, 2014)

1.5.1. NAJPOMEMBNEJŠI ELEMENTI ZADNJIH TREH KORAKOV ZALETA

V zadnjih treh korakih zaleta metalec izvede pet elementov, katerih pravilna izvedba pomembno vpliva na dolžino meta. V nadaljevanju so predstavljeni posamezni elementi v povezavi s kinematičnimi spremenljivkami, ki so analizirane v sklopu tega diplomskega dela.

Impulzni korak

Relevantne spremenljivke:

DIK – Dolžina impulznega koraka

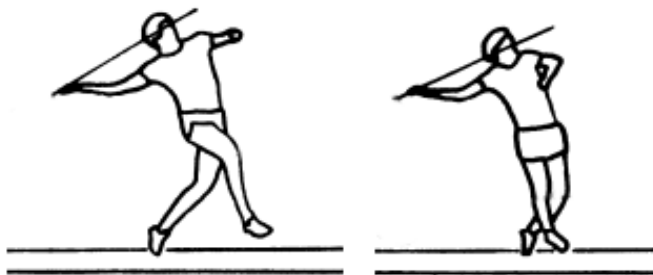
RIZK - Razmerje med impulznim in izmetnim korakom

ČDSN – Čas delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak

ČDZN - Čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo

Tehnična izvedba:

Metalec impulzni korak prične z aktivnim odzivom z levo nogo, ki omogoči prehitevanje nog pred telesom. Impulzni korak mora biti dolg in izveden nizko nad tlemi. Čas delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak mora biti kratek. Iz Slike 6 je razvidno, da je tekmovalec na levi strani izvedel dober odziv z levo nogo, kar mu omogoča dovolj časa za prehod v ustrejni položaj. Desna noga z visokim kolonom potuje naprej in se postavlja v primeren položaj za pristanek na podporni nogi. Metalec na desni strani impulznega koraka ni izvedel ustrezno, zato mu desna noga zaostaja in se na tla postavlja prekmalu. S tem skrajšuje dolžino impulznega koraka, ter čas, ki ga bo imel na voljo za delovanje zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo.



Slika 6: Impulzni korak. Pravilna izvedba (levo), ter nepravilna izvedba (desno) (Prirejeno po Fuchser, 2012).

Pristanek na podporni nogi

Relevantne spremenljivke:

RIZK - Razmerje med impulznim in izmetnim korakom

ČDZN - Čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo

Tehnična izvedba:

Metalec na levi (Slika 7) je zaradi ustrezne izvedbe impulznega koraka pristal na podporni nogi v rahlo sedečem položaju s podporno ного pred telesom. Prihod v ta položaj mu omogoča dolg čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo, ter optimalno nadaljevanje izmetnega koraka. Metalec na desni v sedeč položaj ne prihaja in zaradi tega ne bo mogel izkoristiti celotnega delovanja podporne noge.



Slika 7: Pristanek na podporni nogi. Pravilna izvedba (levo), ter nepravilna izvedba (desno) (Prirejeno po Fuchser, 2012).

Delovanje podporne noge

Relevantne spremenljivke:

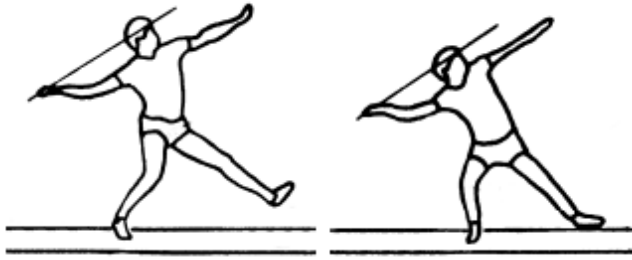
DIZK – Dolžina izmetnega koraka

ČKOP - Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore

ČDZN - Čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo

Tehnična izvedba:

Po pristanku na podporni nogi metalec z aktivnim delovanjem le-te nadzoruje dolžino izmetnega koraka in čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore. Metalec na levi strani (Slika 8) pravilno ohranja težišče nad podporno nogo in izteguje levo oporno nogo daleč pred sebe, da bo dosegel ustrezno dolžino izmetnega koraka. Metalec na desni strani zaradi neaktivne podporne noge, ki zaostaja za telesom, oporno nogo že postavlja na tla pod previsokim kotom in se posledično ne znižuje pod kopje.



Slika 8: Delovanje podporne noge. Pravilna izvedba (levo), ter nepravilna izvedba (desno) (Prirejeno po Fuchser, 2012).

Postavljanje oporne noge

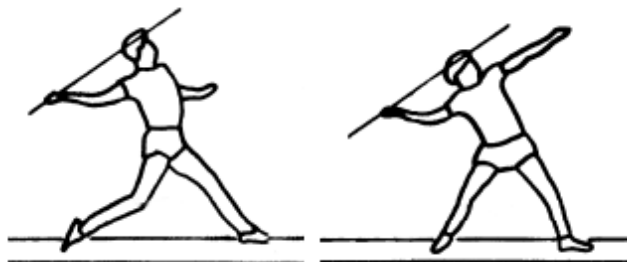
Relevantne spremenljivke:

DIZK – Dolžina izmetnega koraka

ČKOP - Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore

Tehnična izvedba:

Zaradi pravilnega dela nog v predhodnih fazah meta tekmovalc na levi (Slika 9) pravilno prehaja v položaj kopjaškega loka. Podporna noga je opravila svoje delo in je obrnjena v smer meta, oporna noga je postavljena daleč pred telo, metalec pa je nizko pod kopjem z dobro oporo na nogah. Metalec na desni strani pušča neaktivno desno nogo za telesom, ter tako ne prenaša hitrosti pridobljene iz zaleta naprej. Zaradi tega je postavitvev oporne noge opravljena pod previsokim kotom, njegov izmetni korak pa je prekratek.



Slika 9: Postavljanje oporne noge. Pravilna izvedba (levo), ter nepravilna izvedba (desno) (Prirejeno po Fuchser, 2012).

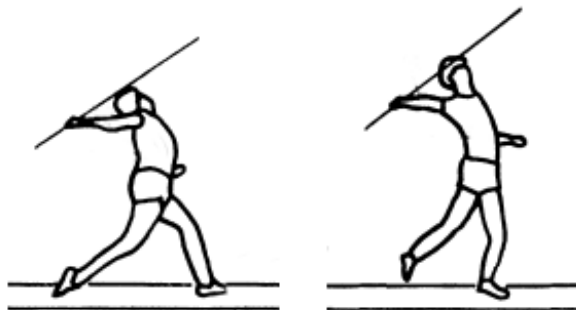
Delovanje na orodje v izmetnem koraku

Relevantne spremenljivke:

DIZK – Dolžina izmetnega koraka

Tehnična izvedba:

Zaradi ustreznega dela v predhodnih fazah meta tekmovalec na levi (Slika 10) obremenjuje noge in ustrezno prenaša energijo v kopje. Napetost kopjaškega loka tvori v trupu in jo usmerja naprej. Zaradi neustreznega dela v predhodnih fazah metalec na desni strani izgublja oporo z nogami, ter s tem energijo, ki bi jo lahko prenesel v kopje. Zaradi previsokega kota postavitve oporne noge na njej nima ustrezne opore in ne prihaja do ustvarjanja dodatnih napetosti zaradi učinka blokade ob postavitvi oporne noge. Kopjaški lok zato tvori le v roki in zgornjem delu trupa, energijo pa usmerja navzgor namesto naprej v kopje.



Slika 10: Delovanje na orodje v izmetnem koraku. Pravilna izvedba (levo), ter nepravilna izvedba (desno) (Prirejeno po Fuchser, 2012).

1.5.2. IZMETNA HITROST IN ZADNJI TRIJE KORAKI ZALETA

Ogiolda (1994) razdeli razvoj hitrosti metalca kopja glede na različne kriterije. Tako navaja tri različne faze pospeševanja:

- *Pospeševanje celotnega metalca in kopja s pomočjo moči in hitrosti nog.*
- *Pospeševanje metalčevega trupa zaradi zaviranja spodnjih delov telesa.* Zaradi zaviranja spodnjega dela telesa (velika masa) prihaja do prenosa energije na zgornje dele telesa (majhna masa), zaradi česar le-ti pospešujejo.
- *Pospeševanje metalčeve roke, dlani in kopja.* Zaradi zaviranja zgornjega dela telesa prihaja do prenosa energije na ramo, dlan in kopje, posledica česar je dodatno podajanje hitrosti kopju.

