

Skok u dalj-biomehanika i ergonomija skoka

Rasinec, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:317157>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Lucija Rasinec

Zagreb, 2023.

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof.dr.sc.Aleksandar Sušić, dipl.ing.

Student:

Lucija Rasinec

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Lucija Rasinec

Prije svega želim zahvaliti dragom Bogu na snazi i ustrajnosti tijekom studiranja i što mi daje više od onog traženog. Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Aleksandru Sušiću na izdvojenom vremenu, savjetima i stručnoj pomoći za izradu završnog rada. Od srca zahvaljujem svojim roditeljima koji su bili uz mene u svim lijepim i malo težim trenutcima života. Oni su moj uzor i najsretnija bi bila kad bih im mogla vratiti barem dio žrtve koji su oni morali podnijeti za mene. Posebno hvala mojoj braći, Luki i Lovri, koji su bili uz mene cijelo vrijeme. I jedno veliko hvala prijateljima koji su mi bili uvijek podrška i potpora.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Lucija Rasinec** JMBAG: **0035225450**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Skok u dalj - biomehanika i ergonometrija skoka**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Long jump - biomechanics and ergonomics of the jump**

Opis zadatka:

Skok u dalj je jedna od osnovnih tehničkih atletskih disciplina. Osim u natjecateljskom sportu, prisutna je i u programu tjelesnog odgoja odnosno obrazovanja, putem koje se prate razvojni pokazatelji mladih. Ipak, na uspjeh u skoku u dalj utječe znatno više faktora od razvojnih faza ili dobi, čemu se iznimna pažnja posvećuje u natjecateljskom sportu svih kvalifikacija. Osim napretku u postignućima značajnu ulogu igra zaštita, točnije prevencija od ozljeda, stoga temeljni principi treniranja ove discipline iziskuju pomno i planski razrađen sustav obuke i treninga. Da bi takav program mogao biti sačinjen te da bi dao optimalne učinke, tehnika i vještina skoka u dalj zahtijevaju posebnu pažnju, jer bi bez odgovarajuće vještine kondicijske kvalitete mogle biti uzrok teških ozljeda lokomotornog sustava vježbača. Zbog svega rečenog, treba poznavati biomehaniku i ergonomiju skoka u dalj da bi se napredak u rezultatu mogao postići bez ozljeda. Očito je da je riječ o razvojnom procesu koji treba dobro poznavati, što podrazumijeva izvršavanje biomehanički ispravnih pokreta usklađenih s lokomotornim svojstvenim karakteristikama vježbača, skladno formirajući ispravan i učinkovit skok.

U radu je potrebno:

- Prikazati tehnike skoka u dalj s osvrtom na njihove razlike, i prisutne rizike za ozljede;
- Prikazati skokove različite razine vještine skakanja u dalj, s kratkom raspravom o uočenim razlikama, te njihovim posljedicama na kvalitetu skoka;
- Prikazati utjecaj pojedinih biomehaničkih pokazatelja na duljinu skoka;
- Provesti biomehaničku i ergonometrijsku analizu skoka u dalj s ciljem utvrđivanja svih utjecajnih elemenata tehnike i parametre skoka u dalj;
- Analizom utvrđene spoznaje uobličiti u preporučene parametre optimalnog skoka u dalj;
- Raspraviti utvrđene rezultate analize te istaknuti sve važne zaključke.

Opseg biomehaničke i ergonometrijske analize i prikaza utvrđenih rezultata dogovoriti tijekom izrade rada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: Datum predaje rada: Predviđeni datumi obrane:
20.4.2023. 2. rok (izvanredni): 12. 7. 2023. 2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
3. rok: 21. i 22. 9. 2023. 3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc.  Aleksandar Sušić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS DIJAGRAMA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
2. OPĆENITO O SKOKU U DALJ	2
2.1. FAZE SKOKA U DALJ	3
2.1.1. FAZA ZALETA	4
2.1.2. FAZA ODRAZA	5
2.1.3. FAZA LETA	7
2.1.3.1. Zgrčna tehnika.....	7
2.1.3.2. Koračna tehnika.....	8
2.1.3.3. Tehnika uvinuća	9
2.1.4. FAZA DOSKOKA U PIJESAK	10
3. BIOMEHANIČKA I ERGONOMSKA ANALIZA SKOKA U DALJ.....	11
3.1. Brzina zaleta	12
3.2. Odrasna sila i impulsi u skoku u dalj	14
3.3. Jednadžba gibanja	18
3.4. Optimalni kut.....	24
4. RASPRAVA.....	26
ZAKLJUČAK	28
LITERATURA.....	29

POPIS SLIKA

Slika 1 Siniša Ergotić- prvi hrvatski atletičar koji je preskočio 8m u skoku u dalj	2
Slika 2 Prikaz faza za skok u dalj	3
Slika 3 Shema prikaza podizanja koljena u fazi prednjeg zamaha	4
Slika 4 Shema ekscentrične kontrakcije i koncentrične kontrakcije	5
Slika 5 Shematski prikaz položaja tijela i komponenti brzine	6
Slika 6 Prikaz parcijalnih duljina leta skakača.....	7
Slika 7 Prikaz zgrčne tehnike	8
Slika 8 Prikaz tehnike 1 1/2 korak	8
Slika 9 Prikaz tehnike 2 1/2 koraka.....	9
Slika 10 Prikaz tehnike uvinuća	9
Slika 11 Shematski prikaz položaja tijela pri doskoku.....	10
Slika 12 Pravilno postavljanje noge n podlogu(cijelom površinom)	12
Slika 13 Shematski prikaz komponenti brzina v_x i v_y , i uzletnog kuta θ	13
Slika 14 Shematski prikaz vektora brzine prilikom odraza.....	13
Slika 15 Sile koje djeluju na tijelo	14
Slika 16 Položaj tijela kod kraćeg(lijevo) i dužeg(desno) zaleta	17
Slika 17 Shema prikaza promjene vektora brzine	18
Slika 18 Komponente brzine u odskoku i doskoku.....	19
Slika 19. Prikaz putanje kretanja težišta skakača	21
Slika 20. Prikaz duljina	23
Slika 21 Prikaz djelovanja sila	26
Slika 22 Komponente sile podloge.....	26
Slika 23 Kratak skok i niski let (prvi slučaj)	27
Slika 24 Kratak skok i visoki let (drugi slučaj)	27

POPIS DIJAGRAMA

Graf 1 Ovisnost brzine zaleta na duljinu skoka	15
Graf 2 Ovisnost horizontalne i vertikalne odrazne sile u vremenu	15
Graf 3 Ovisnost brzine zaleta o horizontalnom impulsu	16
Graf 4 Ovisnost brzine zaleta i brzine odraz	16
Graf 5 Dijagram ovisnosti duljine i zaletnog kuta	24
Graf 6 Dijagram ovisnost brzine odskoka i zaletnog kuta	25
Graf 7 Dijagram ovisnost duljine i zaletnog kuta.....	25

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tipične vrijednosti parametara skakača (muškarci/žene) 11

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
F_g	N	gravitacijska sila
F_N	N	sila podloge
v_r	m/s	rezultantna brzina odraza
v_x	m/s	horizontalna brzina odraza
v_y	m/s	vertikalna brzina odraza
R	m	domet
H	m	visina težišta pri odrazu
h_{odraza}	m	visina težišta pri odrazu
h_{doskoka}	m	visina težišta pri doskoku
α	°	kut noge
θ	°	kut odraza
t	s	vrijeme
t_1	s	vrijeme od tla do najviše točke
t_2	s	vrijeme od najviše točke do tla
g	m/s ²	ubrzanje sile teže

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je biomehanička analiza skoka u dalj s naglaskom na prve dvije faze, fazu zaleta i fazu odraza. Budući da je skok u dalj atletska disciplina koja osim razumijevanja pravila i tehnike, zahtjeva i umijeće vještine. Potrebno je puno vježbe kako bi pojedinac mogao doći do svojeg optimalnog skoka. S ciljem postizanja optimalnog skoka u ovom radu prikazat ćemo parametre koji odgovaraju optimalnom skoku tj. rezultatu kojem teže svi skakači. Također, provedena analiza u svrhu poboljšanja tehnike skoka može pridonijeti vještini skakanja i razvoju brzine prilikom zaleta. Upravo su brzina i kut odraza ključni faktori koju utječu na sami skok. Budući da je kretanje tijela u fazi zaleta slično gibanju projektila, preko poznatih jednadžbi možemo doći do zaključka i optimalnih parametara. Ključno je razumjeti da velik utjecaj na kut odraza ima i odskočna sila koja mijenja svoj intenzitet promjenom kuta. Zbog toga, postoje dva krajnja slučaja između kojih mi tražimo onaj najpovoljniji, optimalni skok.

Ključne riječi: skok u dalj, biomehanika, brzina, kut odraza, odrazna sila

SUMMARY

The goal of this final paper is a biomechanical analysis of the long jump with an emphasis on the first two phases, the take-off phase and the reflection phase. Because the long jump is an athletic discipline that, in addition to understanding the rules and technique, also requires skill. It takes a lot of practice so that an individual can reach his optimal jump. With the aim of achieving an optimal jump, in this paper we will present the parameters that correspond to the optimal jump, i.e. the result that all jumpers strive for. Also, the analysis carried out for the purpose of improving the jumping technique can contribute to the jumping skill and the development of speed during take-off. It is the speed and the angle of reflection that are the key factors affecting the jump itself. Since the movement of the body in the take-off phase is similar to the movement of a projectile, we can reach a conclusion and optimal parameters through known equations. It is crucial to understand that the bounce force, which changes its intensity by changing the angle, also has a great influence on the angle of reflection. Because of this, there are two extreme cases between which we seek the most favorable, optimal jump.

