

# Povezanost kinematičkih parametara zaleta i odraza s rezultatom u skoku u vis kod vrhunskih skakačica

---

**Aščić, Sara**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Kinesiology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Kineziološki fakultet Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:265:633779>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-08**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Kinesiology Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Kineziološki fakultet Osijek

Preddiplomski sveučilišni studij Kineziologija

Sara Aščić

**POVEZANOST KINEMATIČKIH PARAMETARA ZAleta I  
ODRAZA S REZULTATOM U SKOKU U VIS KOD  
VRHUNSKIH SKAKAČICA**

Završni rad

Osijek, 2021.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Kineziološki fakultet Osijek

Preddiplomski sveučilišni studij Kineziologija

Sara Aščić

**POVEZANOST KINEMATIČKIH PARAMETARA ZAleta I  
ODRAZA S REZULTATOM U SKOKU U VIS KOD  
VRHUNSKIH SKAKAČICA**

Završni rad

**Kolegij: Kineziološka analiza u atletici II**

JMBAG: 0165070084

e- mail: sascic@kifos.hr

Mentor: prof. dr. sc. Ljubomir Antekolović

Osijek, 2021.

University Josip Juraj Strossmayer of Osijek  
Faculty of Kinesiology Osijek  
Undergraduate university study of Kinesiology

Sara Aščić

**CORELATION BETWEEN KINEMATIC PARAMETERS OF APPROACH  
AND TAKE OFF WITH THE RESULT OF HIGH JUMP IN TOP FEMALE  
JUMPERS**

Osijek, 2021.

**IZJAVA**  
**O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI,**  
**SUGLASNOSTI ZA OBJAVU U INSTITUCIJSKIM REPOZITORIJIMA**  
**I ISTOVJETNOSTI DIGITALNE I TISKANE VERZIJE RADA**

1. Kojom izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad isključivo rezultat osobnoga rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu. Potvrđujem poštivanje nepovredivosti autorstva te točno citiranje radova drugih autora i referiranje na njih.
2. Kojom izjavljujem da sam suglasan/suglasna da se trajno pohrani i objavi moj rad u institucijskom digitalnom repozitoriju Kineziološkog fakulteta Osijek, repozitoriju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku te javno dostupnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu (u skladu s odredbama Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju „Narodne novine“ broj 123/03., 198/03., 105/04., 174/04., 2/07.-Odluka USRH, 46/07., 63/11., 94/13., 139/13., 101/14.-Odluka USRH, 60/15.-Odluka USRH i 131/17.).
3. Izjavljujem da sam autor/autorica predanog rada i da je sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti istovjetan sa dovršenom tiskanom verzijom rada predanom u svrhu obrane istog.

**Ime i prezime studenta/studentice:** Sara Aščić

**JMBAG:** 0165070084

**e-mail za kontakt:** sascic@kifos.hr

**Naziv studija:** Preddiplomski sveučilišni studij Kineziologija

**Naslov rada:** Povezanost kinematičkih parametara zaleta i odraza s rezultatom u skoku u vis kod vrhunskih skakačica

**Mentor/mentorica završnog / diplomskog rada:** prof. dr. sc. Ljubomir Antekolović

U Osijeku, 22. rujna 2021. godine

Potpis

Sara Aščić

# **Povezanost kinematičkih parametara zaleta i odraza s rezultatom u skoku u vis kod vrhunskih skakačica**

## **SAŽETAK**

Skok u vis je tehnička atletska disciplina koja svoje početke ima još u 18. stoljeću. U programu Olimpijskih igara je od samog njihovog početka te je doživjela mnoge promjene u tehnici tijekom godina. Svjetski rekordi i za muškarce i žene su u ovoj disciplini jedni od najdugovječnijih u atletici. Za muškarce iznosi 2,45 m i drži ga Javier Sotomayor, dok je kod žena taj rezultat 2,09 i drži ga Stefka Kostadinova. Prema dosadašnjim istraživanjima, najvažniji čimbenici uspješnosti u ovoj disciplini kod žena su brzina trčanja, brzina odraza, kut težišta tijela te položaj težišta tijela na odrazu. Rezultati ovog istraživanja provedenog na skakačicama koje su bile finalistice Svjetskog prvenstva u Londonu 2017. godine ukazuju na visoku povezanost uspješnosti skoka u vis s najvećom postignutom visinom težišta tijela koja iznosi 0,86. Analiza je pokazala i veliku međusobnu povezanost promatranih parametara pogotovo komponenti brzine odnosno povezanost horizontalne brzine odraza i kuta odraza s korelacijom od 0,90. Uočena je i povezanost između horizontalne brzine odraza i otklona tijela na kraju odraza s koeficijentom korelacije 0,70. Istraživanje je pokazalo i visoku povezanost kuta odraza i otklona tijela na kraju odraza. S obzirom da u ovom istraživanju nije uočena visoka povezanost uspješnosti skoka u vis s ostalim promatranim parametrima, istraživanjem je utvrđeno kako je za uspješnost u skoku u vis kod vrhunskih skakačica potrebna optimalna kombinacija parametara kako bi se maksimizirao krajnji rezultat.

**Ključne riječi:** uspješnost, težište tijela, brzina

# **Corelation between kinematic parameters of approach and take off with the result of high jump in top female jumpers**

## **ABSTRACT**

The high jump is a technical athletic discipline that dates back to the 18th century. It was in the program of the Olympic Games from the very beginning and has experienced many changes in technique over the years. World records for both men and women are one of the longest-running in athletics. For men, it is 2.45 m and is held by Javier Sotomayor, while for women it is 2.09 m and held by Stefka Kostadinova. Previous research tells us that the most important success factors in this discipline for women are running velocity, take-off velocity, angle of the center of gravity of the body, and the position of the center of mass of the body during take-off. The results of this research conducted on female high jumpers who were finalists at the 2017 World Championships in London show us a high correlation between the success of the high jump and the highest achieved height of the center of mass of the body, which is 0.86. The analysis also showed a large correlation between the observed parameters, especially the velocity component, ie the correlation between the horizontal take-off velocity and the take-off angle with a correlation of 0.90. Correlation between horizontal take off velocity and body deflection at the end of take-off with coefficient correlations of 0.70 was also observed. The research also showed a high correlation between the angle of take-off and the deflection of the body at the end of the take-off. Given that this study did not show a high correlation between jump performance compared to other observed parameters, the study showed that jump performance and height in top jumpers need an optimal combination of parameters to maximize the result.

**Key words:** success, centre of mass, velocity

## SADRŽAJ:

<b>1. Uvod.....</b>	<b>8</b>
1.1. Povijest skoka u vis .....	8
1.2. Informacijska analiza skoka u vis.....	8
1.3. Dosadašnja istraživanja ..... <b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>	
<b>2. Cilj rada .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Metode istraživanja.....</b>	<b>12</b>
<b>4. Rezultati .....</b>	<b>16</b>
4.1. Deskriptivna statistika .....	16
4.2. Analiza korelacija .....	24
<b>5. Rasprava .....</b>	<b>25</b>
<b>6. Zaključak .....</b>	<b>27</b>
<b>7. Literatura.....</b>	<b>28</b>



# 1. UVOD

## 1.1. Povijest skoka u vis

Moderni skok u vis svoje početke ima krajem 18.stoljeća u Njemačkoj, a kao natjecateljski sport pojavio se 19. stoljeću u Engleskoj te se brzo proširio u Kanadu i SAD (Dapena, 2002). Cilj discipline je prenijeti svoje tijelo preko horizontalno postavljene letvice. Tehnika skoka u vis mnogo se mijenjala kroz povijest, a promjene su se očitovale u izgledu zaleta, odraza i položaja tijela prilikom prelaska letvice. *Prekoračna tehnika, sweeney, horine* i *straddle* imaju ravan zalet, a *straddle* se uvelike razlikuje od ostalih zbog prelaska letvice tako da su skakači licem okrenuti prema njoj. Tehniku koju danas koriste svi vrhunski skakači u vis proslavio je Dick Fosbury, po kome je i dobila ime. *Fosbury flop* ili *leđna tehnika* predstavljena je na Olimpijskim igrama 1968. u Meksiku. Zalet kod ove tehnike je zakrivljen, a skakači prelaze letvicu tako da su leđima okrenuti prema njoj. Podizanje kukova uz poniranje glave i trupa, omogućuje prelazak viših visina jer na taj način tijelo u trenutku prelaska letvice prolazi iznad centra težišta tijela (Durso, 1968).