Glede na faze meta kopja, Ogiolda (1994) razdeli faze podeljevanja hitrosti orodja na tri faze:

- *Ciklična faza zaleta.* Stopnjevan tek metalca po zaletišču, navadno 8 – 12 korakov.
- *Aciklična faza zaleta.* Tek v križnih korakih s poudarjenim impulznim korakom.

- *Končna faza pospeševanja.* Končna faza podeljevanja hitrosti kopju zaradi prenosa energije iz spodnjih na zgornje dele telesa in v kopje, ki se zgodi v izmetnem koraku.

Raziskava Whitinga, Gregorja in Halushke (1991) potrjuje, da postopno pospeševanje hitrosti z boki, ramo in komolcem v izmetnem koraku pomembno vpliva na doseganje daljših metov.

Metalec kopja začetno hitrost kopju podeli s tekom po zaletišču (hitrost zaleta). Vrhunske metalke kopja dosegajo hitrosti zaleta med 6-6.5 m/s, medtem ko vrhunski metalci kopja dosegajo hitrosti med 6 – 7 m/s. V trenutku dotika levega stopala s tlemi v izmetnem koraku metalec hitrost zaleta pretvori v kombinacijo vertikalne in horizontalne hitrosti zgornjega dela telesa, ter končno v izmetno hitrost kopja. V trenutku stika levega stopala s podlago je hitrost kopja pri metalcih moškega spola okoli 8 m/s, kar pomeni, da mora tekmovalec v naslednjih 0.12 s ustvariti dodatne 20 – 21 m/s hitrosti. Vrhunski metalci kopja 70% izmetne hitrosti ustvarijo v zadnje 0.1 sekunde meta. Položaj telesa metalca v tem trenutku je zato izredno pomemben. (Morriss, C., Bartlett, R., 1996).

Izmetna hitrost je hitrost kopja v trenutku izmeta. Končni cilj metalca kopja je doseganje maksimalne izmetne hitrosti s postopnim pospeševanjem v posameznih fazah meta. Metalci kopja to dosegajo z ustreznim delovanjem v zadnjih treh korakih zaleta.

Izmetna hitrost je najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na dolžino meta. Pri hitrostih okoli 30 m/s se ob povečanju izmetne hitrosti za 1 m/s dolžina meta poveča za 6 m (Terauds, 1990).

Vrhunski moški metalci dosegajo hitrosti okoli 32 m/s (115 km/h), vrhunske ženske metalke pa okoli 28 m/s (100 km/h) (Ogiolda, 1994).

Whiting idr. (1991) navajajo korelacijo med izmetno hitrostjo in dolžino meta pri moških $r = 0.77$ ($p < 0.01$) in 0.74 ($p < 0.01$) pri ženskah.

Valleala (2015) navaja naslednje korelacije med izmetno hitrostjo in dolžino meta:

Svetovno prvenstvo Helsinki 2005: $r = .89$

Svetovno prvenstvo Osaka 2007: $r = .94$

Svetovno prvenstvo Berlin 2009: $r = .67$

Meritve finskega nacionalnega inštituta med leti 2006 – 2015: $r = .91$

Valleala (2015) prav tako navaja naslednje korelacije med hitrostjo zaleta, ter dolžino meta:

Svetovno prvenstvo Helsinki 2005: $r = .74$

Svetovno prvenstvo Osaka 2007: $r = .59$

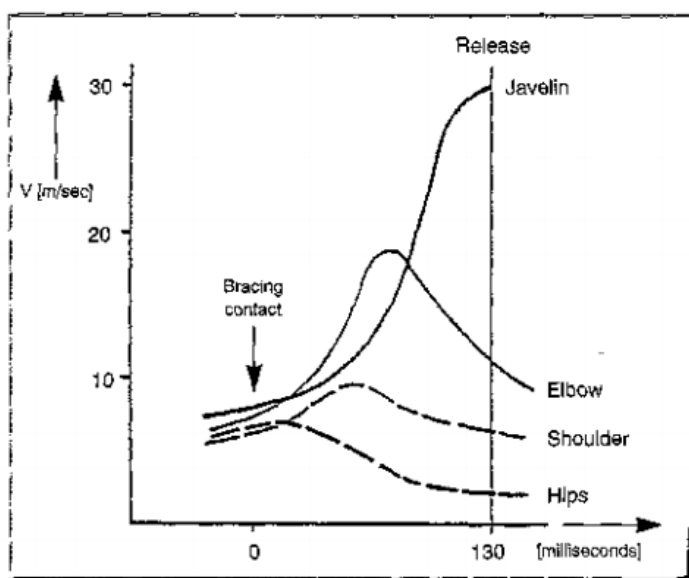
Evropsko prvenstvo Helsinki 2012: $r = -.44$

Menzel (1986) navaja naslednje hitrosti zaleta glede na kakovostno raven tekmovalca (Tabela 1):

Tabela 1: Dolžina meta (W) in zaletna hitrost (V) v fazi pospeševanja.

W (m)	V (m/s)	Skupina atletov	Avtor
> 65	6.0-6.5	Ženske - specialistke	Bauersfeld/Schröter
52.36-60.76	5.8-6.6	Ženske - specialistke	Menzel
33.06-43.28	5.3-6.1	Mnogobojke	Menzel
> 85	8.0-8.5	Moški - specialisti	Bauersfeld/Schröter
67.26-81.16	6.2-7.3	Moški - specialisti	Menzel
77.84	6.5	Moški - specialisti	Kollath
51.26-68.90	5.4-7.0	Začetniki in srednje kakovostni metalci	Ikegami
50.92-67.06	6.1-6.8	Mnogobojci	Menzel

Slika 11 prikazuje graf pospeševanja posameznih segmentov od dotika oporne noge s tlemi do izmeta. Graf prikazuje zaporedno vključevanje posameznih segmentov, ter nadgrajevanje hitrosti bokov, rame in komolca do izmetne hitrosti kopja. Prvi segment telesa, ki doseže maksimalno hitrost je desni bok, ki mu sledita rama ter komolec. Ustrezno zaporedno delo posameznih segmentom posledično prispeva k višji izmetni hitrosti (Tidow, 1996).



Slika 11: Graf pospeševanja posameznih segmentov (Tidow, 1996).

1.5.2.1. Idealen graf pospeševanja

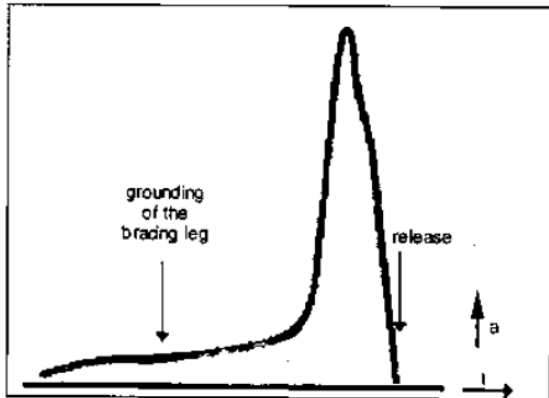
Raziskovalci na področju meta kopja so na podlagi meritev razvili idealen graf pospeševanja za metalca kopja. S pomočjo sistematičnih meritev metalcev kopja različnih kakovostnih ravni, v različnih časih sezone in tekom več let so oblikovali individualne grafe pospeševanja, ter idealni graf pospeševanja za met kopja. Individualne grafe pospeševanja je mogoče primerjati z idealnim grafom pospeševanja.

Iz analize idealnega grafa pospeševanja je mogoče razbrati naslednje faktorje (Ogiolda, 1994):

- Potek grafa posameznega metalca lahko primerjamo s potekom idealnega grafa pospeševanja.