Key words: long jump, biomechanics, speed, reflection angle, reflection force

1. UVOD

Tijelo čovjeka je izrazito složen mehanizam koji ovisi o brojnim faktorima. Sport se oduvijek promicao kao dijelom zdravoga načina života uz zdravu prehranu, no nepravilno izvođenje vježbi ili kod loših tehnika izvođenja može doći do slabijih rezultata i ozljeda. Zbog toga je važno znati kako pravilno izvesti određenu vježbu, odnosno kako poboljšati tehniku izvođenja. Skakačke atletske discipline zahtijevaju rad cijelog tijela. Nerijetko se može čuti da skakač u skoku u dalj trči rukama i nogama jer je upravo skladan rad ruku i nogu ključan. Za postizanje što veće duljine skoka u dalj potreban je pregled biomehaničkih čimbenika; horizontalna brzina na kraju zaleta, brzina prilikom odskoka i kut uzleta.

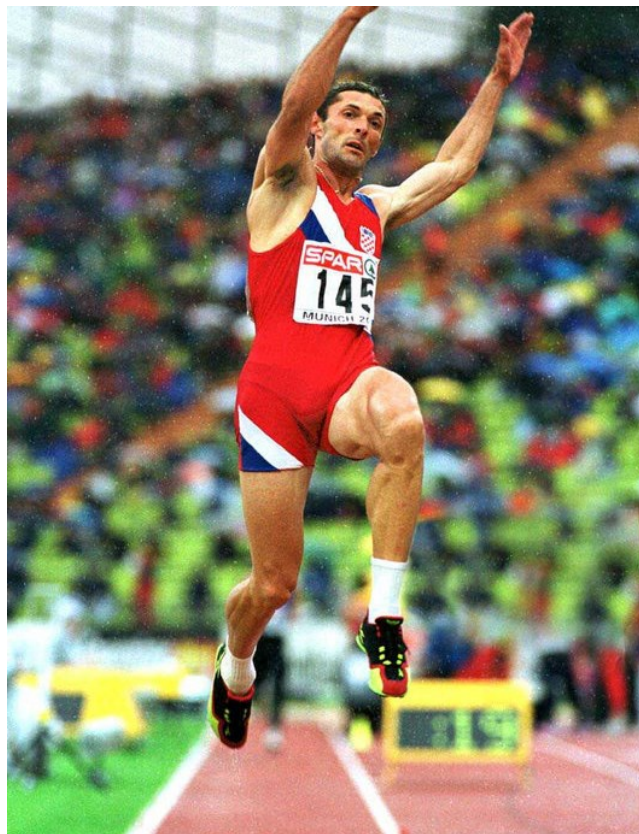
Biomehanika proučava mehanička svojstva i ponašanje bioloških organizama u normalnom i patološkom stanju te biološke reakcije na mehaničke podražaje. [1] Razvojem biomehanike poboljšano je nekoliko sportskih disciplina i danas je zastupljena i u sportu, medicini i strojarstvu.

Kako bi se tehnika izvođenja skoka u dalj poboljšala potrebno je analizirati način kretanja. Cilj ovog rada je provesti analizu biomehaničkih čimbenika i predložiti parametre optimalnog skoka s ciljem poboljšanja i mogućom prevencijom ozljeda, te utvrditi međuovisnost kuta odraza i brzine.

2. OPĆENITO O SKOKU U DALJ

Skok u dalj je atletska disciplina čija se tehnika izvođenja nije mijenjala od 19. stoljeća, štoviše ostala je nepromijenjena od početka. Postoji nekoliko faza prije samog skoka; zalet, odskok s drvene daske, let i doskok. Dakle, skok u dalj je atletska disciplina u kojoj sportaši kombiniraju brzinu, snagu i žustrinu u pokušaju slijetanja što dalje od mjesta uzlijetanja. [2]

Smatra se da su prve dvije faze, ukoliko su dobro odrađene, temelj najboljih rezultata. Cilj kod postizanja što veće duljine skoka je transformacija horizontalne u vertikalnu brzinu tj. da skakač ostvari što veću vertikalnu brzinu uz što manje gubitke horizontalne brzine. [6]



Slika 1 Siniša Ergotić- prvi hrvatski atletičar koji je preskočio 8m u skoku u dalj [3]

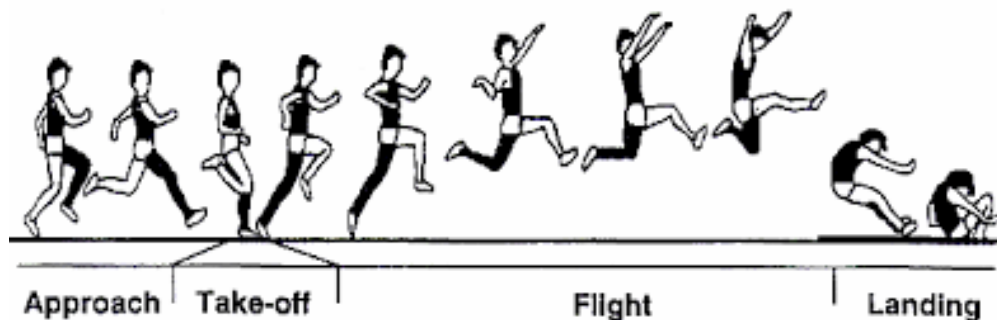
2.1. FAZE SKOKA U DALJ

Strukturalnom analizom, skok u dalj dijelimo u dvije faze:

- 1) Cikličku (zalet),
- 2) Acikličku (skok-odraz, let, doskok). [6]

Daljnjom analizom, tehniku skoka u dalj dijelimo u četiri faze:

- 1) Zalet
- 2) Odraz
- 3) Let
- 4) Doskok [6]



Slika 2 Prikaz faza za skok u dalj [4]

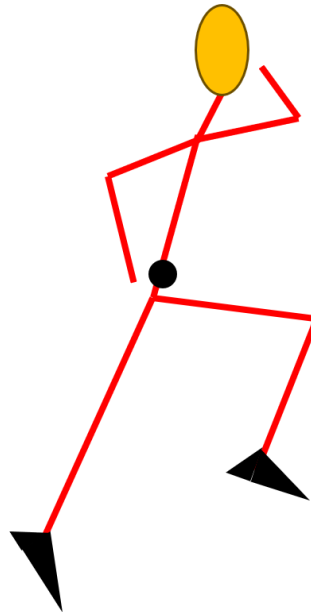
Parametri brzine i kuta odraza tijekom faze zaleta i odskoka određuju uspješnost skoka pa promjenom tih varijabli moguće je poboljšati vještinu skakača. Rezultat skoka u dalj se definira prema duljini skoka od odrazne daske do posljednjeg otiska stopala. [6]

Kod zaleta dolazi do stvaranja optimalnih uvjeta za što bolju putanju tijela u fazi leta i postizanja što boljeg rezultata. Ova atletska disciplina zahtjeva koncentraciju prilikom koje skakač uz maksimalnu brzinu treba postići i dobru automatizaciju pokreta. Svaka moguća pogreška prilikom izvođenja faza može pokvariti konačni rezultat. [6]

2.1.1. FAZA ZALETA

Zalet je ključan za optimalan rezultat jer se stvaraju preduvjeti za dugačak skok. Faza zaleta je individualna jer ovisi o samom skakaču (razina treniranosti, morfološke osobine, motoričke sposobnosti itd.). [6]

Način trčanja je sličan sprinterskome trčanju. Karakteristično za takvo trčanje je naglašeno podizanje koljena kod zadnjeg zamaha i kratki kontakt s podlogom. [6]



Slika 3 Shema prikaza podizanja koljena u fazi prednjeg zamaha

Tijekom trčanja potrebno je da skakač postigne svoju maksimalnu brzinu, pripremi se za odraz i ostvari precizno postavljanje stopala odrazne noge. [6]

Duljina zaleta ovisi o načinu trčanja. Osim načina trčanja, duljina zaleta ovisi i o morfološkim sposobnostima jer će niži skakač koristiti kraći zalet. Skakač s dobrim sprinterskim sposobnostima će koristiti dulji zalet. Također, dulji zalet rezultira dostizanje optimalne brzine. Broj koraka bude različit tijekom karijere skakača gdje mlađi natjecatelj koristi kraći zalet jer može prije doseći optimalnu brzinu. Ipak, broj koraka bude koristan kod učenja pojedinih tehnika. [6]

Skakač nikad ne iskorištava svoju maksimalnu brzinu na kraju faze trčanja jer u protivnom kad bi skakač trčao maksimalnom brzinom ne bi imao vremenskog prostora za korekciju položaja tijela i duljine koraka. Prosječna brzina na kraju faze zaleta je $10,00 \text{ ms}^{-1}$. [6]

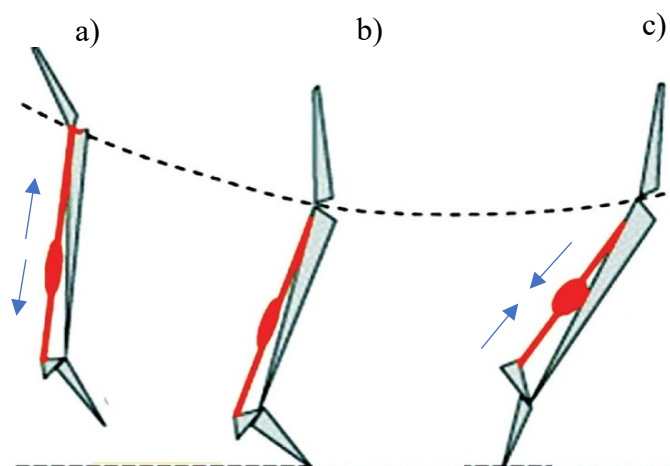
Koraci prije zaleta su slobodan odabir skakača. Najčešće skakač stoji s odraznom nogom prema naprijed i počinje ubrzavati. Umjesto spomenutog načina, skakač može započet zalet s laganim hodačem. [6]