Od početaka natjecateljskog skoka u vis za žene do danas rezultati su znatno napredovali. Kako su se usaršavale tehnike, tako je rastao i svjetski rekord. Prva žena koja je skočila preko 2 metra bila je Rosemarie Ackermann, a taj je rezultat postigla 1977. godine koristeći *straddle* tehniku. Već iduće godine taj je rezultat za jedan centimetar popravila Sara Simeoni i postala prva žena koja je skočila preko 2 metra koristeći leđnu tehniku. Godine 1987. postavljen je svjetski rekord koji iznosi 2,09 metara, a postavila ga je Bugarka Stefka Kostadinova.

## 1.2. Informacijska analiza skoka u vis

Skok u vis se odvija na posebnom terenu unutar stadiona. Skakalište za skok u vis sastoji se od zaletišta, strunjače za doskok, stalaka i letvice. Da bi skok bio ispravan skakač se mora odraziti jednom nogom i prijeći cijelim tijelom preko letvice. Pri tome ne smije niti jednim dijelom tijela dirati strunjaču prije nego prijeđe letvicu. Ukoliko to napravi bilježi se da je skok neispravan. Skok je neispravan ako skakač sruši letvicu. Iznimno, ukoliko su vremenski uvjeti nepogodni (npr. jak vjetar), sudac u slučaju da letvica padne, ako zaključi da je pala zbog npr.

vjetra, može podići bijelu zastavicu kao znak da je skok ispravan. Na početku natjecanja svaki skakač odabire na kojoj će visini početi. Progresija visina je unaprijed dogovorena te kreće od veće razlike prema manjoj (npr. 165, 170, 174, 177). Na svakoj visini skakač ima pravo na 3 pokušaja. Skakač ima pravo neku visinu i propustiti te nastupiti na idućoj. Također, može odlučiti i ne iskoristiti sve pokušaje na određenoj visini. U tom slučaju, na idućoj visinu ima onoliko pokušaja koliko mu je ostalo na prethodnoj. Pobjednik je onaj koji preskoči najvišu visinu. Ukoliko oba skakača preskoče istu visinu, pobjednik je onaj koji je tu visinu preskočio iz manje pokušaja. Ako su i tu jednaki, gleda se prethodna visina itd. U slučaju da skakači imaju jednaku statistiku u skokovima, a prvi su, mogu birati hoće li se ići na pripetavanje ili će podijeliti prvo mjesto. U slučaju da se odluče podijeliti prvo mjesto, trećeg mjesta nema, nego je idući skakač drugi (World Athletics).

### 1.3. Dosadašnja istraživanja

Dosadašnja istraživanja pokazala su da uspješnost skoka najviše ovisi o brzini trčanja, brzini na odrazu, kutu težišta tijela na odrazu te položaja težišta tijela u odnosu na letvicu. Brzina težišta tijela na odrazu i kut odraza su najvažnije biomaheničke karakteristike skoka u vis. Brzina težišta tijela je rezultat brzine trčanja te horizontalne i vertikalne komponente brzine na odrazu. (Adashevsky, Iermakov i Marchenko, 2013).

Skok u vis dijeli se na 4 faze: fazu zaleta, fazu odraza, fazu leta i fazu doskoka.

**Faza zaleta** kod skoka u vis se sastoji od ravnog i zakrivljenog dijela. Većina vrhunskih skakača ima zalet od 10 koraka. Koraci su većinom raspodijeljeni tako da se 5 ili 6 koraka trči pravocrtno, a 4 ili 5 po zamišljenoj kružnici. Jedna od glavnih uloga zakrivljenog dijela zaleta je da omogući skakačima da se nagnu od letvice pri odrazu. Što je veća brzina ili oštrij zavoj, to je nagib na odrazu veći (Dapena, 2000). Tijekom trčanja zakrivljenog dijela zaleta možemo primijetiti da put centra težišta tijela i put koji prelaze stopala prilikom trčanja nije jednak (Leite, 2013). Neki skakači odmah kreću u trčanje, dok neki imaju uvodne korake prije početka zaleta. Brzina koju postižu u zaletu je između one koju postižu trkači na 400 i 800 m (Dapena, 2000). Prijašnje studije su pokazale da se vrijeme leta između koraka skraćuje kako se skakači približavaju odrazu. Trajanje kontakta s podlogom je slično kod svih koraka ili se blago smanjuje te se tako povećava frekvencija trčanja kako se skakači približavaju letvici (Conrad i

Ritzdorf, 1988). Tijekom zadnja 3 koraka također spuštaju težište tijela, ali to moraju učiniti tako da ne dođe do znatnog opadanja brzine (Dapena, 2000).

**Faza odraza** podrazumijeva period od trenutka kada odrazna noga ima prvi kontakt s podlogom pa sve do trenutka kada napusti podlogu. Tijekom ove faze odrazna noga se gura od podlogu, koja na nogu djeluje silom jednake veličine, ali suprotnog smjera. Ta sila je veća od sile koju ima masa tijela te mijenja vertikalnu brzinu težišta tijela koja je inicijalno bila približno nuli (Dapena, 2000). Prilikom ove faze skakači pri dolasku na odraz spuštaju težište tijela i dolaze otklonjeni od letvice. Na spuštanje težišta tijela utječe i amortizacija koljena. Kod vrhunskih atletičarki najmanji kut u koljenu iznosi  $128^\circ$  i  $146^\circ$  (Panoutsakopoulos i Kollias, 2012). Kod atletičarki koje su se natjecale u Seoulu 1988. kut na početku odraza je varirao između  $27^\circ$  i  $41^\circ$ , a u prosjeku je iznosio  $35^\circ$ . Na kraju odraza taj kut je iznosio između  $87^\circ$  i  $93^\circ$  što nam govori da u trenutku napuštanja podloge tijelo bude okomilo s podlogom ili blago nagnuto prema letvici (Conrad i Ritzdorf, 1988).

Horizontalna brzina odraza kod vrhunskih skakačica se razlikuje na početku i na kraju odraza. Na početku odraza ta brzina iznosi između 6,4 m/s i 7,5 m/s, dok su na kraju odraza vrijednosti horizontalne brzine između 3,2 m/s i 4,2 m/s (Conrad i Ritzdorf, 1988). Faza odraza smatra se najvažnijom fazom skoka u vis jer se tijekom nje generira vertikalna brzina koja je jedan od parametara koji najviše utječe na visinu skoka (Dapena i Chung, 1988). Vertikalna brzina na odrazu kod vrhunskih skakačica u prosjeku iznosi 3,9 m/s. Vremena odraza razlikuju se kod skakača ovisno o njihovim karakteristikama, ali i načinom na koji izvode odraz. Skakači koji skaču bez zamaha rukama i pogrčenu vodeću nogu, imaju kraće vrijeme kontakta s podlogom i ono iznosi 120-200 ms, od onih koji imaju suručni zamah i opruženu vodeću nogu čije je trajanje kontakta 170-230 ms. Prema analizi iz Seoula 1988. prosječno trajanje kontakta na odrazu kod finalistica skoka u vis bilo je 153 ms (Conrad i Ritzdorf, 1988).

**Faza leta** počinje u trenutku kada stopalo napusti podlogu i traje do prvog kontakta s doskočištem. Visina koju skakač postiže iznad letvice ovisi o položaju dijelova tijela nad letvicom (Conradi i Ritzdorf, 1988).

**Faza doskoka** nema utjecaja na uspješnost izvedbe u skoku u vis.

## **2. CILJ RADA**

Cilj ovog rada je utvrditi povezanost kinematičkih parametara zaleta i odraza u skoku u vis s uspješnošću izvedbe.

### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

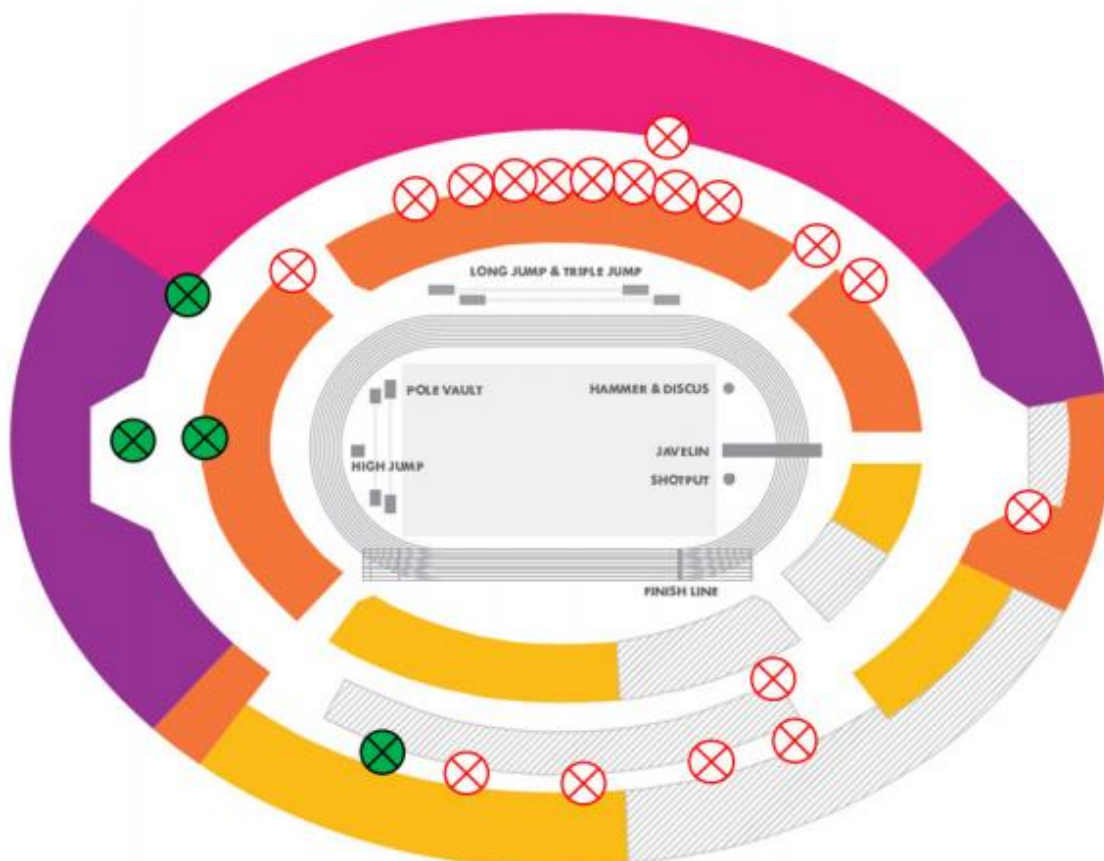
**Uzorak ispitanika:** analizirano je 12 atletičarki koje su sudjelovale u finalu skoka u vis na Svjetskom prvenstvu u atletici u Londonu 2017. godine (Tablica 1).

*Tablica 1. Podaci ispitanica*

Atletičarka	Osobni rekord (cm)	Visina (cm)	Težina (kg)	Dob
Maria LASITSKENE	206	180	57	24
Yuliya LEVCHENKO	202	179	60	19
Kamila LIĆWINKO	199	183	66	31
Marie-Laurence JUNGFLAISCH	200	181	68	26
Katarina JOHNSON-THOMPSON	198	183	68	24
Morgan LAKE	197	180	64	20
Mirela DEMIREVA	200	180	58	27
Airinė PALŠYTĖ	198	187	63	25
Inika MCPHERSON	196	165	51	30
Vashti CUNNINGHAM	202	186	55	19
Michaela HRUBÁ	194	182	62	19
Ruth BEITIA	202	192	71	38

**Način prikupljanja podataka:** Podaci koji su korišteni za izradu ovog rada preuzeti su sa službenih stranica Svjetske atletske federacije. Mjerenja su provedena za potrebe IAAF-a tijekom Svjetskog prvenstva u atletici u Londonu 2017. godine, a u suradnji s Carnegie School of Sports i Leeds Beckett University.

Na stadionu su određene 4 lokacije na koje su postavljene kamere za potrebe analize navedenih skakačica u finalu skoka u vis.



*Slika 1. Raspored kamera na stadionu ,zeleni krugovi označavaju lokacije kamera kojima su snimljene skakačice u finalu skoka u vis*

Izvor: World Athletics

Proces kalibracije kamera proveden je prije i nakon početka finala skoka u vis za žene. Konkretno, sniman je kuboidni kalibracijski okviri na području zaleta i mjestu odraza koja su bila unaprijed predodređena. Na taj način je osigurano da kvalitetno budu snimljene skakačice koje prilaze stalcima i s lijeve i s desne strane. Također, kamere su osigurale određivanje velikog broja nekomplanarnih točaka te tako olakšale izradu trodimenzionalnog koordinatnog sustava.



Slika 2. Postavljanje i snimanje kuboidnog kalibracijskog okvira

Izvor: World Athletics

Postavljeno je ukupno 5 kamera za snimanje finala ženskog skoka u vis. Sony RX10 M3 kamere koje rade na 120 Hz (brzina okidača: 1/1600; ISO: 1600; FHD: 1920x1080 px) strateški su postavljene u paru sa svojim optičkim osima tako da snimaju pokušaj svake atletičarke i u frontalnoj i u sagitalnoj ravnini. Zasebni parovi kamera korišteni su za snimanje atletičarki koje su skakale desnom odnosno lijevom odraznom nogom. Na taj način omogućeno je snimanje posljednja 3 koraka u zaletu i doskok na strunjaču. Snimke najuspješnijeg pokušaja su uvezene u program SIMI motion i ručno obrađene od strane stručnjaka. Sinkronizacija kritičnih točaka je također obrađena u programu tako što su uključene snimke s različitih kamera. Frame by frame metodom su određene te na kraju snimljene kritične točke. Rezultati su pokazali minimalnu pogrešku. Za rekonstrukciju x i y koordinata individualnih kamera korišten je DLT algoritam odnosno Direktna Linearna Transformacija. Za podatke o centru mase i ključne dijelove tijela korišten je De Leva model parametara segmenata tijela. Granične frekvencije izračunate su pomoću residualne analize. Gdje je bilo moguće, za visinu atletičarki koristili su se podaci dostupni u "Athletics 2017" ili iz internet izvora.

**Obrada podataka:** podaci su obrađeni računalnim programom Statistica koristeći uobičajene metode deskriptivne analize i analize korelacija.

**Varijable:** za potrebe ovog istraživanja mjereni su visina najvišeg skoka, maksimalna visina težišta tijela, promjena visine težišta tijela na odrazu, trajanje kontakta na odrazu, horizontalna brzina prilikom prvog i zadnjeg kontakta s podlogom, vertikalna brzina tijekom odraza,

rezultantna brzina, kut odraza, kut amortizacije te otklon tijela prilikom prvog i zadnjeg kontakta s podlogom tijekom odraza. Mjerene varijable prikazane su tablično (*Tablica 2*).

*Tablica 2. Varijable korištene za analizu*

Naziv varijable	Kratica varijable
Visina letvice	VL (m)
Maksimalna visina težišta tijela	MVTT (cm)
Promjena (%) visine težišta tijela od početka do kraja odraza	PVT (%)
Trajanje kontakta s podlogom	TK (s)
Horizontalna brzina na početku odraza	HBP (m/s)
Horizontalna brzina odraza	HBO (m/s)
Vertikalna brzina odraza	VBO (m/s)
Rezultantna brzina	RB (m/s)
Kut odraza	KO (°)
Kut amortizacije	KA(°)
Otklon tijela na početku odraza	OTP(°)
Otklon tijela na kraju odraza	OTK(°)