- Površina med grafom in osjo x predstavlja skupno silo.
- Razdalja med vrhom grafa in absciso prikazuje silo doseženo med pospeševanjem.
- Strmejši naklon krivulje pospeševanja pomeni, da je bila maksimalna vrednost sile dosežena med pospeševanjem dosežena hitreje.

Vsi naštetni elementi grafa pospeševanja prikazujejo povezavo med dobro tehniko in sposobnostjo generiranja sile in hitrosti specifične za met kopja.

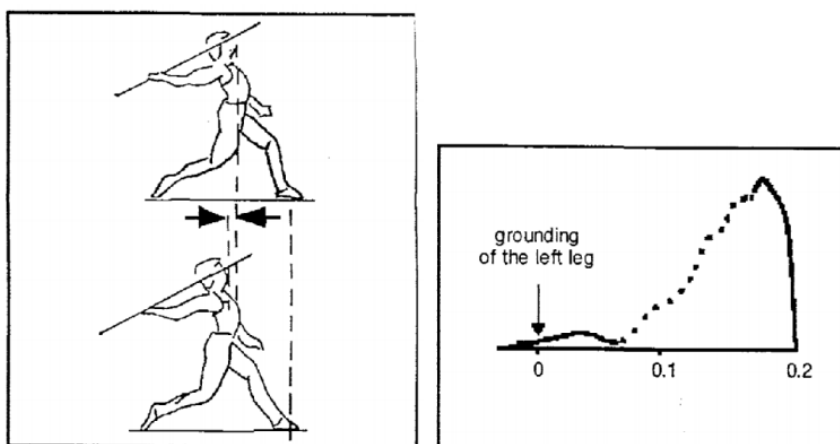


Slika 12: Idealen graf pospeševanja (Ogiolda, 1994).

1.5.2.2. Primer izgube hitrosti zaradi napačnega dela nog v zadnjih treh korakih zaleta

Tipična napaka, ki se pojavlja zaradi napačnega dela nog v zadnjih treh korakih zaleta je krčenje leve (oporne) noge v izmetnem koraku (Slika 13). Da bo metalec pokrčil oporno nogo je razvidno že iz začetnega naklona krivulje grafa, ki odstopa od idealnega grafa pospeševanja. Metalec se po taki napaki ne more več vrniti v vrednosti znotraj idealnega grafa pospeševanja hitrosti in zato dosega manjše končne hitrosti. Zaradi krčenja oporne noge pa ima atlet tudi več možnosti za poškodbe (Ogiolda, 1994).

Raziskave (Murakami idr., 2006; Bottcher in Kuhl, 1998) potrjujejo statistično pomembno korelacijo med kotom v kolenu sprednje noge in dolžino meta. Valleala (2015) navaja večji kot v kolenu sprednje noge 0.06 s po dotiku s tlemi pri metalcih uvrščenih od prvega do tretjega mesta (156°), kot pri metalcih uvrščenih od četrtega do enajstega mesta (145°) na Svetovnem prvenstvu v Berlinu 2009.



Slika 13: Primer izgube hitrosti zaradi napačnega dela v zadnjih treh korakih zaleta (Ogiolda, 1994).

1.5.3. IZMETNA VIŠINA IN ZADNJI TRIJE KORAKI ZAleta

Izmetna višina je določena z navpično razdaljo med podlago zaletišča in točko pri kateri metalec v trenutku izmeta izpusti kopje z dlanjo in prsti. Izmetna višina posameznika je odvisna od telesne višine tekmovalca, optimalno izmetno višino tekmovalca pa metanci dosežejo pri svojih najboljših metih. Medtem, ko metalec na anatomsko izmetno višino ne more vplivati, mora biti njegov cilj doseganje optimalne izmetne višine s tehnično pravilno postavitvijo telesa v izmetni fazi. Zniževanje ali zviševanje izmetne višine pod optimalno zaradi tehničnih napak v izmetnem koraku vodi do krajših metov. Tekmovalci dosegajo ustrezno izmetno višino z optimalno dolžino izmetnega koraka. (Teršek idr., 2003).

Bottcher in Kuhl (1998) poročata o vrednostih izmetne višine, ki predstavljajo 105% telesne višine tekmovalke na vzorcu tekmovalk na IAAF Grand Prixu.

Menzel (1986) navaja povprečne izmetne višine, ter dolžine zadnjega koraka v različno kvalitetnih kakovostnih skupinah metalcev (Tabela 2):

Tabela 2: Povprečen rezultat v metu kopja (*W*), izmetna višina (*h*) in dolžina izmetnega koraka (*l*) v različno kvalitetnih kakovostnih skupinah.

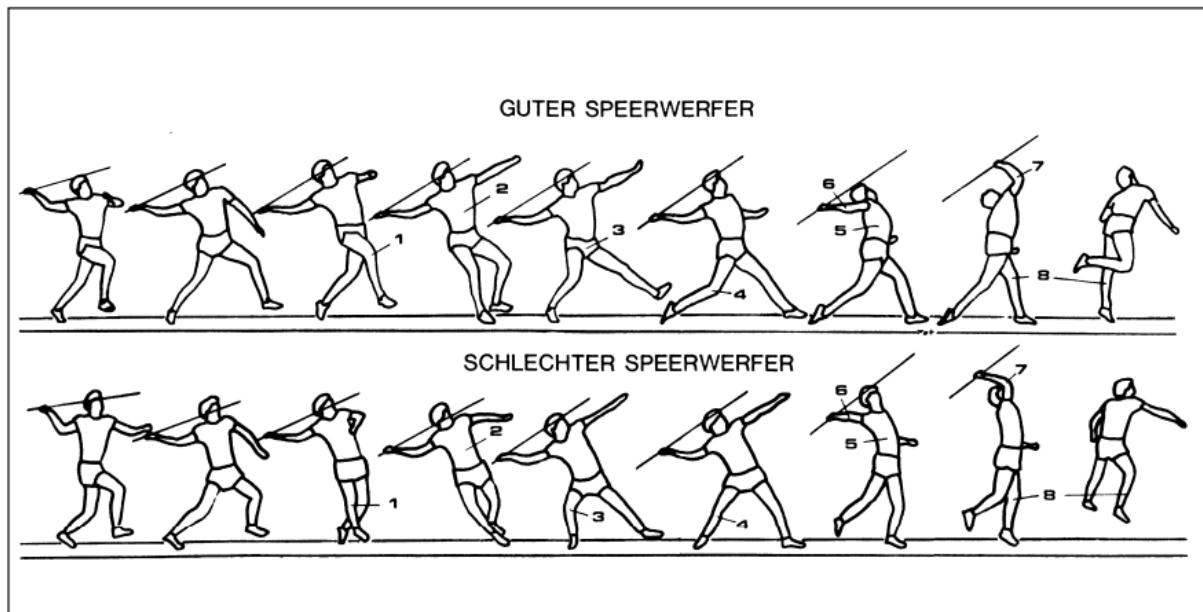
W (m)	h (m)	l (m)	Skupina atletov
56.32	1.65	1.47	Ženske - specialistke
36.82	1.83	1.26	Mnogobojke
74.64	1.80	1.56	Moški - specialisti
53.60	1.96	1.32	Mnogobojci

1.5.3.1. Primer zviševanja izmetne višine zaradi napačnega dela nog v zadnjih treh korakih zaleta

Slika 14 prikazuje primer pravilnega ter napačnega delovanja metalca kopja. Kinogram v zgornji vrstici prikazuje pravilno delovanje metalca z doseganjem optimalne izmetne višine, medtem, ko spodnji kinogram prikazuje napačno delovanje tekmovalca.

V zgornjem kinogramu metalec pride v t.i. "sedeč" položaj na desni nogi (številka 2) iz katere potem nadaljuje gibanje na levo nogo, ki jo postavlja daleč pred seboj. Z aktivnim zniževanjem na desni nogi se znižuje pod kopje in dosega položaj kopjaškega loka (številka 4). Metalec nato nadaljuje gibanje naprej v smer meta orodja.