Duljina koraka je različita tijekom zaleta. U pravilu je da je pretposljednji korak dulji od posljednjeg. Razlika proizlazi zbog neposredne pripreme za sljedeću fazu. [6]

U fazi zaleta skakač postiže horizontalnu brzinu koja se na kraju faze transformira u vertikalnu brzinu. Ova faza zahtjeva fleksiju i ekstenziju svih zglobova, rad ruku i nogu naprijed-natrag što rezultira optimalnom ravnotežom. Budući da se pretposljednji korak produljuje dolazi do spuštanja težišta tijela što je pogodnije za odraz. [4]

2.1.2. FAZA ODRAZA

Prije kontakta s podlogom dolazi do tranzicije između ekscentrične i koncentrične kontrakcije u mišićima nogu. Prilikom ekscentrične kontrakcije se mišić izdužuje kao posljedica sile mišića, koja je manja od sile otpora. Kod koncentrične kontrakcije mišić se skraćuje kao posljedica sile mišića, koja je u tom slučaju veća od sile otpora. [5]

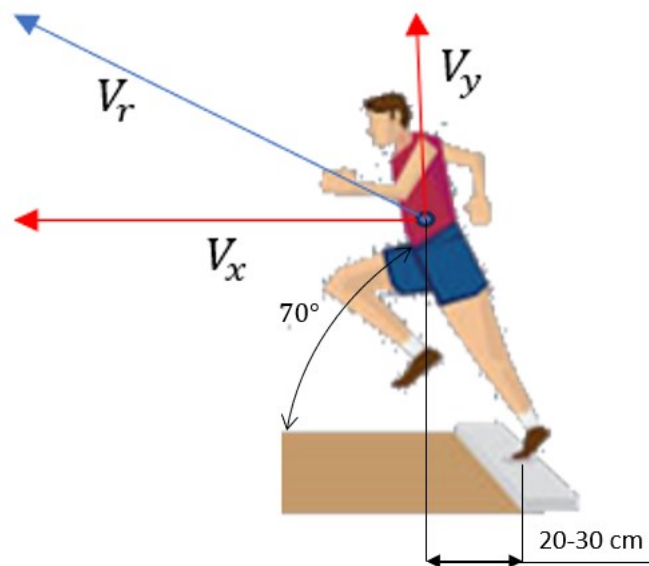


Slika 4 Shema ekscentrične kontrakcije i koncentrične kontrakcije [5]

- a) Ekscentrična kontrakcija mišića pri skoku
- b) Faza tranzicije ekscentrične i koncentrične kontrakcije
- c) Koncentrična kontrakcija pri skoku

Rad mišića je pliometrički tj. prisutna je kombinacija različitih kontrakcija (ekscentrična i koncentrična). Važno je da mišići prije faze istezanja budu pravovremeno aktivirani (prednapetost). [6]

Tijekom odraza skakač ima brzinu koja je rezultanta horizontalne i vertikalne brzine. U fazi odskoka je važno postaviti nogu ravno na tlo, umjesto odražavanja na peti ili prstima. Odražavanjem na peti smanjujemo brzinu, a odražavanje na prstima je zbog nestabilnosti u većem riziku od zadobivanja ozljeda. Stopalo odrazne noge je 20-30 cm udaljeno od projekcije težišta tijela pa je kut tijela s obzirom na podlogu približno oko 70° čime je osiguran čvrst kontakt s podlogom. Takav način postavljanja stopala rezultira porastom vertikalne brzine. Brži zalet skraćuje vrijeme kontakta u odrazu što osigurava manji gubitak horizontalne brzine težišta tijela kod skoka u dalj. [6]



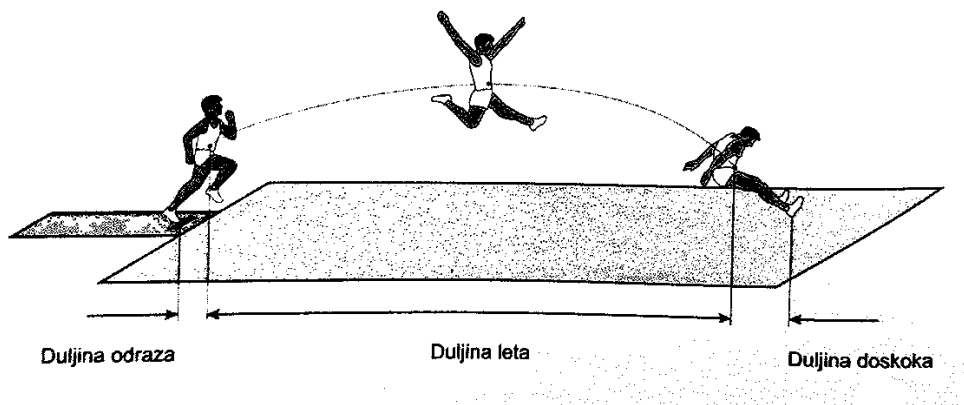
Slika 5 Shematski prikaz položaja tijela i komponenti brzine [7]

2.1.3. FAZA LETA

Faza leta ovisi o sljedećim parametrima; horizontalna brzina, vertikalna brzina, kutu uzleta i visini težišta tijela u trenutku odraza. [6]

Na crti leta razlikujemo tri parcijalne duljine

- 1) duljina odraza- duljina od kojeg se mjeri skok i projekcija težišta tijela skakača
- 2) duljina leta- duljina projekcije težišta tijela skakača u fazi leta
- 3) duljina doskoka- duljina između projekcije težišta tijela i otiska peta u pijeska [6]

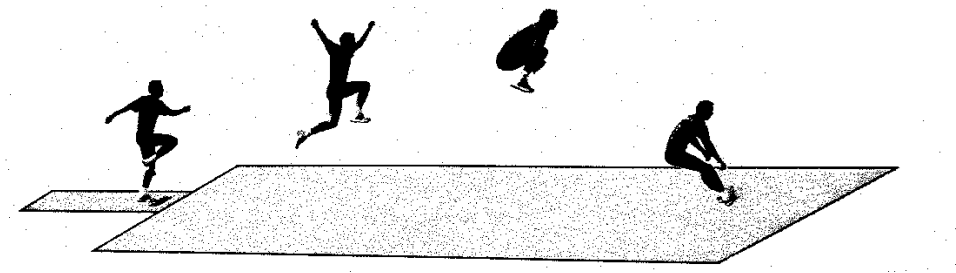


Slika 6 Prikaz parcijalnih duljina leta skakača [6]

Vidljivo je dominantna duljina leta. Faktori koji najviše utječu na duljinu leta su visina težišta, brzina, kut uzleta i vanjski utjecaj kao otpor zraka. Razlika visina težišta u trenutku odraza i doskoka definira se kao relativna visina težišta. [6]

2.1.3.1. Zgrčna tehnika

Zgrčna tehnika je jedan od najjednostavnijih i preporučljiva je početnicima skakačima skoka u dalj. Tehnika se izvodi tako da se odrazna noga priključi zamašnoj u zgrčenom položaju. I kao takva osigurava sigurne uvjete za doskok. [6]

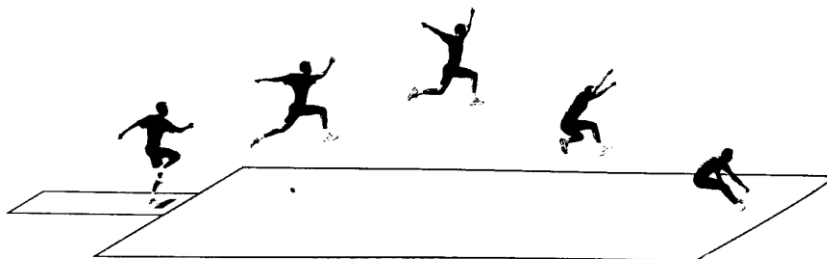


Slika 7 Prikaz zgrčne tehnike [6]

2.1.3.2. Koračna tehnika

Koračnu tehniku razlikujemo prema broju koraka koje skakač izvede. Karakteristično za ovu tehniku je, osim da se najčešće koristi na natjecanjima, faza leta u kojoj skakač nastavlja „trčati u zraku“. Sve to popraćeno zamahom ruku kao nastavak trčanja zaleta. Ovom tehnikom skakač ima osiguran ravnotežni položaj i dobru kontrolu za pravilan doskok. [6]

Tehnika 1 ½ korak je zapravo zadržavanje položaja odraza u kojem je zamašna noga ispred, a odrazna noga iza tijela kao posljedica odraza. Trup je uspravan i u pripremi za doskok odrazna noga se priključuje zamašnoj. Kompenzacijskim zamahom ruku i kružnim radom ruku skakač nastoji sinkronizirati ruke i noge. [6]



Slika 8 Prikaz tehnike 1 1/2 korak [6]

Tehnika 2 ½ koraka je nastavak trčanja iz faze zaleta u fazi leta. Karakteristika ove tehnike je veća amplituda leta. Kod veće amplitude leta se koristi odskočna daska kako bi olakšala izvedbu. Kod položaja tijela u ovoj tehnici se zamašna noga nakon odraza kružnim pokretom natrag dovodi u stražnji ispruženi položaj, a odrazna noga u prednji poprečni položaj. Nakon toga se zamašna pridružuje odraznoj i obje potkoljenice idu prema naprijed. [6]