*Tablica 3. Prikaz svih mjerenih varijabli*

Atletičarka	VL	MVTT	PVT	TK	HBP	HBO	VBO	RB	KO	KA	OTP	OTK
Lasitskene	2,03	2,09	21,50	0,17	6,74	4,38	4,13	6,02	43	146	36	-8
Levchenko	2,01	2,03	21,51	0,16	6,61	4,39	3,90	5,87	41	127	35	-8
Lićwinko	1,99	2,08	21,42	0,16	6,64	3,88	4,11	5,65	47	139	38	1
Jungfleisch	1,95	1,99	20,33	0,14	6,82	4,60	3,95	6,06	41	137	33	-5
Johnson-Thompson	1,95	2,03	18,80	0,16	6,64	3,77	3,94	5,45	46	148	38	-4
Lake	1,95	2,01	19,67	0,15	6,99	4,41	4,09	6,01	43	135	37	-4
Demireva	1,92	1,99	20,89	0,17	6,90	3,62	4,07	5,45	48	135	37	0
Pašytė	1,92	2,00	17,80	0,17	6,51	3,74	3,69	5,25	45	137	34	-2
Mcperson	1,92	1,96	21,41	0,15	6,98	4,35	4,16	6,02	44	148	40	-2
Cunningham	1,92	1,99	18,76	0,17	6,56	3,49	4,00	5,31	49	138	38	0
Hrubá	1,92	2,02	24,57	0,19	6,65	4,01	3,94	5,62	44	127	40	-3
Beitia	1,88	1,94	18,75	0,15	6,45	4,23	3,89	5,63	41	146	31	-5



## 4. REZULTATI

Pobjednica u finalu i svjetska prvakinja postala je Maria Lasitskene s rezultatom 2,03 m. Osim nje, preko 2 metra preskočila je i drugoplasirana Yuliya Levchenko koja je skočila 2,01 m, dok je na trećem mjestu bila Kamila Ličvinko s preskočenih 1,99 m (Tablica 4).

Tablica 4. Prikaz poretka i rezultata atletičarki u finalu skoka u vis

Poredak	Atletičarka	Rezultat (m)
1.	Lasitskene	2,03
2.	Levchenko	2,01
3.	Ličvinko	1,99
4.	Jungfleisch	1,95
5.	Johnson-Thompson	1,95
6.	Lake	1,95
7.	Demireva	1,92
8.	Palšytė	1,92
9.	Mcperson	1,92
10.	Cunningham	1,92
11.	Hrubá	1,92
12.	Beitia	1,88

### 4.1. Deskriptivna statistika

U Tablici 5. analizirane su varijable 12 finalistica skoka u vis na Svjetskom prvenstvu u Londonu 2017. Pobjednički rezultat je iznosio 2,03 m, a atletičarka koja je završila svoj nastup na 12. mjestu ostvarila je rezultat od 1,88. Prosjek rezultata je 1,94 uz standardnu devijaciju od 0,04 m.

Najveća izmjerena visina težišta tijela bila je 2,09 m, a najniža 1,94 m. Najniži rezultat zabilježen je kod Beitije koja se plasirala kao posljednja u finalu, a najviši rezultat ostvarila je Lasitskene koja je i preskočila najveću visinu na ovom prvenstvu. Prosjek je bio 2,01 m uz standardnu devijaciju od 0,04 m.

Gledajući promjenu u visini težišta tijela prilikom odraza vidljivo je da se ta promjena očituje od 17,8% do 24,7%. U prosjeku je iznosila 20,45% uz standardnu devijaciju od 1,84%.

Najkraći odraz vidljiv je kod Jungfleisch čije je izmjereno trajanje kontakta na odrazu bilo 140 ms. Najsporiji odraz, odnosno najdulje vrijeme provedeno na podlozi imala je Hrubá čiji je kontakt s podlogom trajao 190 ms. U prosjeku je odraz trajao 160 ms uz standardnu devijaciju od 100 ms.

Izmjerene prosječne horizontalne brzine na početku odraza razlikovale su se kod atletičarki i bile su u rasponu od 6,45 m/s kod Beitie do 6,99 m/s kod Lake. U prosjeku je horizontalna brzina na početku odraza bila 6,70 m/s uz standardnu devijaciju od 1,17 m/s.

Kod horizontalne brzine na kraju odraza je razlika između skakačica ipak nešto veća. Najveća je vrijednost zabilježena kod Jungfleisch i iznosila je 4,60 m/s, dok je najmanja horizontalna brzina na kraju odraza izmjerena kod Cunningham, a iznosila je 3,49 m/s. Prosječna izmjerena horizontalna brzina na kraju odraza bila je 4,07 m/s uz standardnu devijaciju od 0,37 m/s.

Vrijednosti vertikalne brzine odraza raspon su imale od 3,69 m/s do 4,16 m/s. U prosjeku je ta vrijednost bila 3,99 m/s uz standardnu devijaciju od 0,13 m/s.

Rezultantna brzina je u prosjeku iznosila 5,70 m/s uz standardnu devijaciju od 0,29 m/s. Najbrža je bila Jungfleisch sa 6,06 m/s, a najsporija Palšyte s 5,25 m/s.

Kut odraza kod atletičarki varirao je od 41° do 49°. Najveći kut u odrazu imala je Cunningham, a pod kutem od 41° odražavale su se 3 atletičarke; Levchenko, Jungfleisch i Beitia. U prosjeku je taj kut iznosio 44,33° uz standardnu devijaciju od 2,74°.

Kut amortizacije imao je najveću razliku među atletičarkama. Najmanji izmjeren kut amortizacije imala je Levhenko s 127°, a najveći ja zabilježen kod Johnson-Thompson i iznosio je 148°. U prosjeku je taj kut bio 138°, uz standardnu devijaciju od 7,30°.

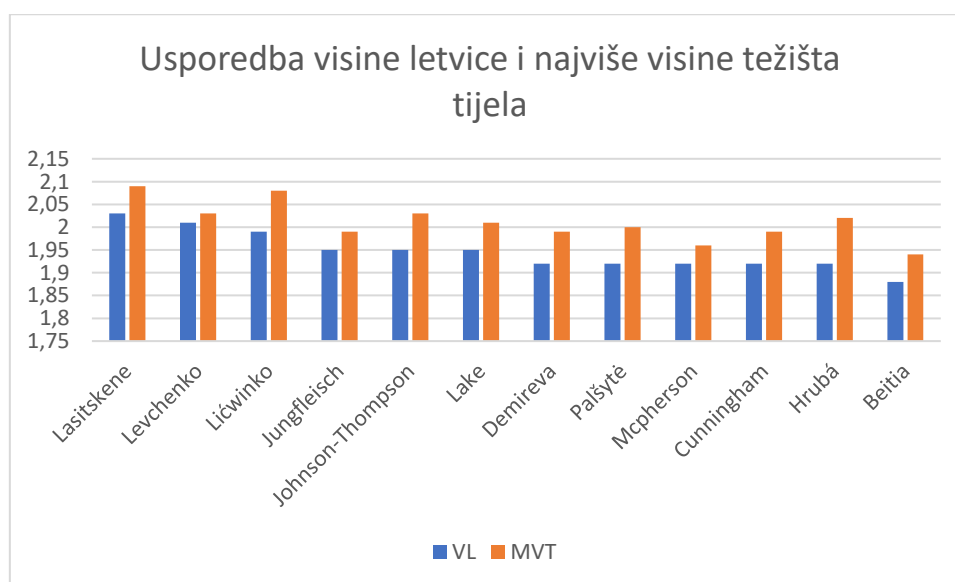
Otklon tijela se veoma razlikovao na početku i na kraju odraza. Na kraju odraza je za većinu atletičarki kut poprimio negativnu vrijednost što znači da je položaj tijela bio usmjeren prema letvici. Prosječna vrijednost otklona tijela na početku odraza bila je 36,46° uz standardnu devijaciju od 2,74°, a vrijednosti su re kretale od 31° kod Beitie do 40° kod McPherson. Otklon tijela na kraju odraza iznosio je 0° kod Cunningham i Demireve, a pozitivnu vrijednost imala je samo Lićwinko čiji je kut otklona na kraju odraza iznosio 1°. Najmanja vrijednost izmjerena je kod prvoplasirane i drugoplasirane Lasitskene i Levchenko i iznosila je -8°. U prosjeku je kut bio -3,33° uz standardnu devijaciju od 2,93°.