Na spodnjem kinogramu metalec ne prihaja v sedeč položaj (številka 2) in zaradi neaktivnega dela desne noge, ter prekratkega izmetnega koraka ne prihaja pod kopje in ne ustvarja kopjaškega loka (številka 4). Metalec se odriva navzgor in zato izgublja napetosti v spodnjem delu telesa in ne izkorišča opore na podlago, kopje pa posledično meče previsoko (številka 5).



Slika 14: Primerjava med dobro (zgoraj) in slabo (spodaj) tehnično izvedbo meta (Fuchser, 2012).

1.5.4. RAZMERJE MED ZADNJIMI TREMI KORAKI ZAleta

Menzel (1986) navaja tri biomehanske faktorje vpliva v zaletu:

- dolžina faze pospeševanja
- dolžina korakov
- frekvenca korakov

To diplomsko delo se bo osredotočalo na dolžino in frekvenco korakov ter pravilno razmerje med zadnjimi tremi koraki zaleta.

Pravilno razmerje med dolžinami in frekvencami korakov v zadnjih treh korakih je izjemno pomembno za prehod v optimalen položaj za met. Tretji in zadnji (izmetni) korak zaleta sta krajša, medtem, ko je drugi korak zaleta (impulzni korak) izrazito daljši. Dolžini izmetnega in impulznega koraka sta pogojeni s tehniko, fizično pripravljenostjo (odrivna moč, hitrost), hitrostjo zaleta, ter višino tekmovalca. Daljši impulzni korak pomeni več časa za prehajanje nog pred telo, ter pripravo na prehod v optimalen položaj za met (Teršek idr., 2003).

Lehmann (2010) je pri finalistih meta kopja na Svetovnem prvenstvu 2009 ugotovil razlike v razmerju zadnjih treh korakov dobitnikov medalj v primerjavi z ostalimi finalisti tekmovanja, ter krajši izmetni korak dobitnic medalj v primerjavi z ostalimi finalistkami tekmovanja.

Hiter in aktiven odziv v zadnjih treh korakih zaleta prispeva k daljšim daljavam metov.

Best, Bartlett in Morriss (1993) navajajo povprečni čas kontakta levega stopala v koraku pred impulznim korakom 0.15 s ter povprečni čas delovanja desne noge 0.24 s.

Bartonietz, Best in Borgström (1996) navajajo naslednje čase kontakta pri medalistkah Svetovnega prvenstva 1995: povprečni čas kontakta levega stopala v koraku pred impulznim korakom 0.11 s, povprečni čas trajanja impulznega koraka 0.24 s in povprečni čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore 0.19 s.

V predhodnih analizah so raziskovalci ugotavljali optimalna razmerja zadnjih treh korakov.

Biomehanska analiza Whitinga idr. (1991) je pokazala, da je izmetni korak metalcev kopja moškega spola v visoki korelaciji s telesno višino tekmovalca. Izmetni korak je predstavljal 91% telesne višine (pri metalcih čez 70 m), ter 97% telesne višine (pri metalcih čez 80 m).

Terauds (1990) ugotavlja, da je optimalna dolžina impulznega koraka 33-62% daljša od izmetnega koraka, ob čimer priporoča doseganje višjih vrednosti.

Bottcher in Kuhl (1998) priporočata naslednje dolžine korakov (Tabela 3):

Tabela 3: Priporočene dolžine zadnjih treh korakov za 1.78 m visoko tekmovalko:

Hitrost zaleta	Tretji korak zaleta	Drugi korak zaleta (impulzni korak)	Zadnji korak zaleta (izmetni korak)
7.0 m/s	2.09 m	2.30 m	1.77 m
6.5 m/s	1.95 m	2.15 m	1.65 m
6.0 m/s	1.82 m	2.00 m	1.54 m

Na podlagi teh priporočil lahko izračunamo okvirne dolžine korakov, ki naj bi jih metalec kopja dosegal pri najboljših metih.

1.5.5. SILE NA PODLAGO V ZADNJIH TREH KORAKIH ZALETA

V trenutku stika leve noge z podlago (izmetni korak) metalec začne proces prenašanja hitrosti iz zaleta iz spodnjih na zgornje ekstremitete. Metalec to doseže z blokado iztegnjene leve noge, ki služi kot opora za delovanje zgornjega dela telesa. Vkolikor postavitev in blokada leve noge ni ustrezna metalec ne more ustrezno prenašati hitrosti v zgornje dele telesa (Morriss in Bartlett, 1996). To potrjujejo tudi podatki Valleale (2015), ki navaja korelacijo $r = .72$ med silo na podlago in izmetno hitrostjo.

Kot je ugotovil že Ogiolda (1994) zaradi napak v zadnjih treh korakih prihaja do večjih možnosti za poškodbe. Zaradi specifičnih lastnosti discipline je telo metalca podvrženo visokim silam, saj raziskovalci navajajo sile v vrednosti večkratnika telesne teže metalca v izmetnem koraku.

Valleala (2015) tako navaja maksimalne vrednosti 5084 N za metalce z izmetno hitrostjo 24 – 26.5 m/s, ter vrednosti 5399 N za metalce z izmetno hitrostjo nad 27 m/s izmerjene na treningih finskih metalcev v letih 2011-2012.

Morriss in Bartlett (1996) navajata sile v vrednosti do 6.6 – kratnika telesne teže metalca.

Hurrion, Dyson, Hale in Janaway (2002) so v raziskavi metalcev srednjega kakovostnega razreda ugotovili maksimalne sile na podlago v vrednosti 2.36 ± 0.50 telesne teže metalca.

1.6. CILJI IN HIPOTEZE

Na dolžino meta kopja neposredno vplivajo izmetna hitrost kopja, kotna hitrost konice kopja, izmetni kot kopja in izmetna višina kopja. Pravilna izvedba ključnih elementov v zadnjih treh korakih zaleta neposredno vpliva na dva izmed teh dejavnikov.

Problem diplomskega dela je bilo ugotoviti, ali obstajajo kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta, ki statistično pomembno vplivajo na dolžino meta. V poglavju 1.5 smo zato širše opredelili problem dela in izluščili najpomembnejše kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta, ki vplivajo na dolžino meta.

Predmet diplomskega dela je bilo ugotoviti statistično pomembno povezanost teh spremenljivk z dolžino meta kopja pri vrhunskih metalkah kopja. Pri preučevanju predmeta diplomskega dela smo se osredotočili na šest kinematičnih spremenljivk zadnjih treh korakov zaleta.

Cilja diplomskega dela sta bila ugotoviti ali kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta statistično pomembno vplivajo na dolžino meta, ter ugotoviti ali so kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta med seboj statistično pomembno povezane.

Na podlagi ciljev diplomskega dela smo postavili sedem delovnih hipotez:

H1: Med časom delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak pri najboljšem metu, ter časom delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak pri najslabšem metu obstajajo statistično pomembne razlike.

H2: Med dolžino impulznega koraka pri najboljšem metu, ter dolžino impulznega koraka pri najslabšem metu obstajajo statistično pomembne razlike.

H3: Med časom delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo pri najboljšem metu, ter časom delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo pri najslabšem metu obstajajo statistično pomembne razlike.

H4: V času prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore pri najboljšem metu, ter času prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore pri najslabšem metu obstajajo statistično pomembne razlike.

H5: Med dolžino izmetnega koraka pri najboljšem metu, ter dolžino izmetnega koraka pri najslabšem metu obstajajo statistično pomembne razlike.

H6: V razmerju med zadnjima dvema korakoma pri najboljšem metu, ter razmerju med zadnjima dvema korakoma pri najslabšem metu obstajajo statistično pomembne razlike.

H7: Med spremenljivkami acikličnega dela zaleta pri najdaljših metih tekmovalk obstaja statistično pomembna korelacija.