Slika 9 Prikaz tehnike 2 1/2 koraka [6]

2.1.3.3. Tehnika uvinuća

Tehnika uvinuća smatra se jednom od jednostavnijih, no nije preporučljiva jer se smatra da bi moglo doći do nepravilne izvedbe, odnosno preranog uvinuća za vrijeme odraza. Položaj zamašne noge nakon odraza je u stražnjem položaju iza razine kukova dok obje ruke su djelomično pogrčene i pomiču se prema gore u smjeru kazaljke na satu. Položaj tijela je ravan. Ova tehnika je pogodna zbog prethodnog istezanja trbušne muskulature i stimulira elastičnu komponentu koja olakšava prikupljanje i pretklon trupa. [6]



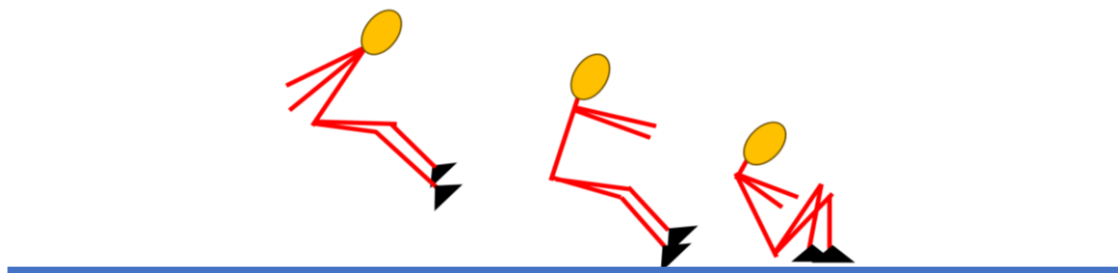
Slika 10 Prikaz tehnike uvinuća [6]

2.1.4. FAZA DOSKOKA U PIJESAK

Ekonomičan doskok treba minimizirati razliku između teorijskog maksimalnog leta težišta skakača i mjesta na kojem se događa prvi otisak u pijesku. Najracionalniji je onaj doskok pri kojem je udaljenost između idealne duljine leta težišta po teorijskog krivulji i ostvarenog rezultata najmanja. (Čoh, 1992.). Najmanja udaljenost u trenutku doskoka očekuje se u vertikalnom položaju težišta tijela u odnosu na podlogu (Tidow, 1988). [6]

Nakon doskoka je važno da skakač savlada ravnotežu i ne padne u doskočnu jamu. S ciljem što veće duljine skoka, skakač pokušava zadržati noge u zraku i tijelo naprijed. Pri dodiru s tlom skakač savija koljena jer u suprotnom je u velikom riziku od ozljeda. Pri savijanju koljena zdjelica se pomiče prema naprijed. Prvi kontakt se ostvaruje petama. Preporučljivo je izbjegavanje dodirivanje podloge (pijeska) rukama radi moguće ozljede ručnog zgloba. [6]

Položaj tijela pri doskoku može biti ravno ili „u stranu“. Kod ravnog položaja tijela, svi segmenti su u istoj ravnini, a kod položaja „u stranu“ neki segmenti su pomaknuti u stranu. Drugi je prihvatljiviji jer rasterećuje zglob koljena kod doskoka. [6]



Slika 11 Shematski prikaz položaja tijela pri doskoku

3. BIOMEHANIČKA I ERGONOMSKA ANALIZA SKOKA U DALJ

Da bi postigao najveću duljinu skoka, skakač na kraju faze zaleta mora postići najveću horizontalnu brzinu koju onda generira u veliku vertikalnu brzinu uz što manji gubitak horizontalne. Također, poželjan je i veliki vertikalni impuls koji je popraćen sa neželjenom posljedicom, povećanja kočnog impulsa. Osim toga, vrlo je bitno postavljanje noge i kontrola tijela skakača jer prilikom odraza tijelo naginje rotaciji prema naprijed. [7]

Biomehaničkom analizom popraćeni su svi koraci tehnike u pokušaju definiranja optimalnih parametra kao što je brzina pri zaletu i kut odraza.

Parametar	Muškarci	Žene
visina sportaša [m]	1,82	1,72
masa sportaša	76	62
duljina skoka [m]	8	6,80
duljina zaleta [m]	48	40
Horizontalna brzina pri odrazu [m/s]	8,8	8
Vertikalna brzina pri odrazu [m/s]	3,4	3,1
Brzina pri odrazu [m/s]	9,4	8,6
Visina pri odrazu [m]	1,29	1,20
Visina pri doskoku [m]	0,65	0,60
Najviša točka skoka [m]	1,88	1,69

Tablica 1. Tipične vrijednosti parametara skakača (muškarci/žene) [7]

3.1. Brzina zaleta

Duljina skoka u dalj određena je horizontalnom brzinom na kraju zaleta. Kako bi najbolje iskoristio brzinu postignutu pri zaletu, skakač treba odabrati najbolju tehniku skakanja u dalj. Na kraju zaleta skakač iskorištava 99% svoje maksimalne brzine. Prednost manje brzine daje skakaču veću kontrolu na crti zaletišta i pravilnijim postavljanjem stopala. [7]

Kako bi postigao najveću duljinu skoka potrebno je zaletnu nogu staviti što bliže liniji odraza. Oslanjajući se na zadnjih pet koraka, skakač prilagođava broj koraka i brzinu kako bi imao što manji gubitak horizontalne brzine i postavio vrh stopala bliže liniji odraza. Zalet ima dvije faze; faza ubrzanja i faza nuliranja u kojoj prilagođava korake i brzinu. [7]



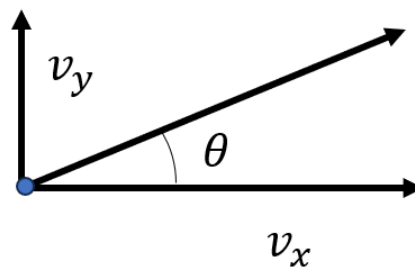
Slika 12 Pravilno postavljanje noge n podlogu(cijelom površinom)[13]

Vektorski zbroj komponenti brzine odraza daje resultantnu brzinu koja s podlogom zatvara uzletni kut. Uzletni kut težišta tijela predstavlja omjer horizontalne i vertikalne komponente brzina na kraju odraza. Horizontalna brzina gura tijelo skakača naprijed dok vertikalna brzina daje dovoljno vremena skakaču da se pripremi i daje bolju kontrolu doskoka na tlo. [7]

Zbog analogije s gibanjem projektila u zraku obično se predlaže optimalni kut od 45° . Kad bi to gledali s matematičke strane komponente brzina bi trebale biti jednakog iznosa što one nisu. Vertikalna komponenta je manja od horizontalne. Dakle, optimalni kut odskoka je manji od 45° . [7]

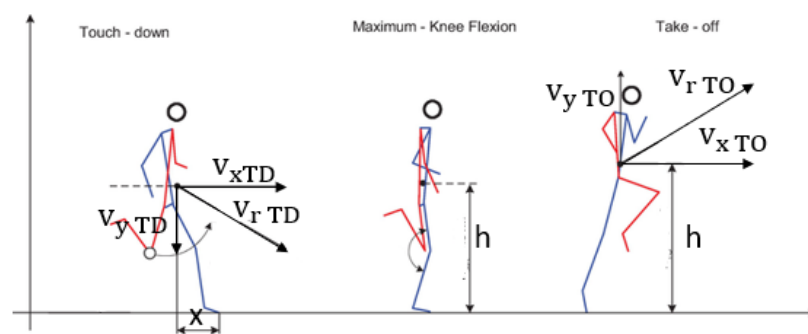
Omjer između horizontalne i vertikalne komponente može biti 3:1 ili 2:1 zbog čega je moguć kut uzleta između $18,4^\circ$ i $26,6^\circ$. Povećanjem brzine zaleta smanjio bi s uzletni kut i obrnuto. [6] Kad bi matematički to zapisali vrijedi sljedeće:

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} \leq 45^\circ$$



Slika 13 Shematski prikaz komponenti brzina v_x i v_y , i uzletnog kuta θ

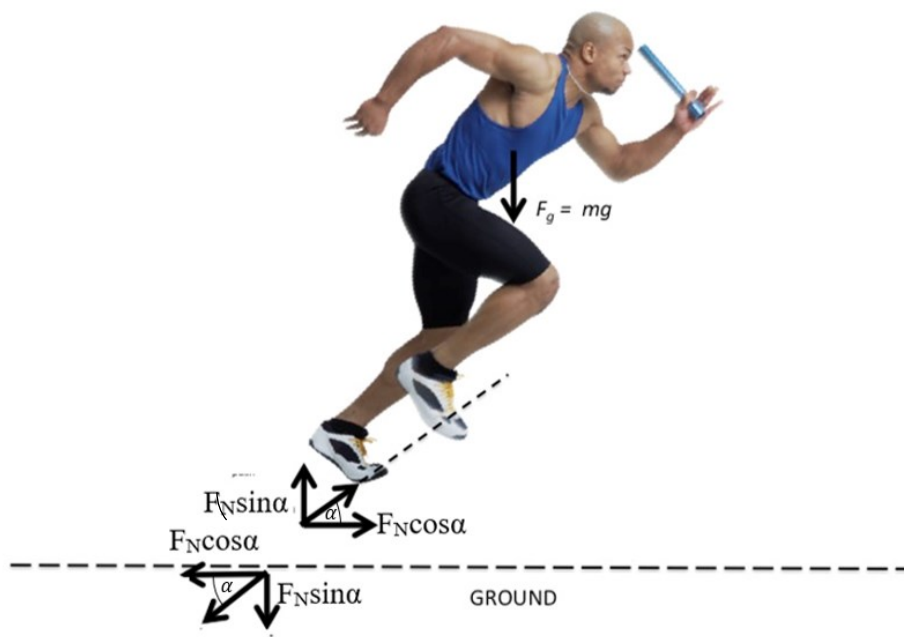
Smanjenje horizontalne brzine na kraju zaleta od one pri dodiru podloge nije veće od 15%. [8] Smanjenje horizontalne brzine proporcionalno je porastu vertikalne brzine. Vertikalna brzina pri dodiru usmjerena je prema dolje i ima negativan predznak. [7]