Tablica 5. prikaz podataka dobivenih deskriptivnom analizom

Varijabla	n	AS	Min	Maks	St. dev.
VL (m)	12	1,94	1,88	2,03	0,04
MVTT (m)	12	2,01	1,94	2,09	0,04
PVT (%)	12	20,45	17,8	24,57	1,84
TK (ms)	12	160	140	190	100
HBP (m/s)	12	6,70	6,45	6,99	0,17
HBO (m/s)	12	4,07	3,49	4,60	0,37
VBO (m/s)	12	3,99	3,69	4,16	0,13
RB (m/s)	12	5,70	5,25	6,06	0,29
KO (°)	12	44,33	41,00	49,00	2,74
KA (°)	12	138,58	127,00	148,00	7,30
OTP (°)	12	36,42	31,00	40,00	2,74
OTK (°)	12	-3,33	-8,00	1,00	2,93

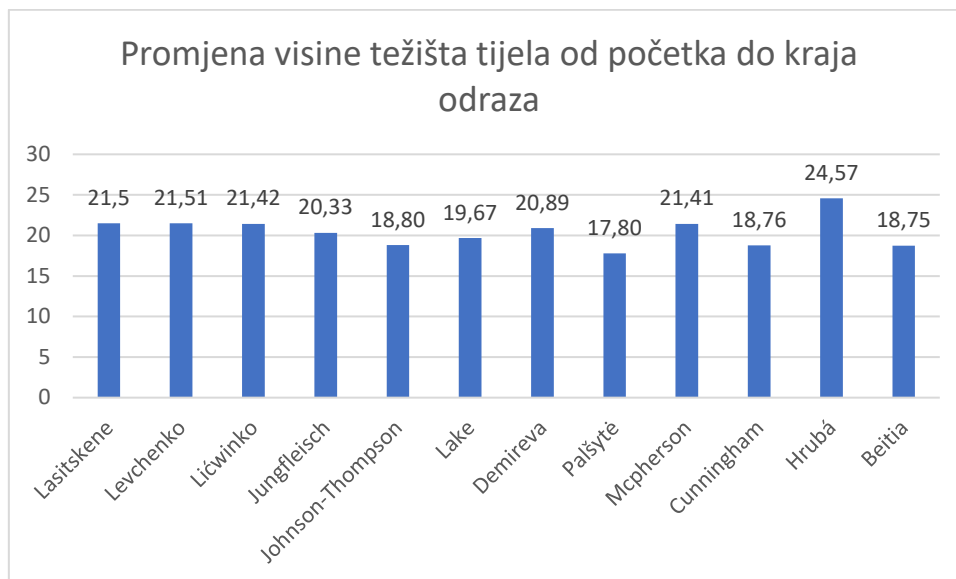
Legenda: n – broj entiteta; AS – aritmetička sredina; Min - najmanja izmjerena vrijednost; Maks - najveća izmjerena vrijednost; St.dev. - standardna devijacija

Gledajući najvišu postignutu visinu težišta tijela u odnosu na letvicu, možemo zaključiti da kod nekih atletičarki nije maksimalno iskorišten potencijal za dobru izvedbu na natjecanju. Najveću razliku između preskočene visine i najviše točke težišta tijela ima Hrubá kod koje ta razlika iznosi 0,1 m. Takav rezultat možemo pripisati ranom ispadanju iz natjecanja zbog lošijih pokušaja na sljedećoj visinu ili nedovoljno dobroj tehnici prelaska preko letvice. Najmanja razlika vidi se kod drugoplasirane Levchenko kod koje je razlika 0,02 m (Graf 1).



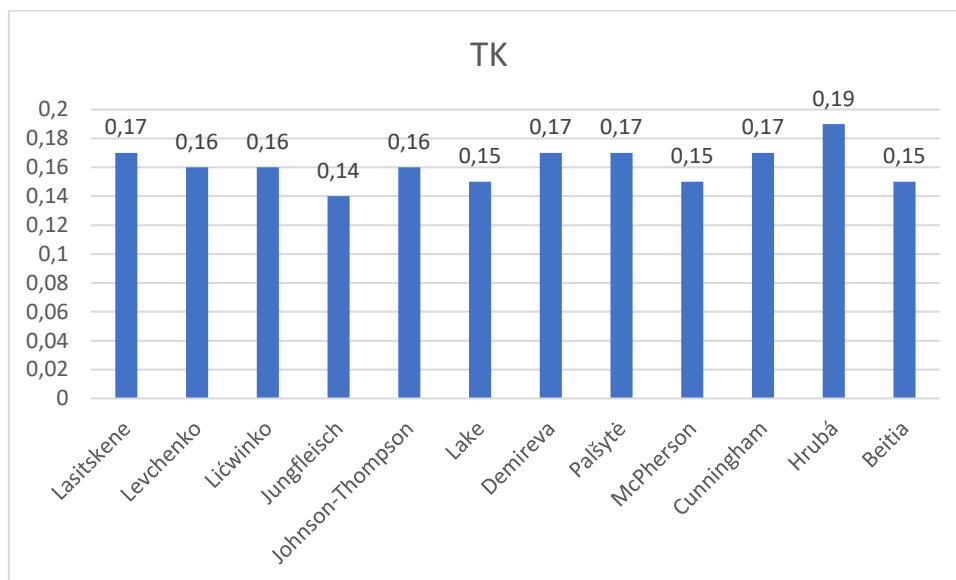
Graf 1. Usporedba visine letvice i najviše visine težišta tijela

Graf 2. prikazuje rezultate u promjeni visine težišta tijela kod atletičarki. Vidljivo je kako 3 prvoplasirane atletičarke imaju vrlo slične rezultate.



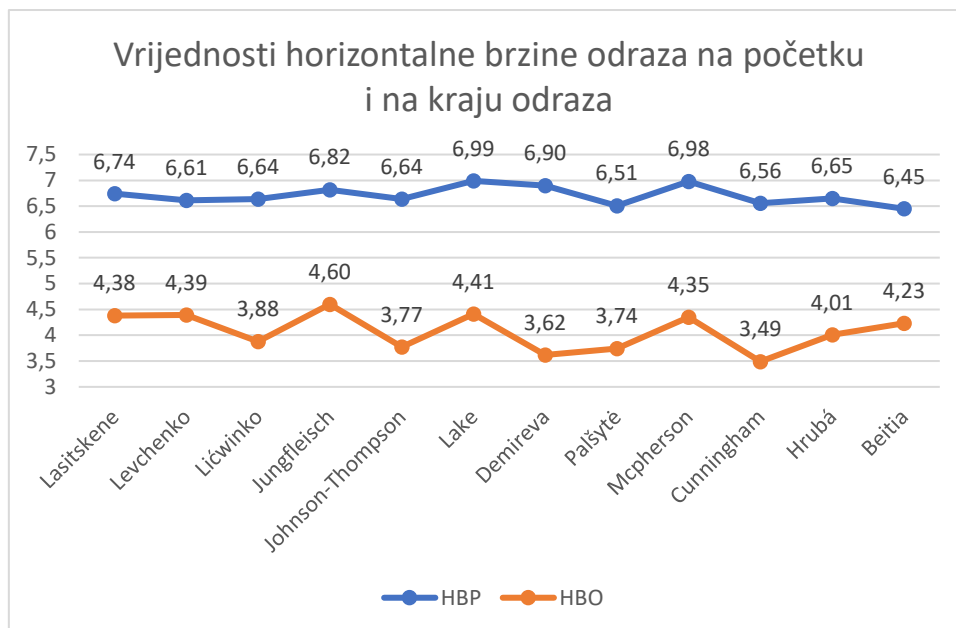
*Graf 2. Promjena visine težišta tijela od početka do kraja odraza*

Vrijednosti trajanja kontakta s podlogom nalaze se u rasponu od 140 ms do 190 ms. Vidimo da su podjednake kod osvajačica medalja na ovom natjecanju (Graf 3).