2. METODE DE LA

2.1. VZOREC MERJENCEV IN PRIDOBIVANJE PODATKOV:

Vzorec merjencev so predstavljale 4 vrhunske metalke kopja, ki so tekmoval na EAA mitingu v Velenju 2011. Osebni rekordi tekmovalk so varirali od 62.60 - 70.78 m. Povprečen rezultat tekmovalk na tekmovanju je znašal 61.29 m. Vse tekmovalke so metale z desno roko. Analizirana sta bila najboljši in najslabši met posamezne tekmovalke. Podatki so bili pridobljeni v okviru meritev Atletske zveze Slovenije. Meti so bili posneti z visokofrekvenčnima kamerama Casio Exilim EX-F1 pri frekvenci 300 Hz. Kameri sta bili pritrjeni na trinožno stojalo. Za kalibracijo je bila uporabljena kocka s stranico 1 m. Kot med kamerama je znašal 45°.

2.2. VZOREC SPREMENLJIVK:

OR - Osebni rekord pred tekmovanjem

NRT - Najboljši rezultat na tekmovanju

SRT – Najslabši rezultat na tekmovanju

DIK – Dolžina impulznega koraka

DIZK – Dolžina izmetnega koraka

RIZK - Razmerje med impulznim in izmetnim korakom

ČDSN – Čas delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak

ČDZN - Čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo

ČKOP - Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore

d – vrednost spremenljivke pri najboljšem metu

s – vrednost spremenljivke pri najslabšem metu

2.3. OPIS SPREMENLJIVK:

DIK – Dolžina impulznega koraka

Dolžina impulznega koraka predstavlja razdaljo, ki jo tekmovalec opravi v brezoporni fazi od točke v kateri leva noga zapusti podlago, do prvega stika desne noge s podlago. Uporabljena merska enota je meter.

DIZK – Dolžina izmetnega koraka

Dolžina izmetnega koraka predstavlja razdaljo med prsti desne in peto leve noge v dvooporni fazi v trenutku dotika pete sprednje noge s tlemi. Uporabljena merska enota je meter.

RIZK - Razmerje med impulznim in izmetnim korakom

Razmerje med impulznim in izmetnim korakom je razmerje dolžin impulznega in izmetnega koraka. Uporabljena merska enota so odstotki.

ČKOP - Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore

Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore traja od prvega stika stopala zadnje noge s podlago, do trenutka ko tekmovalec preide v dvojno oporo (stik prstov sprednje noge s tlemi). Uporabljena merska enota je milisekunda.

ČDSN – Čas delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak

Čas delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak traja od prvega stika levega stopala s podlago do trenutka, ko levo stopalo zapusti podlago. Uporabljena merska enota je milisekunda.

ČDZN - Čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo

Čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo traja od prvega stika desnega stopala s podlago, do trenutka ko tekmovalec nima več opore na desnem stopalu. Uporabljena merska enota je milisekunda.

2.4. OBDELAVA PODATKOV:

Posnetki so bili shranjeni v formatu .mov pri frekvenci 300 Hz. Zabeleženi so bili osebni rekord, ter najboljši in najslabši rezultat posamezne merjenke na tekmovanju. Opravljene so bile meritve kontaktnih časov ter dolžin zadnjih dveh korakov. Na podlagi dolžine impulznega in izmetnega koraka je bilo izračunano razmerje dolžin.

Dolžine koraka in kontaktni časi so bili analizirani s pomočjo programa Kinovea. Pri najboljšem in najslabšem metu posamezne merjenke je bilo analiziranih šest kinematičnih spremenljivk zadnjih treh korakov zaleta. Njihove vrednosti so bile pridobljene s pomočjo prikazovalnika časa v programu Kinovea in dolžin, pridobljenih na podlagi umerjenega prostora na zaletišču. Za spremenljivke je bila izračunana aritmetična sredina, ter preverjena normalnost porazdelitve. Vrednosti posameznih spremenljivk so bile primerjane z rezultati predhodnih raziskav.

Za statistično obdelavo podatkov je bil uporabljen program IBM SPSS Statistics 23. Domneva o enakosti povprečij je bila preverjena s t-testom, korelacijska povezanost spremenljivk pa s Pearsonovim koeficientom korelacije. Metoda, uporabljena za ugotavljanje veljavnosti hipotez 1-6 je bil t-test, za ugotavljanje veljavnosti hipoteze 7 pa je bil uporabljen Pearsonov korelacijski koeficient. Korelacijska povezanost spremenljivk je bila opravljena na vrednostih spremenljivk pri najboljših metih tekmovalk.

3. REZULTATI

3.1. SPREMENLJIVKE ZADNJIH TREH KORAKOV ZALETA

Vzorec tekmovalk zajema 4 vrhunske metalke kopja z razponom osebnih rekordov med 62.60 m ter 70.87 m. Med njimi kvalitetno izstopa tekmovalka z osebnim rekordom prek 70 m, ki je tudi na analizirani tekmi dosegla vrhunski rezultat, ki presega osebne rekorde ostalih tekmovalk (67.98 m). Tudi njen najslabši rezultat na tekmi (61.36 m) je presegal najboljše rezultate ostalih tekmovalk ne tem tekmovanju.

V zadnjih treh korakih zaleta tekmovalcu dolg impulzni korak omogoča prehitevanje nog, ter prehajanje v ustrezen položaj na desni nogi. Le-temu sledi krajši izmetni korak, v katerem tekmovalec z aktivnim delom desne noge prehaja iz enooporne v dvooporno fazo. Dolžini izmetnega in impulznega koraka sta pogojeni s tehniko, hitrostjo zaleta, ter višino tekmovalca (Teršek idr., 2003).

M. Abakumova in K. Mickle sta pri svojih najboljših metih izvedli izrazito poudarjen in dolg impulzni korak (M. Abakumova - 1.96 m, K. Mickle - 1.91 m), ki mu je sledil krajši izmetni korak (M. Abakumova - 1.54 m, K. Mickle - 1.76 m). Dolžini impulznega in izmetnega koraka L. Stahl sta bili skoraj enaki (impulzni – 1.64 m, izmetni – 1.66 m), medtem ko je impulzni korak J. Klimesove bistveno krajši od izmetnega (impulzni – 0.74 m, izmetni – 1.62 m). M. Abakumova in K. Mickle sta izvedli najdaljši impulzni korak izmed tekmovalk. Povprečna dolžina impulznega koraka tekmovalk je znašala 1.56 m, dolžina izmetnega koraka pa 1.64 m.

M. Abakumova je dosegala najnižje razmerje med impulznim in izmetnim korakom pri najboljšem metu (0.78). K. Mickle (0.92) in L. Stahl (1.01) sta dosegali rahlo višji vrednosti razmerja zadnjih dveh korakov. Izmetni korak J. Klimesove je bil bistveno daljši od impulznega koraka, zato je vrednost njenega razmerja korakov zelo visoka (2.12). Povprečno razmerje med impulznim in izmetnim korakom pri najboljših metih tekmovalk je znašalo 1.20.

Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore je predstavljal čas od prvega stika stopala zadnje noge s podlago, do trenutka ko tekmovalka preide v dvojno oporo. Hiter prehod iz prvega kontakta do dvojne opore omogoča metalcu kopja dobro in hitro oporo z nogami na tleh. Povprečen čas prehoda od prvega kontakta do dvojne opore tekmovalk ob najboljših metih je znašal 246.7 ms, pri najslabših metih pa 242.2 ms. Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore M. Abakumove (200 ms) je bil izrazito hitrejši od časa prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore ostalih tekmovalk. L. Stahl in K. Mickle sta dosegali dobre čase prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore (L. Stahl – 234 ms; K. Mickle – 247 ms), medtem ko je bil čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore J. Klimesove bistveno počasnejši (297 ms).

Tekmovalke na EAA mitingu v Velenju so dosegle povprečno vrednost časa delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak 140.7 ms pri najboljših metih, ter 150 ms pri najslabših metih. Časa delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak K. Mickle (130 ms) in L. Stahl (133 ms) sta bila najkrajša.

Z aktivnim zniževanjem na zadnji nogi tekmovalka prehaja pod orodje in dosega optimalno izmetno višino. Povprečni čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo analiziranih metalk kopja je znašal 232.5 ms pri najboljših, ter 227.0 ms pri najslabših metih. M. Abakumova (173 ms) je dosegala izrazito krajši čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo kot preostale tekmovalke (K. Mickle – 230 ms ; L. Stahl – 236 ms ; J. Klimesova – 291 ms).