Slika 14 Shematski prikaz vektora brzine prilikom odraza [14]

3.2. Odrasna sila i impulsi u skoku u dalj

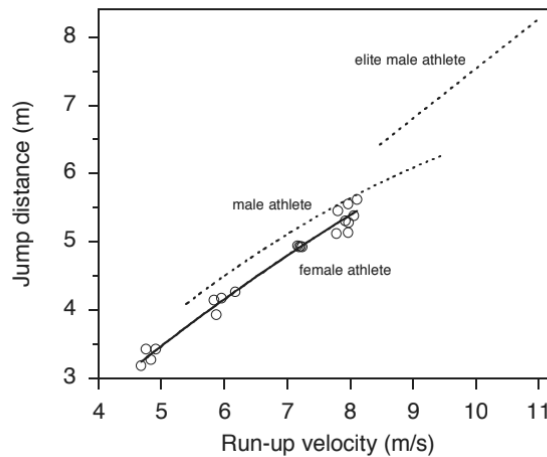
Kako bi iskoristio postignutu optimalnu brzinu i kut odraza, skakač treba generirati sile u trenutku odraza. U trenutku odraza horizontalna odrazna sila je sila kočenja zbog čega dolazi do smanjenja horizontalne brzine prilikom odraza. S povećanjem brzine zaleta proporcionalno raste i kočni impuls, ali ne toliko da negira povećanje brzine zaleta. Optimalni skok u dalj podrazumijeva kompromis između generiranja vertikalnog impulsa i minimiziranja kočnog impulsa. [8]



Slika 15 Sile koje djeluju na tijelo [9]

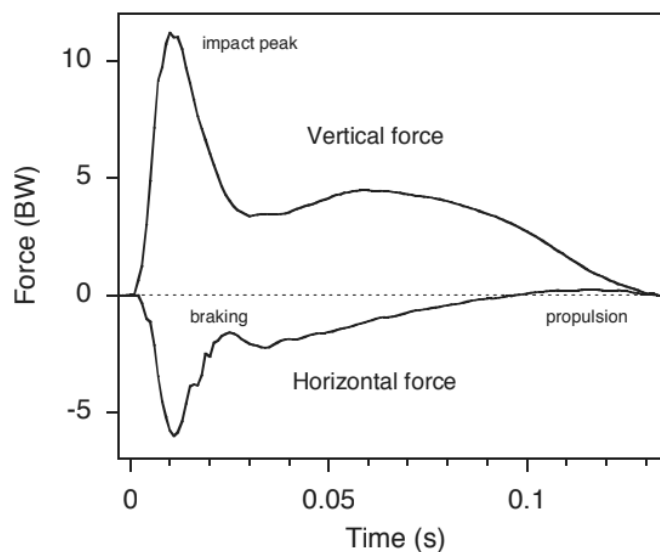
Tijekom odraza generira se velika vertikalna brzina kako bi skakač imao dovoljno vremena u zraku nad kontrolom skoka, a istovremeno minimalizira gubitke horizontalne brzine za što brže kretanje prema naprijed. Pri optimalnom skoku težište skakača se spušta prilikom odraza i stopalo se postavlja ispred težišta pri čemu je noga pod kutom od približno 70° . Pri odrazu tijelo je lansirano poput projektila pri čemu se odrazna noga savija i ispružuje. Ova tehnika generira veliku vertikalnu brzinu i optimalni kut odraza. [8]

Međusobna veza između brzine zaleta i duljine zaleta je proporcionalna. To su još dokazala starija istraživanja. Bridgett i Linthorne (2006) su otkrili da povećanje brzine zaleta prethodi povećanju brzini odraza pri čemu vertikalna brzina odraza ostaje skoro pa nepromijenjena. Međutim, kut odraza i vrijeme kontakta s podlogom se smanjuje. [8]



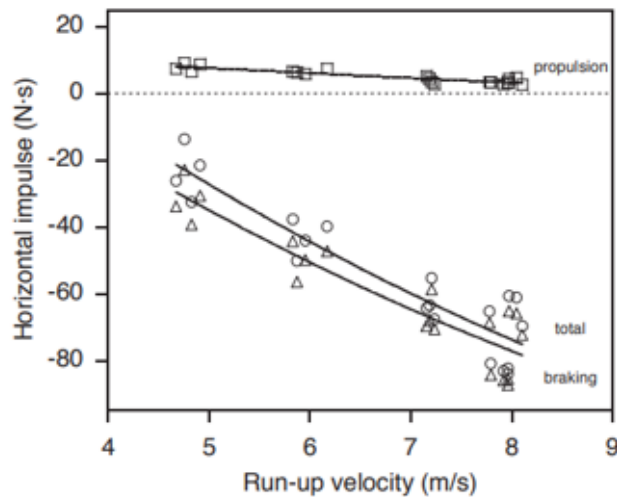
Graf 1 Ovisnost brzine zaleta na duljinu skoka [8]

Vertikalna odrazna sila raste do postizanja svoje maksimalne vrijednosti. Horizontalna odrazna sila pretežno je sila kočenja unatrag i u vrlo kratkom vremenu na kraju odražavanja se prebaci u propulzivnu silu prema naprijed. Jer impuls kočenja je veći od propulzivnog impulsa. Impuls sile je 'integral sile u vremenu' i grafički se prikazuje kao površina ispod krivulje. [8]

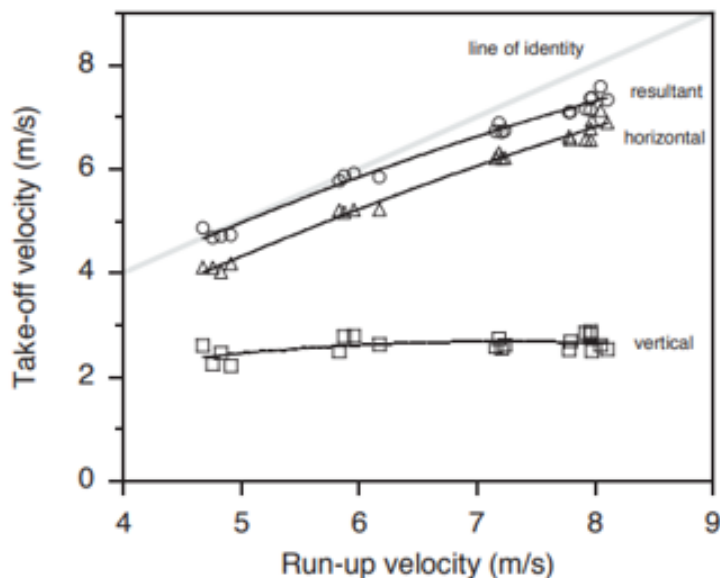


Graf 2 Ovisnost horizontalne i vertikalne odrazne sile u vremenu [8]

Horizontalni impuls se povećava s porastom brzine zaleta pa sukladno tome raste i brzina odraza. Pri odražavanju skakač generira isti vertikalni impuls pri svim brzinama zaleta pa je vertikalna komponenta brzine konstantna. Kut odraza se smanjio s povećanjem brzine kao posljedica povećanja horizontalne brzine zaleta. Također, s povećanjem brzine zaleta se smanjilo trajanje odraza. [8]



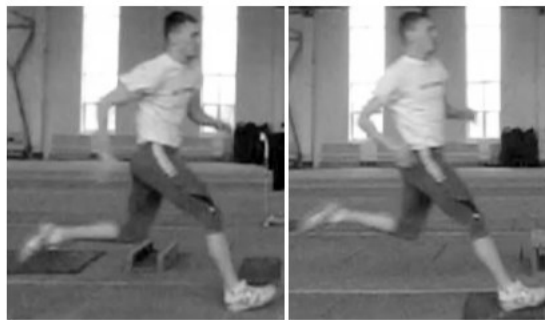
Graf 3 Ovisnost brzine zaleta o horizontalnom impulsu [8]



Graf 4 Ovisnost brzine zaleta i brzine odraza [8]

Prema navedenim podacima i dijagramima ovisnosti možemo zaključiti da samu brzinu zaleta skakač povećava kroz tehniku treninga i fizičkog treninga budući da je uloga mišića iznimno bitna kod skoka. Povećanjem brzine za 0,1 m/s, udaljenost skoka će se povećati za 6 cm, a horizontalni impuls se poveća za 1,2 N·s. [8]

S ciljem određivanja optimalnih odraznih sila nailazimo na kompromis između želje za stvaranjem vertikalnog impulsa i minimiziranjem horizontalnog kočnog impulsa. Prema već spomenutom brži zalet nam garantira veću horizontalnu brzinu pri odrazu, ali skraćuje vrijeme trajanja kontakta s podlogom tj. sposobnost stvaranja vertikalnog impulsa. Pravilnim postavljanjem stopala odrazne noge, ispred težišta, skakač produljuje trajanje kontakta s podlogom. No, neželjena posljedica velikog vertikalnog impulsa je povećanje horizontalnog kočnog impulsa. Potrebno je odrediti optimalni kut postavljanja noge koji će dovesti do balansa horizontalnoga i vertikalnog impulsa. On ovisi o antropometrijskim parametrima i zbog toga je optimalni kut noge individualni. [8]