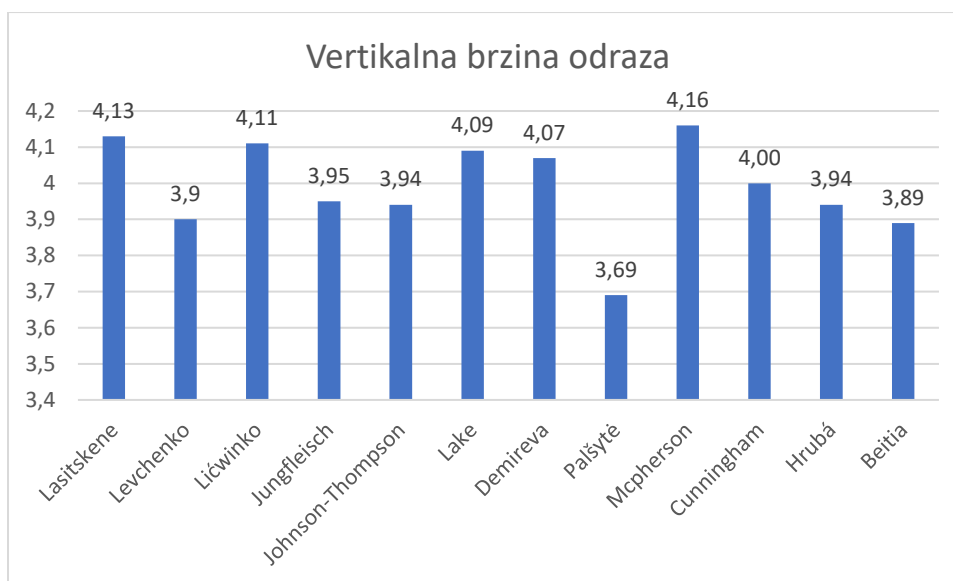
*Graf 3. Trajanje kontakta s podlogom na odrazu*

Horizontalna brzina na početku i na kraju odraza se razlikovala kod svih atletičarki. Najmanja razlika između te dvije vrijednosti zabilježena je kod Levchenko i Beitije i iznosila je 2,22 m/s. Iz toga je vidljivo da su te dvije atletičarke najbolje očuvale brzinu prilikom odraza. Najveća razlika je zabilježena kod Demireve i iznosi 3,28 m/s (Graf 4).



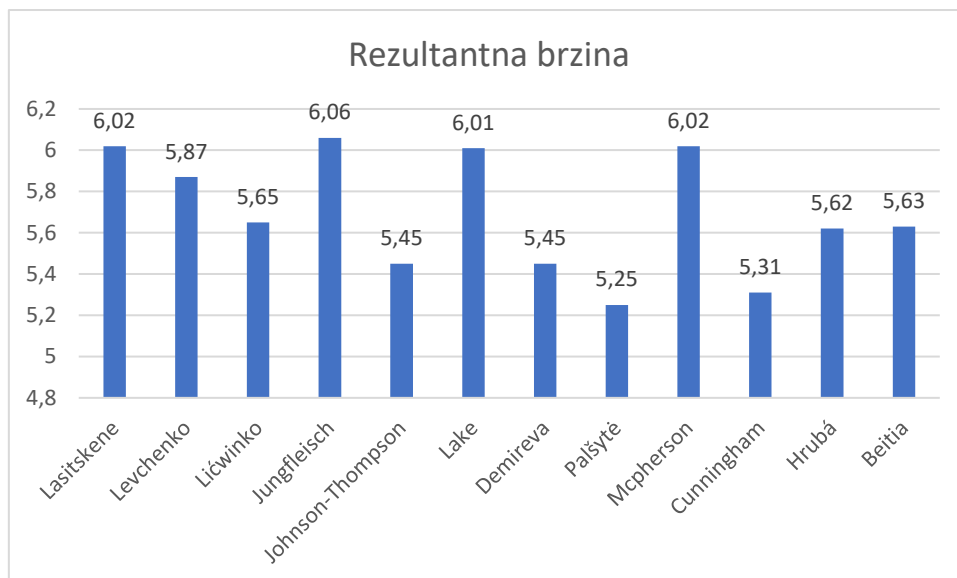
Graf 4. Vrijednosti horizontalne brzine na početku i na kraju odraza

Vertikalna brzina odraza grafički je prikazana na Grafu 5. Vidljivo je da je najveću vertikalnu brzinu imala McPherson, a nakon nje Lasitskene i Levchenko koje su osvojile prvo i drugo mjesto. Gotovo sve djevojke osim Palšytė imale su vertikalnu brzinu 3,9 m/s ili veću.



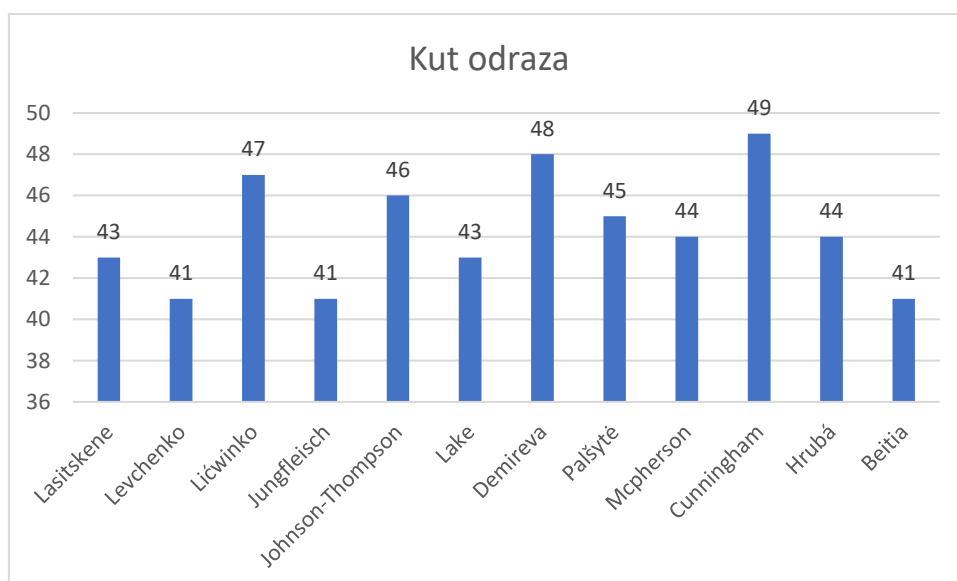
Graf 5. Vrijednosti vertikalne brzine odraza

Rezultantna brzina na odrazu bila je različita kod svih atletičarki. Vrlo se razlikuju rezultati tri prvoplasirane atletičarke. Rezultantnu brzinu veću od 6 m/s imale su prvoplasirana Lasitskene, peta Jungfleisch i deveta McPherson (Graf 6).



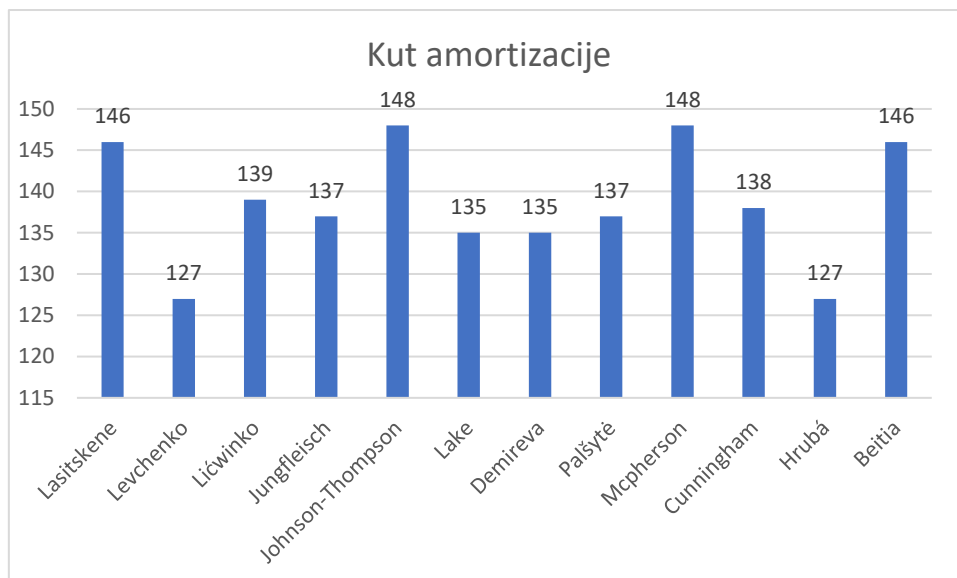
*Graf 6. Prikaz vrijednosti rezultantne brzine na odrazu*

Kut odraza razlikovao se kod svih atletičarki (Graf 7). Tri prvoplasirane atletičarke imale su vrlo različite rezultate. Najmanji kut draza imale su skakačice koje su svoj nastup završile na drugom, četvrtom i dvanaestom mjestu.