Spodnje tabele (Tabela 4 – Tabela 10) prikazujejo vrednosti spremenljivk, ter njihovo povprečno vrednost in standardni odklon pri najboljših in najslabših metih tekmovalk.

Tabela 4: *Dolžine metov:*

	Maria Abakumova	Linda Stahl	Kimberly Mickle	Jarmila Klimesova
OR	70.78	66.81	63.82	62.60
NRT	67.98	60.78	60.59	55.80
SRT	61.36	59.17	58.38	51.69

Tabela 5: *Dolžina impulznega koraka:*

	Maria Abakumova	Linda Stahl	Kimberly Mickle	Jarmila Klimesova	POVPREČJE	SD
DIKd	1.96 m	1.64 m	1.91 m	0.74 m	1.56 m	28.3
DIKs	1.89 m	1.59 m	1.96 m	0.98 m	1.60 m	22.3
Razlika:	0.07 m	0.05 m	0.05 m	0.24 m	0.04 m	-

Tabela 6: *Dolžina izmetnega koraka:*

	Maria Abakumova	Linda Stahl	Kimberly Mickle	Jarmila Klimesova	POVPREČJE	SD
DIZKd	1.54 m	1.66 m	1.76 m	1.62 m	1.64 m	4.6
DIZKs	1.44 m	1.58 m	1.74 m	1.72 m	1.62 m	7.0
Razlika:	0.1 m	0.08 m	0.02 m	0.1 m	0.02 m	-

Tabela 7: *Razmerje med impulznim in zadnjim korakom:*

	Maria Abakumova	Linda Stahl	Kimberly Mickle	Jarmila Klimesova	POVPREČJE	SD
RIZKd	0.78	1.01	0.92	2.12	1.20	30.8
RIZKs	0.76	0.99	0.89	1.75	1.10	22.2

Razlika:	0.02	0.02	0.03	0.37	0.1	-
-----------------	------	------	------	------	-----	---

Tabela 8: Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore:

	Maria Abakumova	Linda Stahl	Kimberly Mickle	Jarmila Klimesova	POVPREČJE	SD
ČKOPd	200 ms	243 ms	247 ms	297 ms	246.7 ms	39.7
ČKOPs	204 ms	244 ms	244 ms	277 ms	242.2 ms	29.9
Razlika:	4 ms	1 ms	3 ms	20 ms	7 ms	-

Tabela 9: Čas delovanja sprednje noge na tleh pred prehodom v impulzni korak:

	Maria Abakumova	Linda Stahl	Kimberly Mickle	Jarmila Klimesova	POVPREČJE	SD
ČDSNd	143 ms	133 ms	130 ms	157 ms	140.7 ms	12.2
ČDSNs	136 ms	137 ms	167 ms	160 ms	150.0 ms	15.8
Razlika:	7 ms	4 ms	37 ms	3 ms	12.75 ms	-

Tabela 10: Čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo:

	Maria Abakumova	Linda Stahl	Kimberly Mickle	Jarmila Klimesova	POVPREČJE	SD
ČDZNd	173 ms	236 ms	230 ms	291 ms	232.5 ms	48.2
ČDZNs	167 ms	230 ms	224 ms	287 ms	227.0 ms	49.0
Razlika:	6 ms	6 ms	6 ms	4 ms	5.5 ms	-

3.2. STATISTIČNA OBDELAVA SPREMENLJIVK

Spremenljivke se normalno razporejajo (Tabela 11), zato sta bila za nadaljnjo analizo uporabljena t-test za odvisne vzorce ter Pearsonov korelacijski koeficient.

Za statistično obdelavo spremenljivk je bil uporabljen t-test za odvisne vzorce.

Na 5% stopnji tveganja se statistično pomembne razlike med boljšimi in slabšimi meti pojavljajo le v spremenljivki ČDZN - Čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo (Tabela 12). Med povprečni spremenljivk DIK, DIZK, RIZK, ČDSN, ČKOP pri najboljšem in najslabšem metu ni statistično pomembne razlike na 5% stopnji tveganja.

Tabela 11: Test normalnosti porazdelitve

SPREMENLJIVKA	Statistics	df	Sig.
DIKd	,812	4	,125
DIKs	,875	4	,318
DIZKd	,993	4	,971
DIZKs	,902	4	,439
RIZKd	,770	4	,059
RIZKs	,818	4	,138
ČDZNd	,965	4	,813
ČDZNS	,965	4	,812
ČKOPd	,959	4	,776
ČKOPs	,940	4	,656
ČDSNd	,919	4	,533
ČDSNS	,838	4	,189

Tabela 12: T-test med spremenljivkami

SPREMENLJIVKA	t	df	Sig. (2-t.)
DIK	-,600	3	,591
DIZK	,556	3	,617
RIZK	1,269	3	,294
ČDSN	-,966	3	,405
ČDZN	11,000	3	,002
ČKOP	,839	3	,463

3.3. KORELACIJA MED SPREMENLJIVKAMI NAJBOLJŠIH METOV

Na spremenljivkah najboljših metov tekmovalk je bil opravljen test korelacije s Pearsonovim korelacijskim koeficientom (Tabela 13). Le-ta je pokazal statistično pomembno korelacijo med spremenljivkama: čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo (ČDZN) in čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore (ČKOP).

Tabela 13: Korelacija med spremenljivkami (Pearsonov korelacijski koeficient)

		DIKb	DIZKb	ČKOPb	ČDSNb	ČDZNb
DIKd	Pearson	1	,128	-,892	-,813	-,883
	Correlation		,872	,108	,187	,117
	Sig. (2-tailed)					
	N	4	4	4	4	4
DIZKd	Pearson	,128	1	,333	-,597	,344
	Correlation	,872		,667	,403	,656
	Sig. (2-tailed)					
	N	4	4	4	4	4
ČKOPd	Pearson	-,892	,333	1	,509	,994**
	Correlation	,108	,667		,491	,006
	Sig. (2-tailed)					
	N	4	4	4	4	4
ČDSNd	Pearson	-,813	-,597	,509	1	,463
	Correlation	,187	,403	,491		,537
	Sig. (2-tailed)					
	N	4	4	4	4	4
ČDZNd	Pearson	-,883	,344	,994**	,463	1
	Correlation	,117	,656	,006	,537	
	Sig. (2-tailed)					
	N	4	4	4	4	4

4. RAZPRAVA

Cilja diplomskega dela sta bila ugotoviti ali kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta statistično pomembno vplivajo na dolžino meta, ter ugotoviti ali so kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta med seboj statistično pomembno povezane. Na podlagi ciljev diplomskega dela smo pridobili naslednje rezultate:

Povprečna dolžina impulznega koraka metalk kopja na EAA mitingu v Velenju je znašala 1.56 m. Predhodne analize navajajo povprečne dolžine impulznega koraka med 1.88 m in 2.24 m (Jung idr., 2012; Lehmann, 2010; Bottcher in Kuhl, 1998). M. Abakumova in K. Mickle izvedeta impulzni korak znotraj vrednosti, ki jih navajajo predhodne raziskave (M. Abakumova - 1.96 m, K. Mickle - 1.91 m), medtem, ko je impulzni korak J. Klimesove izrazito prekratek (0.74 m). Le-ta zaradi prekratkega impulznega koraka in neaktivne desne noge znižanje pod orodje dosega z izrazitim podaljševanjem izmetnega koraka, ob tem pa izgublja hitrost. L. Stahl izvaja krajši impulzni korak kot je bilo navedeno v predhodnih raziskavah (1.64 m).