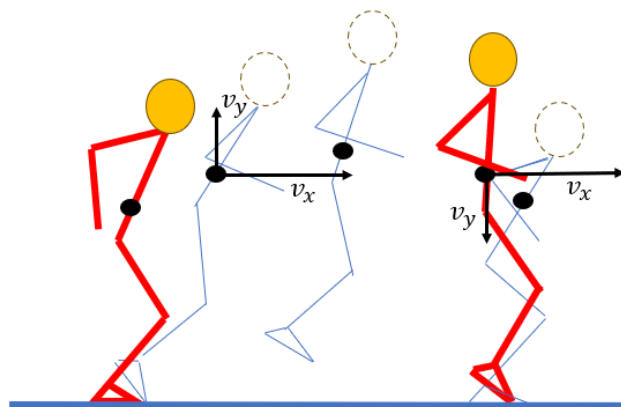


Slika 16 Položaj tijela kod kraćeg(lijevo) i dužeg(desno) zaleta [11]

Preporučljivo je da se u poboljšanju i treninzima skoka u dalj koriste kraći zaleti. Osim pronalaženja optimalnog kuta noge pri odrazu, skakač treba naći i svoju optimalnu duljinu trčanja. Pri nepotpunom zaletu povećava se broj skokova u jednoj vježbi i ono se često koristi na treninzima. Također, dolazi do smanjenja horizontalne brzine i povećanja optimalnog kuta odraza. Pri kraćem zaletu mijenja se i kut odraza. Kod kraćih zaleta stopalo je bliže projekciji težišta skakača pa je kut odraza veći. [11]

3.3. Jednadžba gibanja

Skakač koji ima brzinu v_0 , giba se po paraboli koja je simetrična s najvišom točkom. U najvišoj točki vertikalna brzina je jednaka nuli. Zbog djelovanja gravitacije, tijelo skakača ubrzano pada na tlo na udaljenost R.[11]



Slika 17 Shema prikaza promjene vektora brzine

Komponente brzine na početku odraza su:

$$v_x = v_0 \cos \theta \quad (1)$$

$$v_y = v_0 \sin \theta \quad (2)$$

Kod doskoka brzina je istog iznosa, ali suprotnog smjera pa slijedi:

$$v_x = v_0 \cos \theta \quad (3)$$

$$v_y = -v_0 \sin \theta \quad (4)$$



Slika 18 Komponente brzine u odskoku i doskoku

Budući da je horizontalna brzina konstantna vrijedi:

$$v_x = v_0 \cos \theta = \frac{R}{t} \quad (5)$$

Iz prethodnog izraza (5) slijedi da je :

$$t = \frac{R}{v_0 \cos \theta} \quad (6)$$

Poznati izraz za konstantno ubrzanje glasi:

$$v = u + at, \quad (7)$$

Nakon uvrštavanja izraza (1) i (4) dobijemo:

$$v_0 \sin \theta = v_0 \sin \theta + at \quad (8)$$

U izraz (8) uvrštavamo izraz (6) i $-g$ kao ubrzanje sile teže:

$$v_0 \sin \theta = -v_0 \sin \theta + g \frac{R}{v_0 \cos \theta} \quad (9)$$

Nakon sređivanja izraza (9) dobijemo:

$$R = d_{\text{leta}} = \frac{2v^2 \sin \theta \cos \theta}{2g} \quad (10)$$

Iz trigonometrijskih izraza vrijedi:

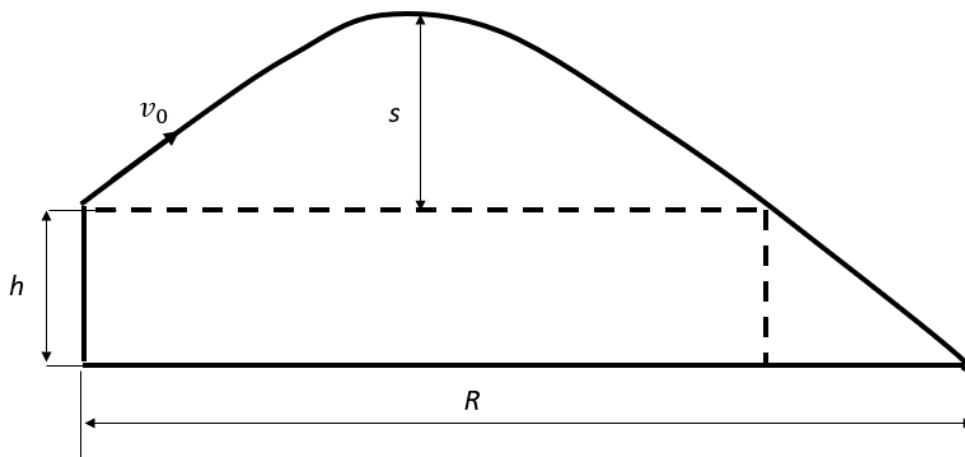
$$2 \sin \theta \cos \theta = \sin 2\theta \quad (11)$$

Pa uvrštavanjem izraza (11) dobijemo formulu za izračunavanje dometa projektila u slobodnom letu:

$$d_{\text{leta}} = \frac{v^2 \sin 2\theta}{g} \quad (12)$$

Iz izraza je vidljivo da je kvadrat brzine proporcionalan duljini leta. Dakle, k cilju povećanja duljine leta, skakač teži što većoj brzini. [11]

Zbog razlike u visini težišta na početku i kraju leta moramo koristiti modificiranu jednadžbu za računanje dometa. [11]



Slika 19. Prikaz putanje kretanja težišta skakača

Vrijeme koje skakač provede u zraku prilikom letenja možemo definirati preko izraza:

$$t = t_1 + t_2 \quad (13)$$

Gdje je t_1 vrijeme od tla do najviše točke, a t_2 vrijeme od najviše točke do tla.

Ako u izraz (7) uvrstimo podatak da je vertikalna brzina u najvišoj točki jednaka nuli slijedi:

$$0 = v_0 \sin \theta - g t_1 \quad (14)$$

Preuređivanjem izraza (14) dobijemo:

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \quad (15)$$

Najviša točka je na visini $s+h$ pa korištenjem poznate jednadžbe iz kinematike dobijemo:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(s+h)}{g}} \quad (16)$$

Iz poznate jednadžbe iz kinematike dobijemo izraz s :

$$s = \frac{(v_0 \sin \theta)^2}{2g} \quad (17)$$

Uvrštavanjem izraza (17) u izraz (16) dobijemo:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2\left(\frac{v_0 \sin \theta}{2g} + h\right)}{g}} = \frac{1}{g} \sqrt{((v_0 \sin \theta)^2 + 2gh)} \quad (18)$$

Ako izraz (15) i izraz (18) uvrstimo u izraz (13) dobijemo:

$$t = \frac{v_0 \sin \theta}{g} + \frac{1}{g} \sqrt{((v_0 \sin \theta)^2 + 2gh)} \quad (19)$$

Uvrštavanjem izraza (19) u jednadžbu za izračunavanje dometa dobijemo:

$$R = \frac{v_0 \cos \theta}{g} \cdot t = \frac{v_0 \cos \theta}{g} \cdot \left(\frac{v_0 \sin \theta}{g} + \frac{1}{g} \sqrt{((v_0 \sin \theta)^2 + 2gh)} \right) \quad (20)$$

Ako preuredimo izraz (20) i primijenimo izraz (11) dobijemo konačni izraz za izračunavanje dometa:

$$R = d_{\text{leta}} = \frac{v^2 \sin 2\theta}{2g} \left[1 + \left(1 + \frac{2gh}{v^2 \sin^2 \theta} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (21)$$

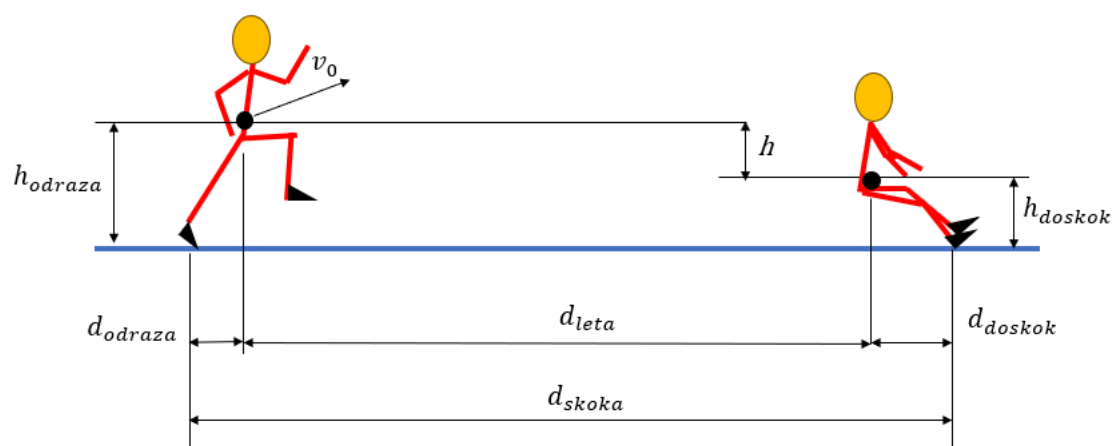
Gdje je v brzina pri odskoku, θ kut uzleta, g ubrzanje sile teže ($\sim 9,81 \text{ m/s}^2$).