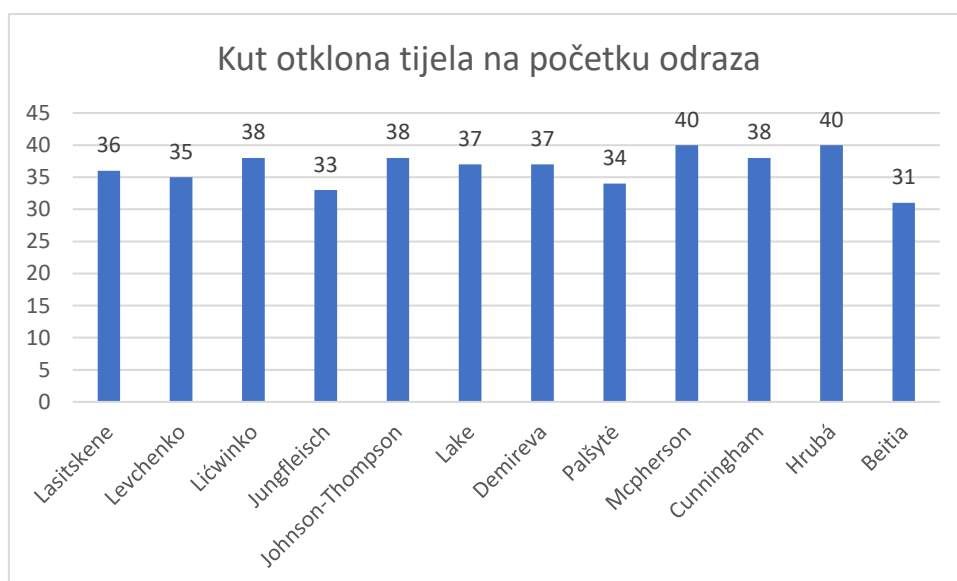
*Graf 7. Prikaz vrijednosti kuta odraza*

Kut amortizacije također se vrlo razikovao kod atletičarki. Primjetna je velika razika između kuta prve, druge i treće Lasitskene, Levchenko i Ličwinko čiji su rezultati redom  $146^\circ$ ,  $127^\circ$  i  $139^\circ$  (Graf 8).



*Graf 8. Prikaz vrijednosti kuta amortizacije*

Kod kuta otklona tijela na početku odraza uočljivi su vrlo slični rezultati svih skakačica uz malo odstupanje Beitije čiji je kut  $31^\circ$ . Tri prvoplasirane skakačice imale su kut otklona tijela na početku odraza od  $35^\circ$  do  $38^\circ$  (Graf 9).



*Graf 9. Prikaz rezultata kuta otklona tijela na početku odraza*

Kut otklona tijela na kraju odraza imao je vrlo male vrijednosti koje su kod većine skakačica bile negativne. Natjecateljice koje su osvojile prvo i drugo mjesto imale su kut otklona na kraju odraza  $-8^\circ$ , dok je trećeplasirana Ličwinko jedina natjecateljica koja je imala pozitivnu vrijednost kuta otklona tijela na kraju odraza (Graf 10).



*Graf 10. Prikaz vrijednosti kuta odklona tijela na kraju odraza*



## 4.2. Analiza korelacija

Tablica 6. Prikaz korelacija svih varijabli

Varijabla	VL	MVTT	PVT	TK	HBP	HBO	VBO	RB	KO	KA	OTP	OTK
VL	1,00											
MVTT	0,86*	1,00										
PVT	0,31	0,35	1,00									
TK	0,01	0,34	0,42	1,00								
HBP	0,12	-0,03	0,29	-0,31	1,00							
HBO	0,34	0,00	0,28	-0,57	0,37	1,00						
VBO	0,32	0,26	0,42	-0,16	0,69*	0,21	1,00					
RB	0,45	0,13	0,41	-0,53	0,60*	0,93*	0,53	1,00				
KO	-0,16	0,14	-0,14	0,45	-0,02	-0,90*	0,20	-0,68*	1,00			
KA	-0,10	-0,11	-0,43	-0,40	0,04	0,02	0,28	0,07	0,07	1,00		
OTP	0,09	0,28	0,51	0,45	0,41	-0,31	0,53	-0,04	0,56	-0,07	1,00	
OTK	-0,46	-0,17	-0,10	0,20	0,06	-0,72*	0,14	-0,56	0,82*	0,00	0,44	1,00

Legenda: VL - visina letvice, MVTT - maksimalna visina težišta tijela, PVT - promjena visine težišta tijela od početka do kraja odraza, TK - trajanje kontakta s podlogom, HBP - horizontalna brzina na početku odraza, HBO - horizontalna brzina odraza, VBO - vertikalna brzina odraza, RB - rezultatna brzina, KO - kut odraza, KA - kut amortizacije, OTP - otklon tijela na početku odraza, OTK - otklon tijela na kraju odraza; \* i crvenom bojom su označene statistički značajne korelacije  $p=0,05$

Analiza korelacija pokazala je statistički značajnu povezanost najviše visine težišta tijela s rezultatom u skoku u vis koja iznosi 0,86. Analizom korelacija utvrđeno je da ne postoji statistički značajna povezanost rezultata u skoku u vis s ostalim mjerenim parametrima. Utvrđena je statistički značajna povezanost između horizontalne brzine na početku odraza i vertikalne brzine na odrazu. Rezultatna brzina je visoko korelirana s horizontalnom brzinom na početku i na kraju odraza. Trajanje kontakta negativno je korelirano s horizontalnom brzinom odraza uz koeficijent korelacije -0,90 i rezultatnom brzinom s koeficijentom korelacije od -0,68. Kut otklona na kraju odraza negativno je koreliran s horizontalnom brzinom odraza uz koeficijent korelacije od -0,72, no pozitivno je koreliran s trajanjem odraza uz koeficijent korelacije od 0,82.

## 5. RASPRAVA

Službeni rezultati pokazuju da su sve atletičarke osim Beitije uspjele završiti svoj nastup s preskočenih barem 1,90 m. Pobjednički rezultat iznosio je 2,03 m, dok je posljednja natjecateljica završila svoj nastup s rezultatom 1,88 m. Iz toga je vidljivo da je raspon rezultata 15 cm. Prosječna najveća visina težišta tijela bila je 2,01 m uz standardnu devijaciju od 0,04 dok je najviša izmjerena kod Lasitskene čija je visina bila 2,09 m. Kod svih je skakačica došlo do znatne promjene težišta tijela na odrazu i rezultati su varirali između 17,8% i 24,7 %. Duljina trajanja odraza razlikovala se kod skakačica te je najkraći odraz imala Jungfleisch sa 140 ms, a najdulji Hrubá 190 s. Prosječna horizontalna brzina na početnu odraza kod skakačica bila je 6,70 m/s uz standardnu devijaciju od 1,17 m/s, dok je na kraju odraza ta brzina u prosjeku bila 4,07 m/s uz standardnu devijaciju od 0,37 m/s. Najveća izmjerena vertikalna brzina bila je 4,16 m/s i izmjerena je kod McPherson, dok je najmanja brzina izmjerena kod Beitije i iznosila je 3,69 m/s. Iz tih podataka vidljivo je da je najveća rezultatna brzina bila kod Jungfleisch kod koje je ta brzina iznosila 6,06 m/s, dok je najmanja brzina izmjerena kod Palšyte čija je brzina bila 5,25 m/s. Kut odraza kod atletičarki bio u prosjeku  $44,23^\circ$  uz standardnu devijaciju od  $2,74^\circ$ . Kut amortizacije je znatno varirao kod atletičarki te je najveći izmjeren kod Johnson-Thompson i iznosio je  $148^\circ$ , dok je kod Levchenko taj kut bio  $127^\circ$ . Otklon tijela je prema očekivanjima bio različit na početku i na kraju odraza. Na kraju odraza je kod gotovo svih natjecateljica taj kut imao negativnu vrijednost što znači da su tijelom bile nagnute prema letvici. Prosječna vrijednost otklona tijela na početku odraza bila je  $36,46^\circ$  uz standardnu devijaciju od  $2,74^\circ$ . Najmanja je vrijednost izmjerena kod Beitie i iznosila je  $31^\circ$ , dok je najveća bila kod McPherson i iznosila je  $40^\circ$ . Otklon tijela na kraju odraza iznosio je  $0^\circ$  kod Cunningham i Demireve, a pozitivnu vrijednost imala je samo Lićwinko čiji je kut otklona na kraju odraza iznosio  $1^\circ$ . Najmanja vrijednost izmjerena je kod prve i drugoplasirane Lasitskene i Levchenko i iznosila je  $-8^\circ$ . U prosjeku je kut bio  $-3,33^\circ$  uz standardnu devijaciju od  $2,93^\circ$ . Očekivani rezultati kuteva bili su pozitivnih vrijednosti. Zbog djelovanja centrifugalne sile, kao i u zakrivljenom dijelu zaleta, potrebno je tijelo usmjeriti suprotno od djelovanja sile kako bi se očuvala brzina gibanja te kako bi se odraz usmjerio u vis. Kada se skače pod ovako malim kutevima, ne dolazi do maksimalnog iskorištavanja brzine i odraza.