Rezultati diplomskega dela so pokazali daljši izmetni korak tekmovalk ob boljšem metu (z izjemo J. Klimesove). Analize ženskih metalk kopja navajajo dolžine izmetnega koraka med 1.50 m in 1.76 m (Jung idr., 2012; Lehmann, 2010; Bottcher in Kuhl, 1998). Povprečna dolžina izmetnega koraka pri najboljših metih analiziranih metalk kopja je znašala 1.64 m. Vse tekmovalke so dosegale dolžine izmetnega koraka znotraj povprečnih vrednosti predhodnih raziskav. Zaradi specifične izvedbe zadnjega koraka (desna noga tekom izvedbe drsi po podlagi) dolžine koraka navedene v raziskavah lahko varirajo med seboj. Večina raziskav kot dolžino izmetnega koraka navaja razdaljo med zadnjo in sprednjo nogo v trenutku dotika pete sprednje noge s tlemi (razdalja med prsti zadnje noge in peto sprednje noge). Takšno merjenje izmetnega koraka je bilo uporabljeno tudi v tem diplomskem delu.

Večina raziskav meta kopja je opravljena na moških metalcih kopja (Morriss, 1996). Mnoge raziskave zato navajajo razmerja in dolžine zadnjih treh korakov za metalce moškega spola. Po priporočilih Terauds (1990) je tako optimalna dolžina izmetnega koraka 0.62 – 0.75 vrednosti impulznega koraka. Bottcher in Kuhl (1998) na podlagi raziskav na vrhunskih metalcih ženskega spola priporočata razmerje med tretjim korakom zaleta in impulznim korakom 0.91, razmerje med impulznim korakom in izmetnim korakom pa 0.77. Tem vrednostim se je najbolj približala M. Abakumova, ki dosega zelo podobno razmerje med impulznim in izmetnim korakom pri najboljšem metu (0.78). Razmerje med impulznim in izmetnim korakom K. Mickle (0.92) in L. Stahl (1.01) je višje, medtem, ko je izmetni korak J. Klimesove bistveno daljši od impulznega koraka (2.12). M. Abakumova se je tudi v tej spremenljivki najbolj približala priporočilom predhodnih raziskav.

Hiter prehod iz prvega kontakta do dvojne opore omogoča metalki kopja dobro in hitro oporo z nogami na tleh. Povprečen čas prehoda od prvega kontakta do dvojne opore tekmovalk ob najboljših metih je znašal 246.7ms, pri najslabših metih pa 242.2 ms. Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore je predstavljal čas od prvega stika stopala zadnje noge s podlago, do trenutka ko tekmovalka preide v dvojno oporo. Analize predhodnih raziskav navajajo čase 198 ms (Jung idr., 2012) in 208 ms (Lehmann, 2010) prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore. Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore M. Abakumove sovpada z predhodno

opravljenimi raziskavami (200 ms pri najboljšem metu), Medtem, ko sta L. Stahl (243 ms) in K. Mickle (247 ms) prehod izvedli nekoliko počasneje. J. Klimesova zaradi prekratkega impulznega koraka izrazito podaljšuje izmetni korak, ter je tako le-tega izvedla bistveno počasneje – v 297 ms.

Aktiven in hiter odziv leve noge pred impulznim korakom je pomemben za izvedbo dolgega impulznega koraka. Tekmovalke na EAA mitingu v Velenju so dosegle povprečno vrednost časa delovanja sprednje noge na tleh pred preходом v impulzni korak 140.7 ms pri najboljših metih, ter 150 ms pri najslabših metih. Best idr. (1993) navajajo povprečne čase kontakta finalist Svetovnih študentskih iger 150 ms. Bartonietz idr. (1996) navajajo povprečni čas kontakta levega stopala v koraku pred impulznim korakom 0.11 s pri dobitnicah medalj Svetovnega prvenstva 1995.

Z aktivnim zniževanjem na zadnji nogi tekmovalec prehaja pod orodje in dosega optimalno izmetno višino. Povprečni čas delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo analiziranih metalk kopja je znašal 232.5 ms pri najboljših, ter 227.0 ms pri najslabših metih. Best idr. (1993) navajajo povprečni čas delovanja desne noge 0.24 s.

Kontaktne časi M. Abakumove prav tako prikazujejo bistveno aktivnejšo izvedbo zadnjih treh korakov zaleta v primerjavi s preostalimi tekmovalkami. K. Mickle in L. Stahl dosejata dobre kontaktne čase v zadnjih treh korakih izmeta, kontaktne časi J. Klimesove pa so precej počasnejši in kažejo na neaktivno delo nog v zadnjih treh korakih.

Med povprečnimi vrednostmi spremenljivk najboljših in najslabših metov je bil opravljen t-test. Na 5% stopnji tveganja se statistično pomembne razlike med boljšimi in slabšimi meti pojavljajo le v spremenljivki ČDZN - Čas delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo. Hipoteza o enakosti povprečij je tako zavrnjena, kar pomeni, da pri najboljših in najslabših metih tekmovalk prihaja do statistično pomembnih razlik v času delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo. Med povprečji spremenljivk DIK, DIZK, RIZK, ČDSN, ČKOP pri najboljšem in najslabšem metu ni statistično pomembne razlike na 5% stopnji tveganja. **Posledično lahko zavrnemo hipoteze 1, 2, 4, 5 in 6.** V času delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo (ČDZN) prihaja do statistično pomembnih razlik. **Hipoteza 3**, ki predpostavlja, da med časom delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo pri najboljšem metu, ter časom delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo pri najslabšem metu obstajajo statistično pomembne razlike, je zato **potrjena**.

Pearsonov test korelacije je pokazal statistično pomembno korelacijo med spremenljivkama ČDZN (Čas delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo) in ČKOP (Čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore). Korelacija spremenljivk je zelo visoka (0.99). Rezultati delno potrjujejo, da med določenimi spremenljivkami acikličnega dela zaleta obstaja statistično pomembna korelacija. **Hipoteza 7**, ki predpostavlja, da med spremenljivkami acikličnega dela zaleta pri najdaljših metih tekmovalk obstaja statistično pomembna korelacija je tako **delno potrjena**.

Rezultati diplomskega dela kažejo, da prihaja do statistično pomembnih razlik med časom delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo pri najboljših in najslabših metih tekmovalk. Iz slednjega lahko predpostavimo, da je čas delovanja zadnje noge na tleh pred preходом v dvojno oporo pomemben element tehnike k izboljšavi katerega morajo tekmovalke stremeti v želji po doseganju daljših metov.

Poleg časa delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo morajo tekmovalke dosegati tudi ustrezen čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore. Ugotovitve diplomskega dela namreč kažejo na statistično pomembno korelacijo med tema spremenljivkama in optimiziranje parametrov le-teh bi lahko vodilo do daljših metov tekmovalk.

Iz rezultatov diplomskega dela je razvidno, da kinematične spremenljivke M. Abakumove, kot najkvalitetnejše analizirane metalke sovpadajo s predhodnimi analizami metalk kopja najkvalitetnejšega razreda in optimalnim tehničnim modelom meta. K. Mickle prav tako dosega dobre vrednosti posameznih spremenljivk. L. Stahl ima možnosti za nadaljnji napredek predvsem v izboljšavi razmerja med zadnjima dvema korakoma, saj je dolžina njenega impulznega koraka skoraj identična dolžini izmetnega. Razmerje zadnjih treh korakov J. Klimesove ne sovpada z optimalnim tehničnim modelom za dolge mete. Rezultati analize kinematičnih spremenljivk tudi sovpadajo z osebnimi rekordi tekmovalk. M. Abakumova kot tekmovalka z najboljšim osebnim rekordom tudi v vrednostih kinematičnih spremenljivk dosega najboljše vrednosti.

Potencialna pomanjkljivost diplomskega dela je majhen vzorec merjenk. V želji po analizi metalk kopja vrhunškega kakovostnega razreda so bile analizirane štiri vrhunske tekmovalke, ki so nastopile na EAA mitingu v Velenju. Vzorec merjenk je bil zato majhen, vendar kakovosten.

Rezultati statističnih postopkov uporabljenih v tem diplomskem delu (aritmetična sredina, t-test, Pearsonov koeficient korelacije) lahko zato odstopajo od dejanskega stanja v populaciji. Relevantnost opravljenih postopkov potrjuje raziskava De Winterja (2013), ki ugotavlja, da je t-test na majhnih vzorcih ($N \leq 5$) relevanten, vendar pa je potrebna previdnost pri posploševanju rezultatov na populacijo. Kljub temu so rezultati diplomskega dela pokazali podobne vrednosti kot predhodno opravljene raziskave.