Ljudski projektil se giba u slobodnom letu gdje prevladava utjecaj gravitacijske sile. Putanja kretanja ovisi o načini izvođenja i kontroli pri letu. [11]

Visina odskoka h definirana je sljedećim izrazom:

$$h = h_{\text{odraza}} - h_{\text{doskok}}$$

gdje je h_{odraza} visina pri odskoku, a h_{doskok} visina pri doskoku.

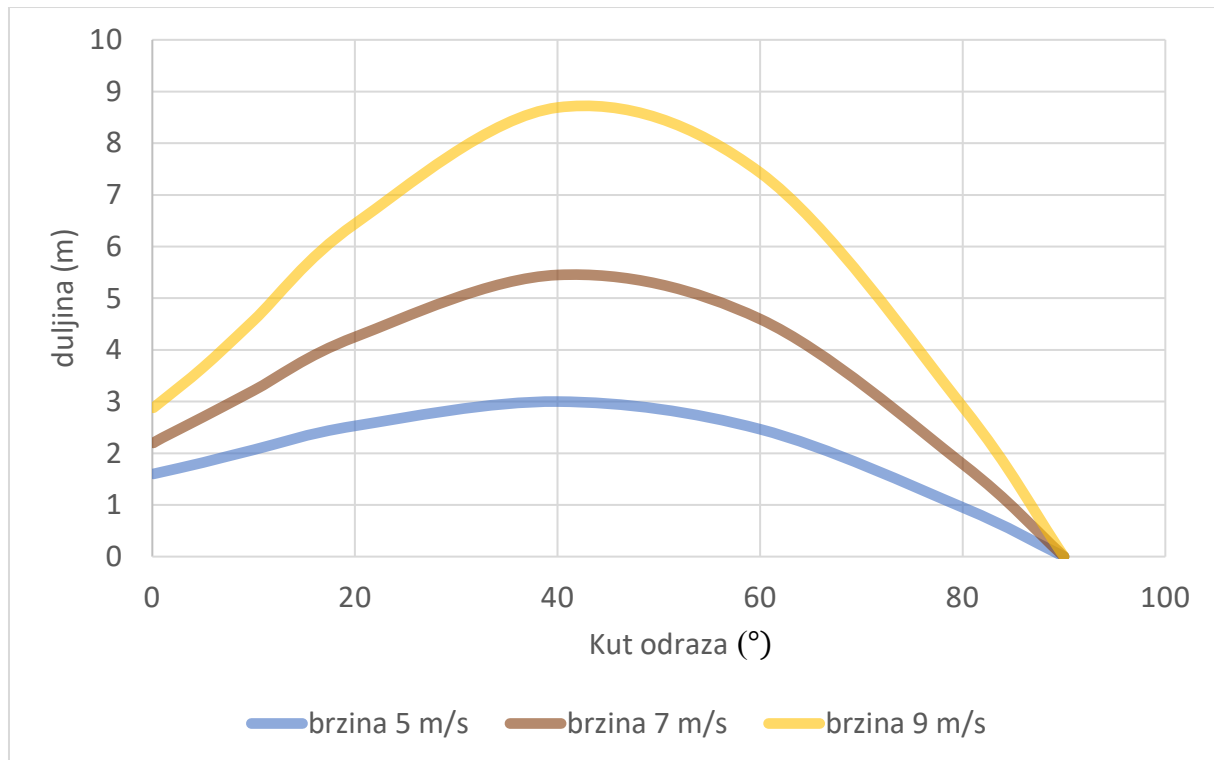


Slika 20. Prikaz duljina

Također, zbog veće duljine leta, skakač treba težiti i maksimalnoj razlici visina odraza i doskoka. Kako bi ostvario što veću brzinu prilikom zaleta, skakač treba razviti svoju najbolju tehniku skakanja u dalj prilikom koje razvija brzinu sprinta prilikom zaleta. [11]

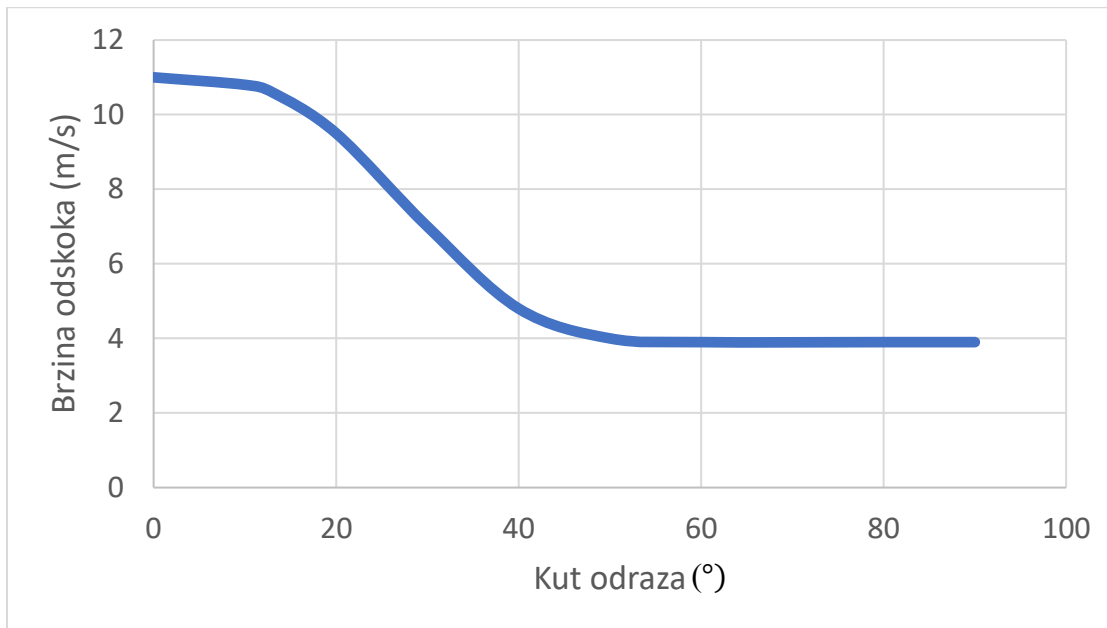
3.4. Optimalni kut

Skakač koji postiže veliku brzinu kod brzog zaleta postiže manji kut odskoka. Ako je kut odraza okomit, brzina je u tom slučaju svedena na minimum tj. tempo hoda. Ako izraze $v(\theta)$ i $h(\theta)$ uvrstimo u izraz (21) možemo utvrditi koji kut odraza najbolje odgovara skakaču. [12]



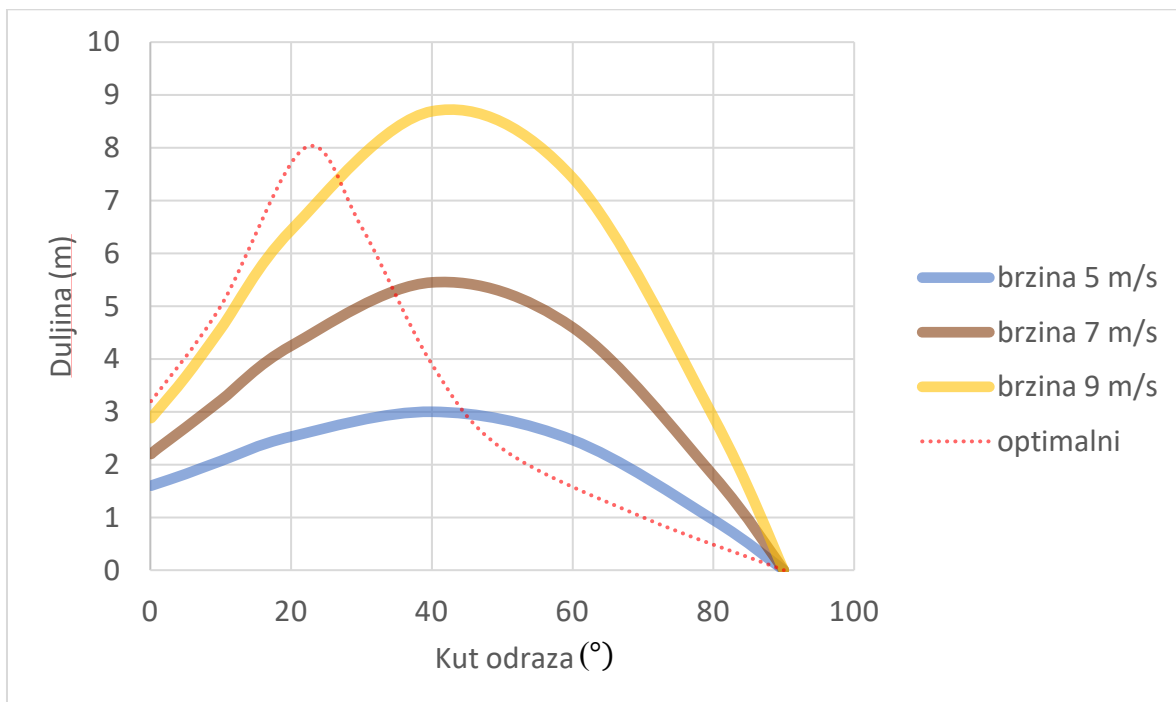
Graf 5 Dijagram ovisnosti duljine i zaletnog kuta

Iz grafa 1. možemo zaključiti da je optimalni kut zaleta manji od 45° . No, on vrijedi uz jednu pogrešku koju nismo uzeli u obzir. Brzina odskoka nije ista pri svim kutovima. Ona se mijenja s povećanjem kuta odraza. [12]



Graf 6 Dijagram ovisnost brzine odskoka i zaletnog kuta

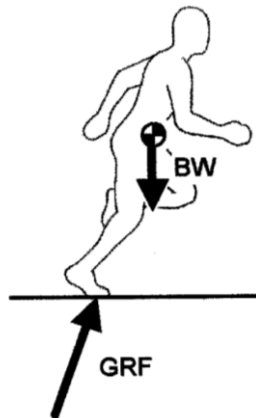
Iako nam jednažba za računanje dometa projektila u slobodnom letu predlaže idealni kut koji je manji od 45° iz krivulje grafa 2. vidimo da je optimalni kut oko 21° . [12]



Graf 7 Dijagram ovisnost duljine i zaletnog kuta

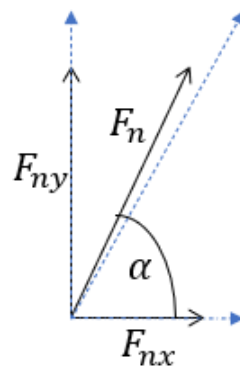
4. RASPRAVA

Kada bi sumirali sve navedeno, trenutak odraza je ključan za rezultat skoka. U trenutku odraza postoji djelovanje odrazne sile i sile gravitacije. Njihov odnos je definiran preko kuta rezultantne sile podloge koja utječe na težište pri čemu je reakcija sile podloge suma svih sila koje taj dio podloge sadržava.



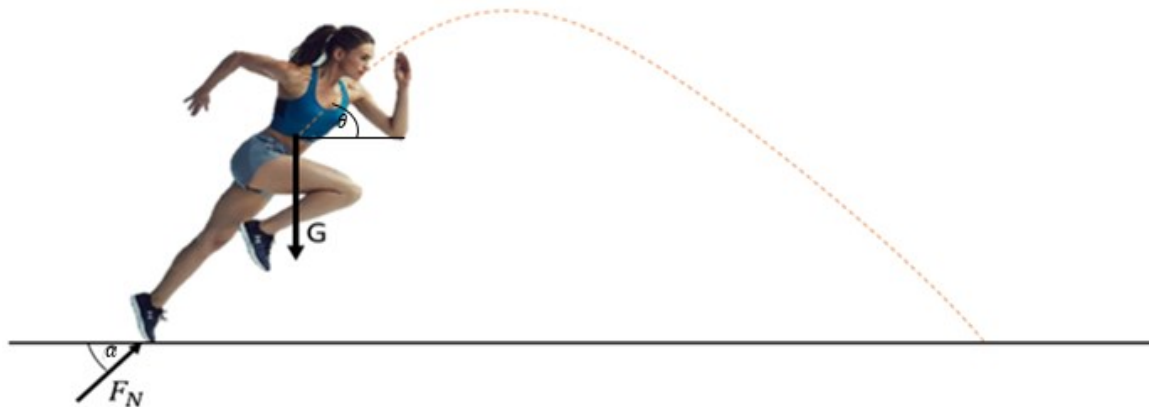
Slika 21 Prikaz djelovanja sila [15]

Vertikalna i horizontalna komponenta sile podloge definiraju pravac kretanja u težištu. Zbog toga između optimalnog kuta i skoka postoje dva krajnja slučaja.



Slika 22 Komponente sile podloge

Prvi slučaj jest zalet sa prevelikom brzinom pri čemu je kut rezultantne sile malen, a rezultat takvog skoka je niski let i kratak skok. Drugi slučaj jest zalet sa premalom brzinom pri čemu je kut rezultante sile velik, a rezultat takvog skoka je visoki let i kratak skok. Povećavanjem sila utječemo na kut rezultante sile odnosno kut uzleta.



Slika 23 Kratak skok i niski let (prvi slučaj) [16]



Slika 24 Kratak skok i visoki let (drugi slučaj) [16]

Idealni slučaj je skok s optimalnom kutom od 21° - 22° što i prikazuje krivulja grafa 3. pri kojem je kretanje putanje težišta najpravilnije. Znači da kut odraza u dva navedena slučaja varira i vrijedi da je $\theta < 21^\circ$ ili $\theta > 21^\circ$. Do promjene u slučajevima dolazi postupno, ovisno o intenzitetu odrazne sile reakcije tla te brzini. Možemo zaključiti da nijedan od dva navedena slučaja ne dovodi skakača do željenog rezultata. Logički bi mogli zaključiti da bi prevelika brzina bila prednost zaleta, no iz navedenog vidimo da u ovoj atletskoj disciplini to nije slučaj. Iz toga razloga primjena biomehanike u sportu je vrlo važna.

ZAKLJUČAK

Skok u dalj je atletska disciplina koja pokreće cijelo tijelo. Automatizacija pokreta i usklađeni rad ruku i nogu je ključan kako bi duljina skoka bila veća. Na duljinu skoka utječu biomehanički pokazatelji kao što je brzina i kut odraza. Iako je poželjna maksimalna brzina, ona se ne iskorištava u potpunosti. Prilikom skakanja u dalj, skakač bi trebao biti dobro upoznat s tim koliko njegovo tijelo može. Ako skakač precijeni sposobnost vlastitog tijela, tada može doći do ozbiljnih ozljeda i posljedica. Osim, odabrane tehnike koja skakaču najbolje odgovara važan je i način izvođenja iste. Zamah ruku kod zaleta poboljšava i povećava brzinu skakača, no usporavanje u zadnjih pet koraka i smanjivanje horizontalne brzine uz što manji gubitak odražava se na duljinu skoka jer ta postignuta brzina je proporcionalna duljini skoka. To smo dokazali iz izraza (21) koji je poznati izraz za računanje dometa projektila u slobodnom letu u zraku sa nekoliko modifikacija. Iz istog izraza (21) možemo zaključiti da visinska razlika $h_{\text{odraza}} - h_{\text{doskok}}$ mora biti maksimalna. Iako je poznato iz mehanike gibanja projektila u slobodnom zraku da je kut od 45° idealni kut, u ovom slučaju to nije tako. Tim više što brzine koje skakač postiže ne mogu biti istog iznosa i one to ni nisu. Korištenjem izvedenog izraza za računanje dometa, odredili smo koji kut najbolje odgovara skakaču. Optimalni kut, ako uzmemo u obzir da brzina pri odrazu nije ista za sve kutove i da se ona mijenja, je oko 21° - 22° . Taj optimalni kut vidljiv je i iz grafa 3. Između optimalnog kuta postoje dva krajnja slučaja koja vrijedi spomenuti jer svaki od njih može dovesti do neželjenog rezultata i neuspješnosti skoka. Prvi slučaj je prevelika brzina zaleta pri kojem skakač ostvaruje kratak skok i niski let pri čemu je kut resultantne sile bio premalen. Drugi slučaj je premalena brzina zaleta pri kojem skakač ostvaruje kratak skok i visoki let pri čemu je kut resultantne sile prevelik.

U radu se pridaje važnost analize skoka u dalj u trenutku odraza i razumijevanju biomehanike. Ako smo dovoljno upoznati s tehnikom i međuovisnosti biomehaničkih utjecajnih faktora tada je lakše poboljšati vještinu i tehniku skakanja. Ovaj rad je napravljen u svrhu usavršavanja izvedbe kroz analizu parametara brzine, kuta odraza i odrazne sile. Iz svega navedenoga do sada možemo zaključiti, iako postoji egzaktna vrijednost optimalnog kuta, svi ostali parametri ovise o pojedincu i njegovim sposobnostima.

LITERATURA

- [1] <https://tehnika.lzmk.hr/biomehanika/>, Rujan 2023.
- [2] <https://www.kheljournal.com/archives/2015/vol1issue6/PartC/2-2-67.2.pdf>, Rujan 2023.
- [3] http://www.sporting-heroes.net/athletics/croatia/sinisa-ergotic-1468/long-jump-silver-at-2002-european-championships_a07995/, Rujan 2023.
- [4] <https://www.bsport.co.za/Training/LongJump.pdf>, Rujan 2023.
- [5] <https://www.spandidos-publications.com/etm/12/2/550?text=fulltext>, Rujan 2023.
- [6] Ljubomir Antekolović, Skok u dalj, Zagreb: Hrvatski atletski savez, 2008.
- [7] [https://www.brunel.ac.uk/~spstnpl/Publications/Ch24LongJump\(Linthorne\).pdf](https://www.brunel.ac.uk/~spstnpl/Publications/Ch24LongJump(Linthorne).pdf), Rujan 2023.
- [8] [file:///C:/Users/Rasinec/Downloads/sarahclarke,+4747-13077-1-CE%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Rasinec/Downloads/sarahclarke,+4747-13077-1-CE%20(1).pdf), Rujan 2023.
- [9] <https://physics.stackexchange.com/questions/458258/can-you-jump-higher-if-you-run-if-so-why-high-jumping>, Rujan 2023.
- [10] <https://www.nbcnews.com/id/wbna48246625>, Rujan 2023.
- [11] <https://www.mathscareers.org.uk/long-jump/>, Rujan 2023.
- [12] <https://www.brunel.ac.uk/~spstnpl/BiomechanicsAthletics/LJOptimumAngle.htm>, Rujan 2023.
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=ayHpSLRq7bw>, Rujan 2023.
- [14] <https://www.intechopen.com/chapters/57578>, Rujan 2023.
- [15] https://www.researchgate.net/figure/The-three-external-forces-that-determine-the-acceleration-of-a-sprinters-center-of_fig1_7628671, Rujan 2023.
- [16] <https://www.pinterest.com/pin/540713499002166621/>, Rujan 2023.