Analiza korelacija pokazala je značajnu povezanost između najviše visine težišta tijela i uspješnosti skoka u vis, a koeficijent iznosi 0,86. S obzirom da cilj skoka u vis i je podići težište tijela iznad visine letvice, ovi podaci se slažu s dosadašnjim istraživanjima (Coh i Supej, 2008).

Daljnjom analizom nije utvrđena značajna povezanost uspješnosti skoka u vis s ostalim parametrima. Prijašnja istraživanja navode kako su najvažniji parametri uspješnosti skoka u vis već navedena visina težišta tijela, vertikalna brzina na kraju odraza, visina kukova iznad letvice koju nismo promatrali u ovom istraživanju te kut i trajanje odraza (Blažević, Antekolović i Mejovšek, 2006).

Utvrđena je povezanost horizontalne brzine na početku odraza i vertikalne brzine na odrazu s koeficijentom korelacije 0,69. To potvrđuje da skakačice koje dođu na odraz većom horizontalnom brzinom, uspiju razviti veću vertikalnu brzinu na kraju odraza. Horizontalna brzina na početku odraza visoko je korelirana i s rezultatnom brzinom kao i horizontalna brzina na kraju odraza. Horizontalna brzina na kraju odraza s rezultatnom je brzinom korelirana na razini značajnosti od 0,93 što znači da će atletičarke koje zadrže brzinu na kraju odraza, ostvariti veću rezultatnu brzinu.

Izračunata je negativnu povezanost između kuta odraza i horizontalne brzine na kraju odraza s koeficijentom korelacije -0,90. Iz ovih podataka vidljivo je da atletičarke koje imaju veću horizontalnu brzinu na kraju odraza imaju manji kut odraza. Negativna povezanost je vidljiva i kod rezultatne brzine i kuta odraza i taj je koeficijent korelacije -0,68, što pokazuje da skakačice koje imaju veću rezultatnu brzinu imaju manji kut odraza u odnosu na horizontalnu liniju.

Vidljiva je negativna korelacija kuta amortizacije i horizontalne brzine na kraju odraza koja iznosi -0,72. To govori da skakačice koje imaju veću horizontalnu brzinu na kraju odraza imaju manji kut amortizacije. S kutom amortizacije je povezan i kut odraza s koeficijentom korelacije 0,82, odnosno, što je kut odraza kod pojedine skakačice veći, to je veći i kut amortizacije.

S obzirom da nije uočena povezanost između uspješnosti skoka u vis i ostalih parametara, a uočena je međusobna povezanost parametara, možemo pretpostaviti da uspješnost u skoku u vis ovisi o kombinaciji promatranih parametara. Prema nalazima istraživanja, mogće je utvrditi da za pojedinu skakačicu treba pronaći optimalan odnos parametara kako bi se maksimirala uspješnost izvedbe.

## 6. ZAKLJUČAK

Nakon analize i obrade podataka uvidjeli smo koji su to vrlo važni parametri uspješnosti skoka u vis. Najvažnijim parametrom uspješnosti pokazala se najviša visina težišta tijela. Ostali parametri kreću se u određenim okvirima uz varijacije između atletičarki što je i uzrokovalo to da analiza nije pokazala više visoko povezanih parametara. Analiza je ukazala na međusobnu povezanost komponenti brzine s kutevima odraza i amortizacije te njihovu međusobnu povezanost. S obzirom kako mnoga istraživanja navode baš komponente brzine odnosno vertikalnu brzinu odraza kao jednu od najvažnijih komponenti, za zaključiti je da bi se u treningu skoka u vis na ove parametre trebalo usmjeriti mnogo pažnje. S obzirom na varijabilitet rezultata, važno je pronaći odgovarajući omjer parametara kako bi pojedina skakačica uspjela ostvariti svoje maksimalne sportske rezultate.

## 7. LITERATURA

1. Adashevskiy, V., Iermakov, S., & Marchenko, A. (2013). Biomechanics aspects of technique of high jump. Available at SSRN 2444335.
2. Blažević, I., Antekolović, L., & Mejovšek, M. (2006). Variability of high jump kinematic parameters in longitudinal follow-up. *Kinesiology*, 38(1), 63-71.
3. Coh, M., & Supej, M. (2008). Biomechanical model of the take-off action in the high jump: a case study. *New Stud Athlet*, 23(4), 63-73.
4. Dapena, J. (2000). The high jump. *Biomechanics in sport*, 284-311.
5. Dapena, J. (2002). The evolution of high jumping technique: biomechanical analysis. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
6. Dapena, J. E. S. U. S., & Chung, C. S. (1988). Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(3), 290-302.
7. Durso, J., (1968), Fearless Fosbury Flops to Glory, *The New York Times*, [http://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/packages/html/sports/year\\_in\\_sports/10.20.html](http://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/packages/html/sports/year_in_sports/10.20.html) (05-01-2019)
8. Leite, W. (2013). Biomechanical analysis of running in the high jump. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*, 17(2), 99-105.
9. Nicholson, G., Bissas, A. (2017). Biomechanical report for the IAAF World Championships High Jump Woman's Carnegie School of Sport.
10. Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I. (2012). 3-D biomechanical analysis of women's high jump. *New Studies in Athletics*, 27(3), 31-48.
11. [https://www.eurosport.com/athletics/marie-laurence-jungfleisch\\_prs317993/person.shtml](https://www.eurosport.com/athletics/marie-laurence-jungfleisch_prs317993/person.shtml) , (preuzeto 03. rujna 2021.)
12. [https://www.eurosport.com/athletics/yuliya-levchenko\\_prs433317/person.shtml](https://www.eurosport.com/athletics/yuliya-levchenko_prs433317/person.shtml), (preuzeto 03. rujna 2021.)
13. [https://www.eurosport.co.uk/athletics/katarina-johnson-thompson\\_prs364566/person.shtml](https://www.eurosport.co.uk/athletics/katarina-johnson-thompson_prs364566/person.shtml) , (preuzeto 03. rujna 2021.)
14. [https://www.eurosport.com/athletics/morgan-lake\\_prs400339/person.shtml](https://www.eurosport.com/athletics/morgan-lake_prs400339/person.shtml), (preuzeto 03. rujna 2021.)
15. [https://www.eurosport.com/athletics/mirela-demireva\\_prs317999/person.shtml](https://www.eurosport.com/athletics/mirela-demireva_prs317999/person.shtml), (preuzeto 03. rujna 2021.)

16. [https://www.eurosport.com/athletics/airine-palsyte\\_prs304621/person.shtml](https://www.eurosport.com/athletics/airine-palsyte_prs304621/person.shtml), (preuzeto 03. rujna 2021.)
17. <https://www.teamusa.org/usa-track-and-field/athletes/Inika-McPherson>, (preuzeto 03. rujna 2021.)
18. [https://www.eurosport.com/athletics/vashti-cunningham\\_prs445532/person.shtml](https://www.eurosport.com/athletics/vashti-cunningham_prs445532/person.shtml), (preuzeto 03. rujna 2021.)
19. [https://www.eurosport.com/athletics/michaela-hruba\\_prs420303/person.shtml](https://www.eurosport.com/athletics/michaela-hruba_prs420303/person.shtml), (preuzeto 03. rujna 2021.)
20. [https://www.eurosport.com/athletics/ruth-beitia\\_prs29818/person.shtml](https://www.eurosport.com/athletics/ruth-beitia_prs29818/person.shtml), (preuzeto 03. rujna 2021.)