Diplomsko delo je natančneje analiziralo spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta pri metu kopja, ki so redko samostojno analizirane. Rezultati dela tako prispevajo k boljšem razumevanju kinematičnih spremenljivk zadnjih treh korakov zaleta in njihovega prispevka k dolžini meta, ter k razvoju športne discipline. Analiza je bila opravljena na metalakah kopja ženskega spola, ter tako prispeva k razvoju področja, saj je večina raziskav opravljena na metalcih moškega spola. Ugotovitve diplomskega dela bodo pripomogle k napredku v tehniki in metodiki discipline.

5. SKLEP

Na dolžino meta kopja neposredno vplivajo izmetna hitrost kopja, kotna hitrost konice kopja, izmetni kot kopja in izmetna višina kopja. Pravilna izvedba ključnih elementov v zadnjih treh korakih zaleta neposredno vpliva na dva izmed teh dejavnikov.

Cilja diplomskega dela sta bila ugotoviti ali kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta statistično pomembno vplivajo na dolžino meta, ter ugotoviti ali so kinematične spremenljivke zadnjih treh korakov zaleta med seboj statistično pomembno povezane. Na podlagi ciljev diplomskega dela smo postavili sedem delovnih hipotez.

Vzorec merjencev so predstavljale 4 vrhunske metalke kopja, ki so tekmovali na EAA mitingu v Velenju 2011. Povprečen rezultat tekmovalk na tekmovanju je znašal 61.29 m. Meti so bili posneti z visokofrekvenčnima kamerama Casio Exilim EX-F1 pri frekvenci 300 Hz.

Pri preučevanju predmeta diplomskega dela smo se osredotočili na šest kinematičnih spremenljivk zadnjih treh korakov zaleta. S t-testom smo primerjali najdaljše in najkrajše mete tekmovalk, s Pearsonovim koeficientom korelacije pa medsebojno povezanost spremenljivk pri najdaljših metih tekmovalk.

Analiza dolžin korakov ter kontaktnih časov je pokazala, da so vrednosti, ki jih dosega M. Abakumova najbližje optimalnem modelu meta kopja. Rezultati diplomskega dela so pokazali statistično pomemben vpliv ene kinematične spremenljivke na dolžino meta. Statistično pomembne razlike med boljšimi in slabšimi meti so se na 5% stopnji tveganja pokazale v času delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo. Pearsonov test korelacije je pokazal statistično pomembno korelacijo med spremenljivkama: čas delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo (ČDZN) in čas prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore (ČKOP) z visoko korelacijo spremenljivk (0.99).

Na podlagi rezultatov diplomskega dela smo potrdili hipotezo 3, ter delno potrdili hipotezo 7. Hipoteze 1, 2, 4, 5 in 6 so bile zavržene. V skladu z ugotovitvami diplomskega dela lahko zaključimo, da bi metalke z optimiziranjem časa delovanja zadnje noge na tleh pred prehodom v dvojno oporo, ter časa prehoda iz prvega kontakta do dvojne opore lahko izboljšale dolžino svojih metov.

Nadaljnje delo na tem področju bi lahko vključevalo meritve metov z več kamerami, kar bi omogočilo 3D analizo, ter natančne meritve zaletnih in izmetnih hitrosti. Ti podatki bi poleg analize dolžin in kontaktnih časov omogočili še bolj popoln vpogled v tehniko tekmovalk, ter vpliv spremenljivk na dolžino meta.

6. VIRI

Alexander, R.McN. (1991). Optimum timing of muscle activation for simple models of throwing. *Journal of Theoretical Biology*, 150(3), 349-72

Ambrožič, G., Udovč, A. (2016). *Pravila za atletska tekmovanja 2016-2017: Prevod iz IAAF Competition Rules 2016-2017*. Ljubljana : Atletska zveza Slovenije.

Atletika. (2015). Wikipedija. Prosta enciklopedija. Pridobljeno iz: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Atletika>

Bartlett, R. M., Best, R. J. (1988). *The biomechanics of javelin throwing: a review*. *Journal of Sports Sciences*, 6(1), 1-38.

Bartonietz, K., Best, R. J., Borgström, A. (1996). The throwing events at the World Championships in Athletics 1995, Göteborg – Technique of the world's best athletes Part 2: Discus and javelin throw. *New Studies in Athletics*, 11(1), 19-44.

Best, R. J., Bartlett, R. M., Morriss, C. J. (1993). A three-dimensional analysis of javelin throwing technique. *Journal of Sports Sciences*, 11(4), 315-28

Bottcher, J., Kuhl, L. (1998). The technique of the best female javelin throwers in 1997. *New Studies in Athletics*, 13(1), 47-61.

De Winter, J. C. F. (2013). Using the Student's t-test with extremely small sample sizes. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 18(10)

Fuchser, I. (2012). Technik Techniktraining Konditionstraining, Teil Speerwerfen. *Swiss Athletics Trainerbulletin*, 13

Hurrion, P., Dyson, R., Hale, T., Janaway, L. (julij 2002). Ground reaction forces occurring during the delivery stride of javelin throwing. Prispevek predstavljen leta 2002 na simpoziju 20 International Symposium on Biomechanics in Sports. Prispevek pridobljen iz: <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/issue/view/ISBS2002>

Javelin. (2016). Brian MAC Sports Coach. Pridobljeno iz: <http://www.brianmac.co.uk/javelin/>

Jung, J. H., Kim, D. S., Kang, H. Y., Chae, W. S., Lim, Y. T., Yoon, C. J., Lee, H. C. (2012). Kinematic analysis of the women's javelin throw at the IAAF World Championships, Daegu 2011. In E. J. Bradshaw, A. Burnett, & P. A. Hume (Eds.), *Scientific Proceedings of the 30th International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 41–44).

Lehmann, F. (2010). Biomechanical Analysis of the Javelin Throw at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 25(3/44), 61–77.

Menzel, H. J. (1986). Biomechanics of javelin throwing. *New Studies in Athletics*, 1(3), 85–98

Mero, A., Komi, P. V., Korjus, T., Navarro, E., Gregor, R. J. (1994). Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 166-177

- Monneret, R. J. (2016). *Le lancer de javelot a Atlanta*. Pridobljeno iz: <http://rjmonneret.free.fr/DocumentsPublies/143JavelotAtlanta.pdf>
- Morriss, C., Bartlett, R. (1996). Biomechanical Factors Critical for Performance in the Men's Javelin Throw. *Sports Medicine*, 21(6), 438-446
- Murakami, M., Tanabe, S., Ishikawa, M., Isolehto, J., Komi, P. V., Ito, A. (2006). Biomechanical analysis of the javelin at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 21(2), 67-80
- Ogiolda, P. (1994). The javelin throw and the role of speed in throwing events. *New Studies in Athletics*, 8(3)
- Pišotek, J. (2014). *Primerjava prirastka mišične sile med različnimi protokoli vadbe za moč*. (Diplomsko delo). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana.
- Teršek, R., Štuhec, S., Čoh, M. (2003). *Sodobna tehnika in metodika meta kopja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport
- Terauds, J. (1990). State of Biomechanical Research on the Javelin Throw. *Techniques in Athletics*, 2: 189-249.
- Tidow, G. (1996). Model technique analysis sheets Part X: The javelin throw. *New Studies in Athletics*, 11(1), 45-62
- Valleala, R. (november 2015). Javelin Throwing Technique and Biomechanics. Prispevek predstavljen leta 2015 na Athletics Coaches Seminar Oslo Presentation. Prispevek pridobljen iz: http://www.kihu.fi/tuotostiedostot/julkinen/2015_val_javelinthr_sel64_45652.pdf
- Whiting, W.C., Gregor, R.J., Halushka, M. (1991). Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. *International Journal of Sports Biomechanics*, 7, 111-124.
- Zatsiorsky, V. M. (1995). *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics