

# Povezanost kinematičkih parametara s rezultatom u skoku s motkom

---

**Gudelj Ceković, Ines**

**Doctoral thesis / Doktorski rad**

**2013**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Splitu, Kineziološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:221:980711>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**KINEZIOLOŠKI FAKULTET  
SVEUČILIŠTE U SPLITU**

INES GUDELJ CEKOVIĆ, prof.

**POVEZANOST KINEMATIČKIH PARAMETARA S  
REZULTATOM U SKOKU S MOTKOM**

DOKTORSKA DISERTACIJA

MENTOR: Prof.dr.sc. NEBOJŠA ZAGORAC

KOMENTOR: Prof.dr.sc. VESNA BABIĆ

SPLIT, STUDENI 2013.

# Doktorska disertacija

---

Dana 13. studenog 2013. godine, Ines Gudelj Ceković, prof., **obranila** je doktorsku disertaciju pod naslovom:

## **POVEZANOST KINEMATIČKIH PARAMETARA S REZULTATOM U SKOKU S MOTKOM**

mentora dr.sc. Nebojše Zagorca, izvanrednog profesora na Kineziološkom fakultetu u Splitu i sumentora dr.sc. Vesne Babić, izvanrednog profesora Kineziološkog fakulteta u Zagrebu

javnom obranom pred Stručnim povjerenstvom u sastavu:

1. dr.sc. Boris Maleš, redoviti profesor Kineziološkog fakulteta u Splitu, predsjednik
2. dr.sc. Vesna Babić, redoviti profesor Kineziološkog fakulteta u Zagrebu, član
3. dr.sc. Mario Jeličić, izvanredni profesor Kineziološkog fakulteta u Splitu, član
4. dr.sc. Đurđica Miletić, redoviti profesor Kineziološkog fakulteta u Splitu, član
5. dr.sc. Frane Žuvela, docent Kineziološkog fakulteta u Splitu, član

Pozitivno izvješće Povjerenstva za ocjenu doktorske disertacije prihvaćeno na sjednici Fakultetskog vijeća održanoj dana 05. studenog 2013. godine.

## **Zahvala**

Želim izraziti zahvalnost svima koji su mi pomogli na ovom putovanju, a posebno mojim roditeljima bez čije neograničene ljubavi, potpore i savjeta nikada ne bih stigla do željenog cilja. Hvala im što su me naučili samodisciplini, strpljivosti i marljivosti. Također hvala mom suprugu na strpljenju i razumijevanju.

Veliko HVALA na nesebičnoj pomoći i savjetima mome mentoru, prijatelju i učitelju prof. dr. sc. Nebojši Zagorcu kao i njegovoj obitelji na potpori.

Također, veliko HVALA i mojoj sumentorici prof. dr. sc. Vesni Babić na pomoći kod realizacije ovog projekta te savjetima tijekom izrade samog znanstvenog rada.

Zahvaljujem se i članovima povjerenstva za ocjenu i obranu disertacije prof. dr. sc. Vesni Babić, prof. dr. sc. Borisu Malešu, prof. dr. sc. Đurđici Miletić, prof. dr. sc. Mariju Jeličiću, doc. dr. sc. Frani Žuveli te prof. dr. sc. Nikoli Rausavljeviću za njihov doprinos u poboljšanju rada. Profesoru dr. sc. Ratku Katiću posebno hvala na pruženim savjetima i susretljivosti te vrhunskim juniorima u skoku s motkom kao i njihovim trenerima.

Neizmjernu zahvalnost dugujem svojim dragim prijateljicama Aniti Brakus i Dariji Mlačić te prijatelju Viktoru Bojoviću, čija je pomoć kod prijevoda znanstvenih radova nemjerljiva, a napose su njihova podrška i vedrina uvelike pomogle pisanju rada.

Mojim dragim sestrama Nives i Adrijani, te bratu Andri hvala na bezuvjetnoj ljubavi i potpori. Hvala Maji i Slavku, mojoj sveskrvi i svekru, na razumijevanju i vjeri u moj uspjeh te svima onima koji su na bilo koji način pomogli pri realizaciji ovog rada, bilo riječima ohrabrenja i poticaja ili pak sugestijom i idejom.

*Ovu doktorsku disertaciju posvećujem svojim roditeljima, Matiji i Žarku, suprugu Danielu te našim predivnim anđelima, Andri i Ivanu.*

*...jer njihova je ljubav čvrsta točka zbog koje mogu pokrenuti svijet.*

## **SAŽETAK**

Osnovni cilj ovog rada je utvrditi utjecaj kinematičkih parametara na rezultat u skoku s motkom. U tu svrhu provedeno je istraživanje akvizicijom video zapisa s natjecanja. Uzorak entiteta ( $N = 71$ ) činili su uspješni skokovi 30 skakača s motkom čiji su pokušaji snimljeni na Europskom juniorskom prvenstvu u Novom Sadu, 23.7. - 26.7.2009. godine. Ispitanici su izveli skokove u okviru eliminacijskog natjecanja za finale i skokove u finalnom dijelu natjecanja. Starost ispitanika bila je od sedamnaest do devetnaest godina, a raspon njihovih najboljih rezultata kretao se od 4,70 m do 5,25 m. Prema standardima procedure APAS (Ariel Performance Analysis Sistem, USA) provedena je kinematička analiza čime je utvrđeno 25 kinematičkih varijabli potrebnih za daljinu analizu. Prema razini prosječnih postignuća vrhunskih juniora vidljiva je visoka razina natjecateljskih mogućnosti.

Regresijskom analizom utjecaja 2D kinematičkih varijabli na rezultat u skoku s motkom izdvojeno je osam statistički značajnih varijabli koje objašnjavaju 97% varijance rezultata. Najveći utjecaj na visinu centra mase tijela imale su varijable: brzina centra mase tijela nakon odraza, brzina zadnjeg koraka, brzina predzadnjeg koraka te nagib trupa u trenutku napuštanja motke. Manji, ali ipak značajan utjecaj na rezultat u skoku motkom imale su i varijable udaljenost centra mase tijela u trenutku napuštanja motke, nagib trupa u trenutku postavljanja motke u kutiju te vrijeme opružanja motke.

Entiteti (skokovi) su podijeljeni u dvije kategorije (kvalitativna razreda) temeljem ekspertnog znanja. Gruppu 1 činili su uspješni skokovi do 4,90 m ( $N = 46$ ), dok su gruppu 2 činili uspješni skokovi preko 4,90 m ( $N = 25$ ).

Diskriminacijskom analizom utvrđeni su parametri koji diferenciraju skokove različitog kvantitativnog razreda. Dobivena je jedna diskriminacijska funkcija koja razlikuje navedene grupe entiteta, čime je i potvrđen sekundarni cilj disertacije.

Generalno, informacije dobivene u ovom istraživanju ukazuju na znatan utjecaj promatranih 2D kinematičkih parametara na rezultat skoka motkom, kao i na dobro razlikovanje grupa entiteta.

# Doktorska disertacija

---

*Također, potvrđeno je kako je rezultatska efikasnost u skoku motkom prvenstveno određena varijablama koje su definirane motoričkim sposobnostima kao i pokazateljima kojima je određena tehnika izvedbe skoka .*

*Varijable koje definiraju položaj tijela prilikom napuštanja motke (nagib trupa i udaljenost centra mase) u najvećoj mjeri određuju tehničku izvedbu skoka, dok su motoričkim sposobnostima najviše određeni parametri brzine zadnja dva koraka zaleta, brzine centra mase tijela nakon odraza i brzine centra mase tijela za vrijeme opružanja motke.*

*Rezultati dobiveni u ovom istraživanju u skladu su sa znanstvenim spoznajama o disciplini skoka motkom te omogućuju bolje razumijevanje i dobivanje najrelevantnijih informacija za uspješnu izvedbu skoka u cjelini kao i za upravljanje trenajnim procesima.*

***Ključne riječi:*** *skok s motkom, kinematički parametri, juniori, utjecaj, razlika*

## **INFLUENCE OF KINEMATIC PARAMETERS ON POLE VAULT RESULTS IN TOP JUNIORS**

### **SUMMARY**

*The basic aim of this work was to ascertain the influence of 2D kinematic parameters on the pole vault result. With this purpose, a research was conducted, in which competition video data was collected. The entity sample ( $N = 71$ ) consisted of successful vaults of 30 pole vaulters, whose attempts were filmed at the Novi Sad European Junior Championship, July 23<sup>rd</sup> - 27<sup>th</sup>, 2009. The examinees performed their vaults within the eliminatory final competition and the final competition itself. The age of the examinees was from seventeen to nineteen years, and the span of their best results was from 4.70 m to 5.25 m. A kinematic analysis has been performed, according to the standards of the APAS (Ariel Performance Analysis System, USA) procedure, ascertaining 25 kinematic variables for further analysis. According to the level of average achievement, it was observed that elite juniors showed a high level of competitive possibilities.*

*The regression analysis of 2D kinematic variables influence on the pole vaulting result singled out eight statistically significant variables, explaining 97% of result variance. The following variables had the strongest influence on the height of body mass centre: take-off velocity, last step velocity, penultimate step velocity and trunk angle at the pole release moment. The following variables had lesser, but still a significant influence on the pole vault result: centre of body mass distance at the pole release moment, trunk angle at the pole plant moment, and pole straightening time.*

*Entities (vaults) were divided into two categories (qualitative classes), based on the expert knowledge. Group 1 consisted of successful vaults up to 4,90 m ( $N = 46$ ) while Group 2 consisted of successful vaults over 4,90 m ( $N = 25$ ).*



# Doktorska disertacija

---

*Discriminative analysis determined the parameters which differentiate the vaults of different quantitative classes. A single discriminative function, discerning the listed groups of entities was obtained, thus confirming the secondary aim of the dissertation.*

*Generally, the information gained in this research indicate the significant influence of the observed kinematic parameters onto the pole vault result, as well as proper differentiation of groups of entities.*

*Also, it is confirmed that the result efficiency in pole vault was primarily determined by the variables which are defined by the motor abilities, as well as the indicators determining the vault performance technique.*

*The variables defining the pole release body posture (trunk angle and body centre distance) mostly define the technical performance of the vault, while the motor abilities mostly determine the parameters of last two run-up steps velocity, centre of body mass velocity after take-off, and centre of body mass velocity during the pole straightening time.*

*The results obtained by this research are in concordance with the scientific knowledge on the pole vault discipline, enabling better understanding and gaining the most relevant information for the successful vault performance as a whole, as well as directing the training processes.*

**Keywords:** *pole vault, kinematic parameters, junior, influence, difference*

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	9
1.1. Povijesni pregled rezultatskih ostvarenja u skoku s motkom.....	11
1.2. Strukturalna i biomehanička analiza skoka s motkom.....	13
1.2.1. Zalet.....	16
1.2.2. Faza zamaha(faza skoka uz podršku motke).....	22
1.2.2.1. Elementi zamaha .....	26
1.2.3. Guranje i napuštanje motke.....	28
1.2.4. Srednje vrijednosti odnosa faza skoka s motkom .....	29
1.2.5. Elementi prelaska preko letvice .....	31
1.2.6. Tvrdća motke .....	34
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....	35
3. PREDMET ISTRAŽIVANJA.....	53
4. PROBLEM ISTRAŽIVANJA .....	54
5. CILJEVI I HIPOTEZE.....	56
6. METODE RADA.....	57
6.1. Uzorak entiteta.....	57
6.2. Prikupljanje video zapisa za 2D kinematičku analizu .....	60
6.3. Redukcija podataka i izračunavanje 2D kinematičkih parametara.....	61

6.4. Skup varijabli.....	63
6.4.1. Pristupni parametri .....	63
6.4.2. Parametri polaganja motke i odraza .....	64
6.4.3. Parametri položaja tijela .....	65
6.4.4. Parametri brzine(kod odraza i polaganja motke).....	66
6.4.5. Parametri faze zamaha.....	66
6.4.6. Parametri slobodnog leta i prelaska preko letvice .....	67
6.4.7. Analiza podataka.....	70
7. REZULTATI I RASPRAVA .....	72
7.1. Deskriptivni parametri skoka s motkom .....	76
7.2. Povezanost 2D kinematičkih parametara s efikasnošću skoka s motkom.....	86
7.3. Odnos kinetičke i potencijalne energije u skoku s motkom.....	89
7.4. Utjecaj 2D kinematičkih parametara na maksimalnu visinu skoka s motkom .....	96
7.5. Razlike u varijablama 2D kinematičkih parametara između entiteta različitih kvalitativnih razreda.....	101
8. ZAKLJUČAK .....	107
8.1. Znanstveni doprinos .....	109

# Doktorska disertacija

---

8.2. Stručni doprinos .....	110
9. LITERATURA.....	111
10. PRILOG Distribucije 2D kinematičkih varijabli .....	126

## 1. UVOD

Skok s motkom spada u najatraktivnije i najkompleksnije atletske discipline. Ova disciplina predstavlja skok u vis preko letve izveden uz pomoć motke. Prema pravilima Međunarodne atletske federacije (IAAF) definirano je da „motka može biti izrađena od bilo koje vrste materijala ili kombinacije materijala, te bilo koje dužine i promjera“. U 20. stoljeću, usvajanje navedenog pravila imalo je za posljedicu velike izmjene motki za skokove što se objašnjava naglim povećanjem svjetskog rekorda od 3,15 m 1894. godine do trenutnog svjetskog rekorda od 6,14 m, kojeg je postavio Sergej Bubka, 1994. godine. Nakon uvođenja motki od fiberglasa, srednji progres svjetskog rekorda iznosio je 3,97 cm na godinu, dok je prije bio 1,63 cm (Anderson, 1997). Izvedba skoka s motkom od savitljivog materijala (fiberglasa i karbona) bio je poticaj velikom broju istraživanja (Dillman, 1966; Barlow, 1973; Gros, 1982; McGinnis, 1987; Angulo-Kinzler i sur., 1994; Ganslen, 1961; Gros i Kunkel, 1990; Johnson i sur., 2008; McGinnis i Bergman, 1986; Frere i sur., 2010; Hubbard, 1980; Oshima i Ohtsuki, 2008; Dillman i Nelson, 1968; Walker i Kirmser, 1982, 1988; Linthorne, 1994; 2000), s ciljem osiguravanja cjelovite analize ovoga sporta za istraživače, trenere i atletičare. Razumijevanje mehanike skoka s motkom je osnova dobre izvedbe, i to zbog kompleksnosti ove discipline, kod koje se nekoliko faktora odvija uzastopno i/ili istovremeno. Ovi čimbenici se uglavnom odnose na brzinu skakača s motkom, kinetičku ili potencijalnu energiju skakača i energiju naprezanja motke, silu i obrtnu silu koju atletičar primjenjuje, te dizajn motke. S razvojem tehnologije izrade motki, sve veći broj znanstvenika je bio fokusiran na istraživanja učinka novih motki na uspješnost samog skoka. U dugoročnoj pripremi skakača, počevši od razvoja motoričkih sposobnosti, te učenja i usvajanja tehnike skoka s motkom, bitno je utvrđivanje stanja dostignutih razina. Utvrđivanje kinematičkih parametara prilikom izvedbe skoka omogućit će jasno definiranje aktualnog stanja, temeljem kojeg se vrši procjena ispravnosti tehničke razine kompleksne motoričke aktivnosti kao što je skok s motkom. Gotovo je nemoguće od

strane stručnjaka-trenera izvršiti brzu i preciznu analizu tehnike izvedbe skoka vizualnim putem. Stoga je neophodna primjena biomehaničkih sustava kako bi se dobile pouzdane i precizne informacije, a koje će poslužiti kao model za daljnje postupke u trenažnom procesu. Za praksu skoka s motkom, a to vrijedi i za sve ostale sportske aktivnosti, od izuzetne je važnosti prikupiti i analizirati relevantne parametre kod vrhunskih motkaša i to prilikom natjecateljske izvedbe. Kreiranje biomehaničkih obrazaca tehničke izvedbe skoka vrhunskih juniora zasigurno može poslužiti kao idealan standard za usporedbu budućim skakačima-juniorima na njihovom putu ka ostvarenju vrhunskih rezultata u seniorskoj konkurenciji. Dobra educiranost trenera i atletičara iz područja biomehanike i teorije treninga će svakako doprinijeti efikasnijem i bržem napretku u ostvarenju maksimalnih vrhunskih rezultata.

Aktualni svjetski juniorski rekorder u skoku s motkom, Maksim Tarasov s rezultatom 5,80 m dobar je primjer izvrsne tehničke izvedbe i fizičke pripremljenosti. Kao senior postigao je vrhunski rezultat s preskočenih 6,05 m što ukazuje na činjenicu kako se na temelju postignutih vrhunskih rezultata i s visokom razinom usvojenosti tehnike izvedbe samog skoka, u juniorskoj kategoriji, može predvidjeti ostvarenje vrhunskih rezultata i u seniorskoj kategoriji.

S obzirom da su za potrebe dobivanja podataka u ovom istraživanju snimljeni najbolji europski juniori u 2D prostoru (predstavnici vodećih „škola“ skoka s motkom, Nijemci, Rusi, Francuzi, Poljaci...) postavlja se pitanje koja „škola“ će se pokazati kao dominantna? Koji parametri će doprinijeti definiranju uspješnosti u skoku s motkom, te koji kinematički parametri će najbolje diferencirati uspješne od manje uspješnih entiteta? Odgovori na ova pitanja doprinijeti će boljem razumijevanju ove atletske discipline te dopuniti saznanja koja će omogućiti efikasnije upravljanje procesom dugoročne pripreme skakača s motkom.

## 1.1. Povijesni pregled rezultatskih ostvarenja u skoku s motkom

Sportska natjecanja povezana s atletikom su neka od najstarijih poznatih čovječanstvu. Razna atletska događanja su organizirana još iz vremena drevnih Olimpijskih igara prije više od 4.000 godina (Kyle, 2006). Najnovija disciplina u atletici je skok s motkom. Počeci skoka s motkom se navode sredinom 1800-ih, a u periodu do 1850-ih, službena natjecanja su bila integrirana u okviru njemačkog gimnastičkog sustava. Skok motkom uključen je u program Olimpijskih igara 1896. g. kao jedna od 17 atletske discipline i to samo za muškarce, dok je za žene uvršten u službeni program Olimpijskih igara tek 2000. g. u Sydney-u. Prvi olimpijski pobjednik bio je William Hoyt s preskočenih 3,30 m. (Johnson i VerStegg, 2007).

Prvi svjetski rekorder u skoku s motkom bio je J. Wheeler s preskočenih 10,0 stopa. Godine 1866. R.J.C. Mitchell preskočio je 10,6½ stopa, potom 1877. godine E. Kayall je postavio novi svjetski rekord 10,9 te od tada i počinje era "track and field" u SAD-u. Tehničke sposobnosti atletičara kontinuirano su napredovale, slično kao i u skoku u vis. Duži zalet i veća brzina trčanja omogućavali su i viši hvat na motci, a samim tim i viši skok. Prvi atletičar koji je preskočio 4 m bio je Mark S. Wright (SAD), 4,02 m, 1912. godine. Najvišu visinu koristeći bambusovu motku postigao je američki motkaš Cornelius Warmerdam (4,77 m, 1942. godine). Držao je rekord 15 godina, kada je Robert Gutowski (SAD) skočio 1 cm više (4,78 m) koristeći aluminijsku motku. Najvišu visinu s aluminijskom motkom ostvario je Donald Bragg 1960. godine (4,80 m) na Olimpijskim igrama u Rimu. Uvođenjem fiberglas motke omogućeno je rapidno povećavanje preskočene visine. Brian Sternberg (SAD) bio je prvi skakač koji je skočio preko 5 metara. Sergey Bubka prvi je preskočio visinu od 6 m. Rekord je izjednačavan ili je novi postavljan 52 puta, više nego li u bilo kojoj drugoj atleskoj disciplini. Povećanje visine skoka uvelike je ovisilo o vrsti materijala od kojega su motke bile napravljene. Najveći napredak je ostvaren uvođenjem motki od fiberglasa, zajedno sa strunjačama za doskok. Krajem dvadesetog stoljeća skok s motkom je doživio svjetsku

## Doktorska disertacija

---

ekspanziju i kod žena. Vrijedno je spomenuti višestruku olimpijsku i svjetsku rekorderku u skoku s motkom, Jelenu Isinbayevu (5,07 m).

Tablica 1. Uvođenje motki izrađenih od različitih materijala kroz povijest (Johnson i Versteeg, 2007)

<b>Period</b>	<b>Materijal</b>	<b>Karakteristike</b>	<b>Preskočena visina (m)</b>
19. stoljeće	Jasen, jela, orah	Teške motke oko 14kg	3,33 (1866)
1900-1938	Bambus	Laganije od drva i više fleksibilne	4,00 (1912)
1935	Aluminij	Lagane, ali nedostaje im krutosti	
1946	Čelik	Teže od aluminijskih, veći stupanj elasticiteta	
1960	Staklena vlakna	Lagane, čvrste i fleksibilne	6,13 (1995)

Pred kraj 19. stoljeća, razvijena je standardna tehnika skoka s motkom u Sjedinjenim Američkim Državama. Od 1912. godine tehnika je uvriježena kod većine skakača. Međutim, motka je doživjela mnogobrojne tehničke i dizajnerske promjene. Prema dosadašnjim istraživanjima već 1855. godine su korištene teške drvene motke (Bosen, 1972). Kasnije su se počele upotrebljavati bambusove lakše motke, sve dok aluminij nije postao najpopularniji materijal od kojega su se izrađivale motke. Sredinom 20. stoljeća, razvoj fiberglas motke je promijenio sport. Motke izrađene od fiberglasa su bile lakše, fleksibilnije ali bi i jednostavno pucale pod opterećenjem prilikom izvođenja skokova. Uskoro su proizvođači počeli eksperimentirati s ovim novim materijalom te su stvorili jače fiberglas i grafitne kompozitne motke koje su ostale u upotrebi sve do danas. Iako postoje dokazi da su sportaši koristili fiberglas motke već 1948., tek 1961. godine Međunarodna atletska federacija (IAAF) je službeno odobrila njihovu uporabu (Tidow,



1994) što je omogućilo kontinuirano poboljšanje visine u skoku s motkom (Carr, 1999; Linthorne, 1994).

## 1.2. Strukturalna i biomehanička analiza skoka s motkom

Često se postavljaju pitanja od strane biomehaničara kao i trenera: „Koji je najoptimalniji model tehnike skoka s motkom? Može li se zajedničkom suradnjom biomehaničara i trenera poboljšati rezultat pojedinca kao i njegove motoričke sposobnosti primjenom novog modela učenja i poučavanja skoka s motkom? Petrov (2004) navodi da ako se postavi samo jedno pitanje: „Što „plant“ (postavljanje motke u kutiju) znači?“, da će se dobiti sto različitih odgovora od sto različitih trenera i skakača s motkom. Pregledom literature uočena je tendencija generalizacije modela tehnike skoka s motkom, ponekad nazvana kao „pobjednička doktrina“ koja je usvojena kod većine skakača, bez obzira je li taj model prikladan za individuu. Svaki elitni skakač s motkom kao i trener ima svoju vlastitu filozofiju treniranja iako se mnogi stručnjaci ne slažu s tim. Takve filozofije ocjenjuju ovisno o tome kolika je uspješnost samog pojedinca. Prema dostupnim informacijama iz literature (Shade i sur., 2004), najkorišteniji modeli tehnike skakanja s motkom su:

- Petrov model, uzet kao standard (Bubka ima glavni utjecaj),
- ruski model (Volkov),
- australski model (Alan Launder navodi kako nema australskog modela, nego samo njihova interpretacija Petrovog modela),
- francuski model (Houvion),
- poljski model (Krziesinsky, Szymczack) i
- američki model koji podrazumijeva mnogo različitih stilova skakanja s motkom.

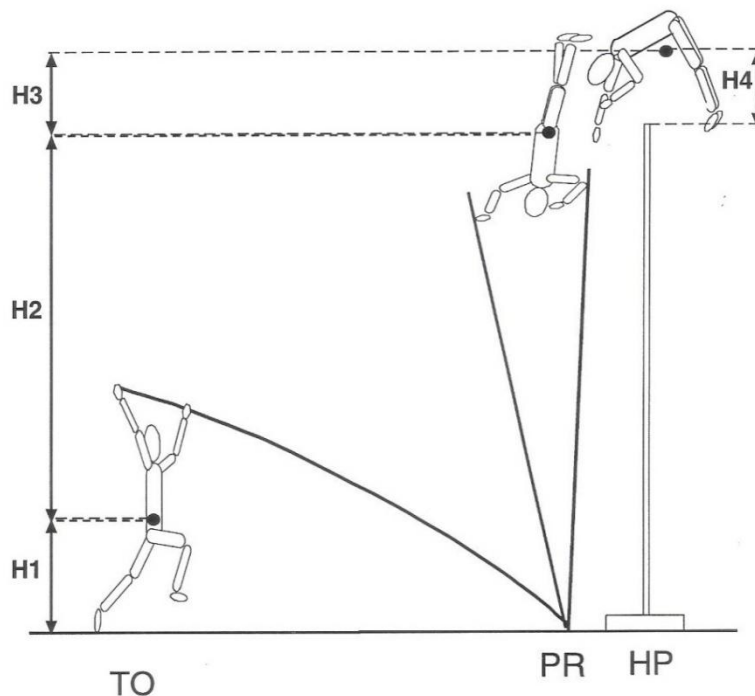
Najprihvaćenija podjela skoka s motkom od strane trenera i stručnjaka (Frere i sur., 2009) je podjela u sedam faza: zalet, tranzicija s podizanjem ruke u posljednja tri koraka, odraz koji uključuje polaganje motke, faza zamaha, gnijezdo, pozicija inverzije, te prelaz letvice. Međutim, ova raščlamba pokreta se razlikuje od autora do autora i po mehaničkom pristupu. Hay je oblikovao skok s motkom s podjelom ukupne visine skoka u četiri razine: H1 je visina skakačevog centra mase tijela pri odrazu, H2 je visina centra mase tijela u trenutku kada je motka potpuno ravna, H3 je visina centra mase tijela kada skakač napušta motku, a H4 je vertikalna razlika između najveće visine centra mase tijela i visine letvice (Hay, 1980). Ovaj model je bio koristan za identifikaciju nekih osnovnih faktora izvedbe koje utječu na ove podjele visine, kao što su morfologija i pozicija skakačevog tijela kod H1, vertikalna brzina kod otpuštanja motke za H3, te položaj skakačevog tijela u fazi slobodnog leta pri H4. Također, dužina motke i količina potencijalne energije koja se prenosi na skakača s motke pri otpuštanju motke može utjecati na H2 dio visine. Angulo-Kinzler i sur. (1994) dijele skok s motkom u četiri faze te definiraju interesne momente unutar svake faze. Prva faza je zalet, uključujući polaganje motke i odraz od svake potpore. Druga faza je odraz, koji uključuje posljednji dodir s tlom te polaganje motke. Treća faza je podržavanje motke s maksimalnim savijanjem motke, ispravljanjem motke, te otpuštanjem motke. Posljednja faza je faza slobodnog leta od faze otpuštanja motke do prelaska preko letvice, uključujući najvišu visinu centra mase tijela. Ova podjela korisna je kod analize mnogih mehaničkih varijabli skoka, koje su bile limitirane Hayevim modelom. Međutim, i dalje je nemoguće procijeniti interakciju skakača s motkom za vrijeme skoka ili analizirati njegov utjecaj na izvedbu.

U zadnje vrijeme model skoka s motkom se oblikuje koristeći energetske pristup koji uključuje interakciju između motke i skakača (Schade i sur., 2000; Arampatzis i sur., 2004). Izračun energije ovoga modela bazira se na kretanju skakačevih udova i centra gravitacije, koji dopuštaju izračun atletičarovog vanjskog rada, ali ne i unutarnjeg rada pojedinih mišića. Schade, Arampatzis, Bruggemann i sur. (2004) dijele skok u dvije faze: prva počinje s fazom odraza uključujući zadnje dodirivanje tla a završava s

maksimalnim savijanjem motke. U ovom periodu, kinetička energija skakača se prenosi na motku te se pohranjuje kao energija napreznja. Drugi dio počinje s maksimalnim savijanjem motke a završava s najvišom visinom centra mase tijela. U ovom slučaju, energija napreznja motke se prenosi do skakača kao potencijalna energija.

Ipak, najrašireniji i najprihvaćeniji teoretski model tehnike skoka s motkom je model Jim Hay-a (1993). Ključne faze skoka s motkom je opisao u svojoj knjizi „The Biomechanics of Sports Techniques“ na sljedeći način:

- 1. faza zaleta
- 2. postavljanje motke u kutiju i odraz
- 3. faza zamaha (faza skoka uz podršku motke)
- 4. faza slobodnog leta (preskok preko letvice) (Slika1)



Slika 1. Prikaz četiri ključne faze skoka s motkom (Hay,1993)

Legenda: TO - odraz; PR - napuštanje motke; HP - maksimalna točka CM; CM - centar mase; H1 - odrazna visina; H2 - visina zamaha; H3 - faza leta; H4 - prelazak preko letvice



Slika 2. Prikaz svih faza skoka s motkom kod pobjednika Europskog juniorskog natjecanja, 2009., **Weiler Nico**, Njemačka; **5,25 m**

Na slici 2 prikazan je kinematograf svih faza skoka s motkom kod pobjednika Europskog juniorskog prvenstva, Weiler Nica iz Njemačke s preskočenom visinom od 5,25 m počevši od faze zaleta, polaganja motke u kutiju, zamaha, faze višenja, maksimalnog savijanja motke pa sve do opružanja, napuštanja motke i prelaska preko letvice. S obzirom da za uspješan skok je neophodno savladati i efikasno „uložiti“ sve svoje sposobnosti u svakoj fazi skoka zasebno, u sljedećim potpoglavljima će se opisati i objasniti važnost istih.

## **1.2.1. Zalet**

Faza zaleta se dijeli na periode povećanja brzine, održavanja brzine i postavljanja motke u kutiju.

Zalet u skoku s motkom po strukturi se razlikuje se od drugih atletskih disciplina iz razloga što se obavlja s motkom u rukama. Tijekom zaleta motkaš nastoji postići

najveću kontroliranu brzinu do kraja zaleta i ostvariti najmanje gubljenje brzine za vrijeme postavljanja motke u kutiju. Hvat na motci prilikom zaleta je jedan od najvažnijih detalja u modernoj tehnici skakača s motkom (Petrov, 2007). Idealan хват (širina hvata) varira od skakača do skakača i zavisi od više čimbenika (visine motkaša, dužine ruku, fleksibilnosti ramenog pojasa kao i pokretljivosti ručnog zgloba, jačini ramenog pojasa i ruku). Smatra se da bi širina trebala biti od 60 do 70 cm. Određivanje optimalnog hvata je jako važno, no često u praksi motkaši početnici i neiskusni treneri ne pridaju tom elementu punu važnost. Širina hvata i nošenje motke trebaju biti optimalno određeni zbog njihove sekvencijalne uloge na poziciju tijela za vrijeme zaleta, donošenja motke i njezinog transfera kroz odraz, kao i omogućavanja efikasnog zamaha skakača nakon odraza. Ekstremno uzak хват stvara tenziju u gornjem dijelu tijela, limitira postavljanje motke u kutiju i reducira efikasnost odraza. Previše širok хват remeti poziciju/položaj tijela kao i ritam brzine zaleta, čineći spuštanje i postavljanje motke te dolaženje u dobru odraznu poziciju težom. U tom trenutku remeti se i ravnoteža motkaša izbacujući ga naprijed te blokirajući njegovo tijelo za vrijeme faze odraza. (Petrov, 2003).



Slika 3. Nošenje motke (Weiler Nico 5,25 m; 2009. i Sergey Bubka 6 m; 1985.)

Većina skakača na startu zaleta nosi motku na sljedeći način; desna-stražnja-gornja ruka je locirana kraj desnog kuka lagano ga dodirujući, dok je lijeva ruka u visini grudiju, od kojih je odmaknuta desetak centimetara. Sloboda držanja motke omogućava maksimalnu kontrolu tijela od početka trčanja. Prema Jacoby-u (2009) motka se od samog starta dovodi u poziciju koja je gotovo vertikalna u odnosu na tlo (80 stupnjeva). Jednom kada se odredi optimalna širina hvata, fokus se premješta na držanje ruku. Donja lijeva ruka bi trebala držati motku opušteno, s ručnim zglobovima labavo u flektiranoj poziciji kao da motka počiva – naslanja se na relaksiranu ruku. Lijevi lakat i ruka bi trebali ostati blizu motkaševa tijela. Desna gornja ruka bi trebala imati jaki, čvrsti hvat s flektiranim ručnim zglobovima. Desna ruka je lagano flektirana i pozicionirana duž ili ispred kuka blizu tijela. Pozicija šaka i ruku je jako važna za uspostavljanje sistema skakač motka i omogućava motkašu kontroliranje motke tijekom postavljanja motke u kutiju ("planta") i odraza.

Prema spoznajama iz dosadašnjih istraživanja utvrđeno je da je brzina motkaša u trčanju bez motke veća nego kada trče s motkom. Gros i Kunkel, 1990 (prema: Osima, 2001) tvrde da je maksimalna horizontalna brzina s motkom aproksimativno manja za 0,8 – 1,2 m/s. Akceleracija kao element skoka s motkom ima vlastite dijelove koji determiniraju skakačevu aktivnost tijekom zaleta. Svako narušavanje ili izmjena u bilo kom dijelu će narušiti brzinu i efikasnost ubrzanja.

Analiza današnjih vrhunskih skakača pokazuje da njihov prosječni zalet iznosi oko 42 m – 46 m a prosječan broj koraka je 18 – 20 (McGinnis, 2005). Dužina zaleta je u osnovi uvjetovana sposobnošću skakača za ubrzanje i uglavnom se određuje lakoćom kojom oni povećavaju brzinu do najveće. Vrlo kratak zalet atletičaru onemogućava postizanje najveće brzine uz veliko naprezanje za kratko vrijeme te ne pruža mogućnost koncentiranja na postavljanje motke u kutiju i odraz. Kod vrlo dugog zaleta pojavljuje se problem dugog povećavanja i održavanja brzine što je također praćeno naprezanjem. Početak zaleta, start i ubrzanje su različiti dijelovi zaleta. Po Homenkovu (1977) razlikuju se četiri varijante zaleta u skoku s motkom:

Prvu varijantu karakterizira trčanje iz stojećeg položaja na mjestu, uz postepeno i ravnomjerno ubrzavanje trčanja. Ovom varijantom koja se rijetko koristi u današnje vrijeme omogućava se ravnomjerni porast brzine trčanja te postizanje maksimalne brzine na kraju zaleta. Ovakav start stvara prinudnu nepokretljivost motke, ramenog pojasa i ruku u početku zaleta, a naročito je otežano ostvarivanje preciznosti koraka. Povoljnija je druga varijanta starta, u kojoj motkaš aktivnije započinje trčanje iz mjesta, na način da brzo povećava tempo i dužinu koraka do optimalne. Početak zaleta na ovako opisani način će dovesti do lakog obavljanja preciznih koraka, što će omogućiti rano postizanje optimalne brzine. Početak treće varijante starta karakterizira početak s nekoliko koraka poskakivanja ili „polutrčanja“, ponekad i hodanja. Ovakav način početka zaleta omogućuje veću slobodu pokreta. Zadnju varijantu karakterizira trčanje od starta sitnim koracima, na način da se nastoji postići visoki tempo trčanja te se dalje, već od prve postavljene kontrolne oznake, povećava dužina koraka. Koristeći ovu varijantu skakač ostvaruje visoki tempo trčanja, za što je neophodna izvrsna sprinterska priprema.

Položaj pri nošenju motke zavisi od nekoliko faktora od kojih su najvažniji težina motke, visina hvata te karakter kretanja.



Slika 4. Nošenje motke i postavljanje u kutiju (Weiler Nico 5,25 m; 2009. i Sergey Bubka 6 m; 1985.)

Svakako ključni trenutak skakačke tehnike kako za vrhunske skakače motkom tako i za početnike je nošenje motke, trenutak spuštanja motke i postavljanje u kutiju (Tidow, 1989). Promašaj u utvrđivanju pravog hvata/gripa i nošenja motke, s pravljjenjem pogrešaka od držanja previše daleko motke od tijela ili držanje motke s „mekanim/slabim“ ručnim zglobovima, opuštenoj i supinirajućoj poziciji, remetiti će ravnotežu i kontrolu sistema skakač-motka te će usporiti ritam i snagu akceleracije motke u odraznoj poziciji.

Pravilno nošenje motke je izuzetno važno za kretanje s motkom i odraz. „Stari“ pristup i način držanja motke: lakat prema vani, čvrsti ručni zglob (donja ruka), otvorena šaka (gornja šaka) koja kreira tenziju i nesposobnost kontroliranja težine motke za vrijeme spuštanja motke prema dolje, odnosno kutiji. Uvjeti uspješne izvedbe ove faze skoka su skakačev lakat položen uz tijelo, ručni zglob labav, s motkom u relaksirajućoj poziciji. Gornja ruka bi trebala imati puni hvat (Petrov, 2007).

Težina motke u inicijalnoj startnoj poziciji je na desnoj šaci. Kako bi prekinuo inerciju motkaš se naginje nazad na stražnju nogu (oko jednu stopu iza prednje noge) i odguruje se naprijed preko prednje noge, osiguravajući i održavajući kukove kako bi išli naprijed.

Nepravilno startanje zaleta s dužim koracima, brzim koracima ili „lomljenje“ u kukovima remeti nošenje motke u okviru skakačeva tijela i remeti posturu, optimalno spuštanje motke i ultimativno smanjuju odraznu poziciju (Fraley, 1995).

Taj dio je karakteriziran povećanjem frekvencije koraka uz zadržavanje iste dužine. Predzadnji korak je duži nego zadnji korak za otprilike 10 – 20 cm. Bez mijenjanja brzine trčanja i pozicije tijela skakač počinje spuštati motku 5 – 6 koraka prije postavljanja motke u kutiju (Jacoby, 2009).

Tijekom sljedeća dva koraka skakačeva pažnja je usredotočena na neznatno guranje kukova naprijed bez gubljenja kontrole u ramenom pojasu, održavajući njihovu vodeću ulogu u zaletu. Spuštanje motke ne smije biti naglo i isprekidano i mora se dogoditi u ritmu zadnjih koraka. Tijekom naročito zadnja tri koraka skakač mora držati trbušne



mišiće napete, što će mu pomoći u pokretanju ramena nazad čak prije spuštanja motke. Vrlo važan trenutak kod spuštanja motke, a koji će zaštititi skakača od spuštanja prema dolje tijekom predzadnjeg koraka, je podizanje motke iznad glave prije nego skakač dođe na mjesto, u vertikalnu poziciju desnom nogom.

Najopasniji trenutak tijekom spuštanja motke je prerano dodirivanje kutije kad je tranzicija napravljena s desne na lijevu odraznu nogu. Kontinuirana akceleracija u zadnja četiri koraka je pokazatelj izvrsne zahtjevne vještine u ovom dijelu skoka s motkom (spuštanje i postavljanje motke u kutiju). Tako npr. Sergey Bubka (prema: Petrov, 2003) razvija brzinu do odraza: četiri koraka prije odraza (9,5 m/s), dva koraka prije odraza (9,7 m/s), upravo prije odraza (9,9 m/s).

Postoji malo podataka u literaturi koji podržavaju koncept „free takeoff“ (slobodnog odraza) a koji je predstavio Petrov 1985., gdje ističe kako se odraz odvija prije nego li vrh motke dotakne zadnji zid kutije. Generalno je prihvaćeno da se postavljanje motke u dno kutije (stražnji zid kutije) javlja prije ili usporedno s momentom kada skakač napušta podlogu. Vrijeme tijekom postavljanja motke u kutiju i odraz (ili faze uspostavljanja sistema skakač-motka) je između 0,08 i 0,12 sekundi (Gros i Kunkel, 1990).

Dva vrlo važna čimbenika o kojima ovisi tehnika narednih elemenata skoka su brzina i dubina odraza samog skoka. Udaljenost stopala odrazne noge od zadnjeg zida kutije je između 4,20 – 4,40 m kod vrhunskih skakača motkom. Viši skakači su otprilike na udaljenosti od oko 4,10 – 4,20 m, dok su niži na udaljenosti 4,20 – 4,40 m (Jagodin i sur., 1979). Postoji generalna suglasnost i trenera i istraživača, u literaturi, da bi gornja šaka trebala biti vertikalno iznad prednjeg dijela stopala odrazne noge pri poziciji odraza (Jagodin i Papanov 1987, prema: Osima, 2001).

Ako je skakač previše unutra ili vani nastupit će značajni gubitak horizontalne brzine i gornja ruka će blokirati ili spriječiti skakača od laganog generiranja vertikalne brzine. Dakle, parametri kao što su udaljenost odraznog mjesta od kraja kutije, nagib trupa, vrijeme kontakta s podlogom u odrazu i horizontalna udaljenost između gornje ruke i

prednjeg dijela odrazne noge mogu pomoći identifikaciji skakačeve pozicije tijela tijekom postavljanja motke u kutiju i odraznog momenta. Konačno, da bi skakač osigurao efikasni prijenos energije tijela na motku, on mora ostati što je moguće više s „napregnutom muskulaturom“.

McGinnis (1997) smatra kako vrhunski motkaši imaju više uspravan trup pri postavljanju motke u kutiju i odrazu nego li skakači nižeg ranga.

## 1.2.2. Faza zamaha (faza skoka uz podršku motke)

Vrijeme između trenutka završetka faze odraza i trenutka kada motkaš napušta motku i počinje slobodan let i prelazak preko letvice definira se kao faza zamaha. Mnogo autora označava fazu zamaha kao potporni dio skoka ili kombinaciju triju komponenti: zamah, grupiranje (gnijezdo) i opružanje motke. (Shade, Arampatzis i Bruggemann 1998; 2004). Intencija skakača neposredno nakon odraza jest transformacija kinetičke energije u potencijalnu energiju na kraju faze zaleta. Ovo je izvedivo ako se održava dovoljna brzina motke koja će uzrokovati rotaciju motke do vertikale.



Slika 6. Savijanje motke (Weiler Nico 5,25 m; 2009. i Sergey Bubka 6 m; 1985.)

Da bi smanjili gubitak energije kod početka savijanja motke, vrhunski skakači kreiraju silu obrtanja na motci s držanjem donje ruke ukrućene osiguravajući otpor protiv motke s njihovom donjom rukom (McGinnis, 1997; prema: Osima, 2001). Dalje, u sljedećem dijelu faze zamaha motka se maksimalno savija i počinje se rotirati do vertikale. Zatim motka se opružuje i transferira pohranjenu energiju nazad skakaču.

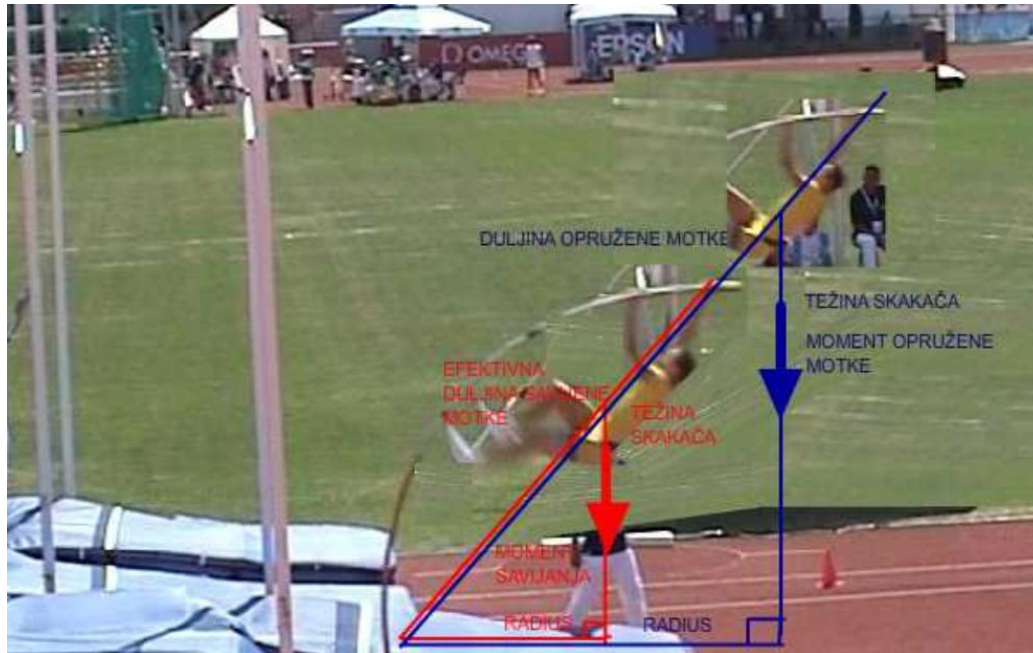


Slika 7. Faza višenja na motci (Weiler Nico 5,25 m; 2009. i Sergey Bubka 6 m; 1985.)

Višenje na motci je sljedeća faza nakon odraza. Važno je napomenuti kako ne treba žuriti sa zamahom nogu prije nego što tijelo skakača dostigne odgovarajuću dubinu kretanja naprijed. U trenutku nakon odraza bitno je donekle relaksirati miškulaturu ramena i lijeve ruke. Opuštanje zamašne noge koja je savijena u trenutku odraza i nakon odraza osigurati će niži položaj centra mase tijela u fazi višenja, što će izazvati bolje opuštanje prednje površine tijela. Na taj način će i zamah s obje noge biti jači. Međutim, mogući su i negativni efekti ovakog zamaha, ukoliko se previše čeka s početkom zamaha. Postoji mogućnost da se snažnim i širokim zamahom izazove veće savijanje motke te da se tijelo nađe daleko iza zamišljene tetive motke te na taj način smanji utjecaj na motku (Tidow, 1989).

McGinnis (1999) smatra da ako je jedan od glavnih uvjeta efikasnog višenja bilo opuštanje gornjeg dijela tijela i posebno ramenog pojasa, onda je za vrijeme zamaha neophodan trenutni prijelaz na snažno naprezanje u ramenom pojasu, rukama i uopće u

cijelom gornjem dijelu tijela i brz, slobodan pokret nogama i zdjelicom. Ovaj snažan pokret zamaha kod vrhunskih skakača ima znatan utjecaj na daljnju izvedbu skoka.



Slika 8. Savijanje motke pod utjecajem sila

Skakač pohranjuje veću količinu energije u motci za vrijeme savijanja, dok u trenutku napuštanja motke ima veliku količinu potencijalne energije ( $E_p$ ) i relativno malu količinu kinetičke energije ( $E_k$ ). Razlika između mehaničke energije koju skakač posjeduje u trenutku napuštanja motke i kod odraza jednaka je algebarskoj sumi rada kojeg skakač izvrši za vrijeme podizanja vertikalno i gubicima u energiji zbog mehaničke pretvorbe energije u druge oblike energije za vrijeme skoka (Hay, 1993). Skakačeva mehanička energija je podložna promjenama sve dok skakač ima kontakt s podlogom kroz motku. Kinetička energija koju skakač posjeduje dok napušta podlogu dolazi iz rada kojeg je izvršio za vrijeme postizanja brzine u fazi zaleta i iz dodatnog rada kojeg izvrši za vrijeme odraza zbog dodavanja vertikalne komponente svom pokretu. Količina energije koja je pohranjena u motci u trenutku odraza je funkcija materijala i konstrukcije motke te sila koje su primijenjene na nju. Sila koju skakač izvršava na motku u odrazu je transformirana u motku preko njegovih ruku. Kod

dobrog skakanja dvije okomite komponente djeluju u suprotnim smjerovima. Prva okomita komponenta djeluje iz donje ruke na motku prema gore i lagano naprijed, dok druga djeluje prema dolje i naprijed. Okomita komponenta sile koja djeluje kroz donju ruku ima tendenciju rotacije motke put gore oko transverzalne osi kroz donji dio motke, dok druga okomita komponenta djeluje i ima tendenciju rotacije motke u suprotnom smjeru. U isto vrijeme obje sile djeluje efikasno čineći par sila. U tom trenutku donji dio motke je čvrsto fiksiran u kutiju dok ovaj par sila uzrokuje savijanje motke put gore. Razina do koje se motka savija u ovom procesu je pod kontrolom magnituda izvršenih okomitih sila i udaljenošću između njihovih linija akcija, odnosno udaljenošću skakačevih ruku. Komponente koje djeluju paralelno na dugu os motke mogu se smatrati kao ekscentrične sile koje imaju tendenciju rotiranja i transliranja tijela prema gore na koje one djeluju. U ovom slučaju tendencija tih sila je izvijanje tijela skakača djelovanjem suprotnih sila izvršenih na kraj motke kroz stražnji dio kutije. U ovom trenutku motka postaje čvršće fiksirana u kutiju. Jedini način na koji ove ekscentrične paralelne sile mogu uzrokovati rotaciju tijela je takav da uzrokuju savijanje motke. Količina savijanja motke u ovom slučaju je primarno određena magnitudama paralelnih sila koje su uključene i upravljane atletičarevim reakcijama u odrazu. Ako se atletičar pomiče gore i naprijed, znači linijom motke, magnituda paralelnih sila su relativno male i njihova tendencija jest da savije motku minimalno. S druge strane, ako skakač se zaleti naprijed u motku, magnituda paralelnih sila i rezultirajuće savijanje motke su odgovarajuće veće.

## 1.2.2.1. Elementi zamaha

Prema Geese i Woznick (1980) skakač započinje zamah neposredno nakon odraza, s početnim njihanjem kukova prema naprijed i gore, zatim slijede noge s barem jednom nogom ispruženom, te se na kraju obje noge, usmjerene prema gore, postavljaju ispred kukova, dok se horizontalna brzina skakača smanjuje.

Za vrijeme zamaha, gravitacija također ima utjecaj na skakača, usporavajući njegovu kutnu brzinu dok se njegovo tijelo njiše prema gore. Kada dođe do ovog usporavanja, skakačev centar mase, koji se u početku njihao u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, se zaustavlja te se započinje njihati u smjeru kazaljke na satu, u odnosu na položaj desne ruke hvata.

Skakač se prvo njiše prema naprijed ispružajući lijevu nogu, zatim objema nogama i rukama prema gore, tako da noge dođu u poziciju vertikalno iznad ruku.



Slika 9. Faza zamaha i grupiranja (Weiler Nico 5,25 m; 2009. i Sergey Bubka 6 m; 1985.)

U najvišoj točki pokreta, skakač je u savijenom položaju sa znatno smanjenom udaljenošću između njegovoga centra mase i hvata. Kako se kutna brzina centra mase skakača ubrzano smanjuje zbog utjecaja gravitacije, skakač mora zamahnuti nogama prema svojim rukama da bi smanjio radijus rotacije između gornje ruke hvata i centra

## Doktorska disertacija

---

mase. Zbog očuvanja kutnog momenta za vrijeme zamaha, te da bi se smanjio pad kutne brzine, radijus rotacije se mora smanjiti.

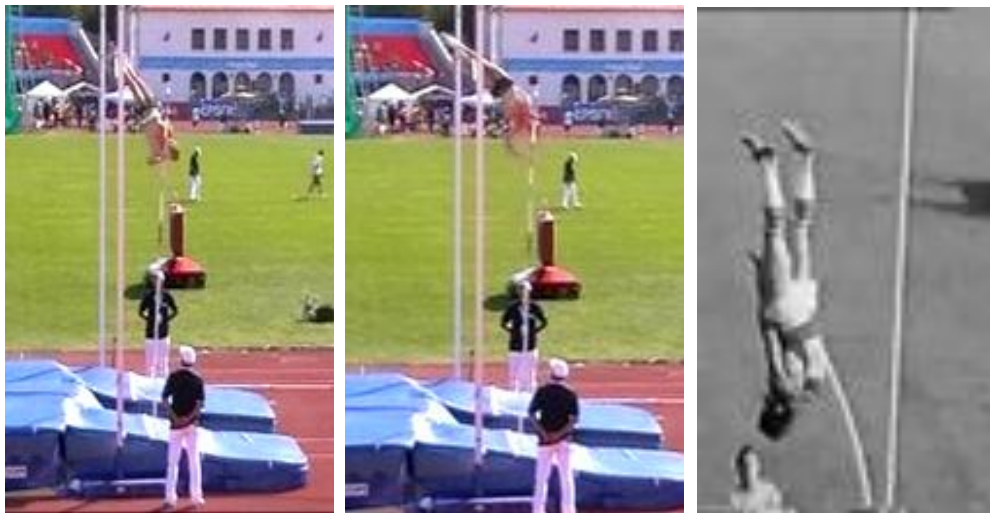
U drugoj fazi zamaha karakteristično je podizanje kukova skakača vertikalno, nakon čega se noge ispružaju kako bi njegovo tijelo došlo u poziciju povlačenja i oslobađanja od motke.

Za vrijeme podizanja nogu i kukova u vertikalnu „L“ poziciju, najveća naprezanja rade mišići grudnog koša, trbuha i ruku. Podizanjem nogu i kukova smanjuje se radijus rotacije skakačeva centra mase u odnosu na os rotacije u gornjoj ruci hvata, što omogućuje ubrzavanje tijela skakača prema gore povećavanjem kutne brzine i radom izvršenim na motci od strane skakača.

## 1.2.3. Guranje i napuštanje motke

Kako skakač vertikalno ubrzava zbog opružanja motke, energično se povlači niz motku, te vertikalno pruža noge da bi dalje ubrzao vertikalni pokret prema letvici. Da bi postigao maksimalnu vertikalnu akceleraciju na kraju motke, skakač mora primijeniti maksimalnu količinu sile na motku.

Sila koju skakač primjenjuje na motku vertikalno će ga ubrzati, te će se dodati vertikalnoj brzini zbog ispravljanja motke (energija napreznja postaje kinetička energija), te će sila biti veća nego li usporavajuća sila gravitacije. Centar mase skakača će se podizati kratko vrijeme dok usporavajuća sila gravitacije ne zaustavi pokret prema gore, te se skakačev centar mase počinje spuštati (Tidow, 1989).



Slika 10. Opružanje motke i faza odguravanja i napuštanja motke (Weiler Nico 5,25 m; 2009. i Sergey Bubka 6 m; 1985.)

Za vrijeme povlačenja motke, skakač se rotira u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, tako da će u trenutku napuštanja motke prednja strana tijela biti okrenuta prema letvici. Kako se skakačev centar mase nastavlja pomicati horizontalno prema letvici, pri smanjenoj horizontalnoj brzini za vrijeme povlačenja i odguravanja, pomaknuti će se pored gotovo nepomične motke (koja sada djeluje kao vertikalna os rotacije).



Kako su ruke uvijek na prednjoj strani skakača, skakač će se rotirati oko motke vertikalno na osi koja prolazi kroz centar mase skakača. Motka se pomiče bočno od skakača i onda nazad prema skakaču, budući da je njegova masa puno veća nego masa motke. Rezultat je takav da će pri napuštanju skakač biti iznad i ispred motke, a njegov trbuh će biti okrenut prema letvici.

## 1.2.4. Srednja vrijednost odnosa pojedinih faza skoka

Tablica 2. Prikaz odnosa vremena (%) pojedinih faza skoka s motkom (Homenkov, 1977)

	Rezultati (cm) i vrijednosti odnosa faza (%)				
Faza skoka	360-380	400-420	440-460	480-500	530-550
Višenje	6	6.5	7.3	8	8.5
Zamah	44	43.5	42.2	39	38.5
Opružanje	10	5	13	16	20
Privlačenje	16	22	17.5	15	16
Potiskivanje	24	23	29	21	17

S rastom sportskih rezultata ukupno vrijeme skoka se donekle povećava (uglavnom na temelju elastičnog rada motke). Ipak, povećanje vremena treba se vršiti ne na temelju primjene mekših i „sporih motki“, već na račun povećanja hvata i većeg izvijanja čvršćih motki zahvaljujući aktivnijem utjecaju skakača na njih.

Tidow (1994) smatra kako rezultati u skokovima s motkom ovise o tome koliko visoko se skakač može uhvatiti za motku i o tome koliko visoko se može izbaciti iznad točke

hvata. Ove komponente mogu služiti kao kriterij tehnike skoka. Ipak, visina hvata motke zavisi, uglavnom, o visini skakača (visina s podignutom rukom).

Da bi se omogućila usporedba tehnike pojedinih skakača, napravljena je uvjetna formula, gdje indeks tehnike skoka zavisi o visini hvata motke, koja se dijeli s visinom skakača sa podignutom rukom i visinom izbacivanja tijela iznad hvata (Homenkov, 1977).

T = indeks tehnike skoka

H = visina hvata motke

L = visina skakača s podignutom rukom

h = visina izbacivanja tijela iznad hvata

Formula glasi: 
$$T = H/L + h$$

U ovoj formuli odnos visine hvata motke i visine skakača s podignutom rukom određuje nivo tehnike prvog dijela skoka, zaleta; „ulaska“ i „odvajanja“ od tla, a visina izbacivanja tijela (h) nivo tehnike drugog dijela, opružanja, privlačenja i potiskivanja.

## 1.2.5. Elementi prelaska preko letvice

Kako se skakačeva brzina smanjuje nakon napuštanja motke, skakač podiže kukove spuštanjem nogu i ruku da bi podigao kukove. Nakon napuštanja motke, skakač se kreće kao slobodno tijelo te vertikalno usporava. Da bi prešao letvicu postavljenu visoko, skakač mora podići kukove nakon što su noge prešle. Da bi to postigao, mora spustiti ruke i noge tako da kukovi budu podignuti (Osima, 2001).

Pokret ruku i nogu ima jednaku i suprotnu reakciju na moment obrtanja (Newtonov treći zakon gravitacije). S dobro izvedenim prijelazom, skakač može prijeći letvicu, čak i kada centar mase zapravo prolazi ispod letvice.



Slika 11. Faza prelaska preko letvice (Weiler Nico 5,25 m; 2009. i Sergey Bubka 6 m; 1985.)

Nakon toga skakačev gornji dio tijela i ruke prelaze letvicu, pomicanjem nogu i ruku njihanjem prema nazad (ruke iznad glave i noge iza tijela), te guranjem kukova prema naprijed. Centar mase tijela skakača je postavljen horizontalno u odnosu na motku u trenu napuštanja motke, te dolazi do rotacije tijela skakača u smjeru kazaljke na satu (gledano sa strane). Ova rotacija pomaže skakaču da prenese gornji dio tijela preko letvice, kako prelazi na drugu stranu iste (Petrov, 1985).

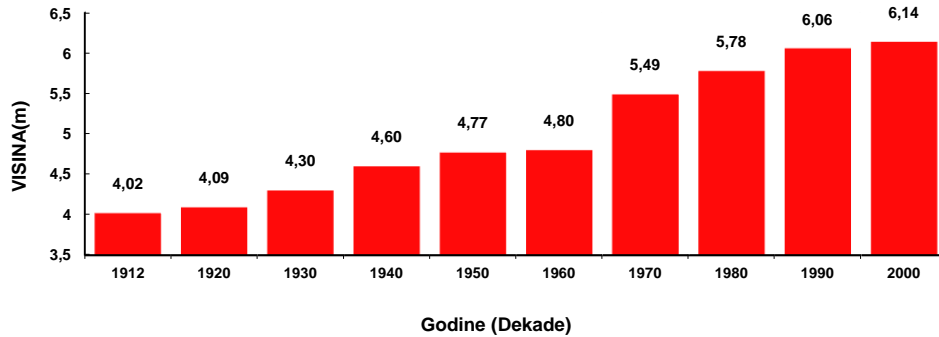
## Doktorska disertacija

---

Suprotna akcija ruku i nogu se koristi da bi se pospješio prelazak ruku preko letvice, a isti postupak se koristi da bi se pospješio prelazak nogu i kukova. Rotacija u smjeru kazaljke postaje luk te pospješuje prelazak gornjeg dijela tijela preko letvice.



Slika 12. Faza napuštanja motke i prelazak preko letvice



Graf 1. Napredak svjetskog rekorda u skoku s motkom od 1912. do 2000. (Attig, 1979; Quercetani 2000)

U grafu 1. može se promatrati značajno poboljšanje u izvedbi skoka s motkom od 1961. godine. Istraživanja relevantnih faktora koji su odgovorni za ovo poboljšanje govore o “povećanju” hvata na motci. Visina skakačevog hvata određuje potencijalnu visinu skoka više nego bilo koji drugi kriterij (Johnson, 2002). Savitljive motke omogućuju korištenje višeg hvata u odnosu na krute motke jer savijanje uzrokuje smanjenje osi vrtnje od 0,80 do 0,90 m. (Bergman, 1979; Ganslen, 1961; Houvion, 1982 i Linthorn, 1994).

# Doktorska disertacija

Tablica 3. Prikaz najboljih rezultata, visina hvata i indeksa tehnike za savitljive i krute motke do 1980.g. (Schmolinsky, 1983).

Motke	Sportaš	Najbolji skok(m)	Hvat	Tehnika(m)
Savitljive Motke	Nordwig	5,50	4,67	0,83
	Kozakiewicz	5,50	4,60	0,90
	Kishkun	5,45	4,55	0,90
	Seagren	5,40	4,55	0,85
	Pennel	5,40	4,38	1,02
	<i>Aritmetička sredina</i>	<i>5,45</i>	<i>4,55</i>	<i>0,90</i>
Krute Motke	Bragg	4,80	3,95	0,85
	Gutowski	4,82	3,97	0,85
	Richards	4,73	3,93	0,80
	Preussger	4,70	3,85	0,85
	<i>Aritmetička sredina</i>	<i>4,76</i>	<i>3,92</i>	<i>0,84</i>
<b>Razlike u aritmetičkim sredinama</b>		<b>0,69</b>	<b>0,63</b>	<b>0,06</b>

Kao što je vidljivo iz Tablice 2, napredak u rezultatu od 4,76 m (s krutom motkom) do 5,45 m (sa savitljivom motkom) do 1980.godine je bio 0,69 m. Schmolinsky (1983) je zaključio da je napredak u visini skoka uglavnom uvjetovan visinom hvata od 0,63 m (90.9 %) dok samo 0,06 m (9.1%) je bio posljedica napretka u tehnici. Elastični kapacitet fleksibilnih motki (fiberglas ili karbon) dozvoljava skakaču pohranjivanje energije naprezanja u motci. S ovom vrstom motke, moguće je zadržati veći razmak među rukama nego kod krutih motki (čelik), što omogućava lakšu kontrolu savijanja motke, primjenom sile koja je okomita na longitudinalnu os motke i koja je usmjerena u suprotnom smjeru. (Frere i sur, 2010).

## 1.2.6. Tvrdoća motke

Prava veličina motke (visina hvata i tvrdoća) olakšavaju izvršavanje učinkovite tehnike. Pet faktora koji određuju tvrdoću – krutost motke su; brzina prilikom odraza, tjelesna težina, visina hvata, snaga i agresivnost motkaša. (Jagodin, 1994, prema: Chang, 2002; Katsikas, 1992.)

## 2. Dosadašnja istraživanja

Međunarodna atletska natjecanja kao što su Svjetsko prvenstvo, Europsko prvenstvo, Olimpijske igre često su „rudnici“ visoko vrijednih podataka za mnoga znanstvena istraživanja. Svjesni važnosti uspjeha na takvim elitnim sportskim manifestacijama, natjecatelji ulažu velike napore u želji za osvajanjem medalja. Da bi se ostvarili ciljevi velikih znanstvenih projekata primjenjuju se različiti kinematički sustavi koji determiniraju faktore koji utječu na uspjeh u skoku s motkom. Također, ponekad se provode istraživanja i na nacionalnim prvenstvima ili atletskim mitinzima zbog analize izvedbe skokova pojedinačnih natjecatelja u svrhu optimizacije samog trenažnog procesa. Tako su Zagorac, Retelj i Katić (2008) proveli istraživanje s ciljem utvrđivanja kinematičkih parametara u skoku s motkom kod jednog hrvatskog skakača s motkom. Uz primjenu Hay-ovog modela parcijalnih visina izmjereno je 13 parametara skoka s motkom i ukupno analizirano 24 skoka. Dobiveni rezultati analize kinematičkih parametara ukazali su na određenu konstantnost prilikom izvođenja skokova. Rezultati regresijske analize ukazali su da samo jedan parametar (maksimalno savijanje motke) utječe pozitivno na kriterijsku varijablu (maksimalno ostvarena visina centra mase tijela u skoku). Nakon perioda od sedam mjeseci Gudelj, Zagorac i Babić (2009) su ponovili identičan eksperimentalni postupak. Uz primjenu istih kinematičkih parametara i broja registriranih skokova, ostvarene vrijednosti su se razlikovale od onih registriranih u prvom eksperimentu. U oba slučaja rezultati regresijske analize ukazali su da postoji značajna multipla povezanost između prediktorskih varijabli (kinematičkih parametara) i rezultatske uspješnosti u skoku s motkom. U prvom (Zagorac i sur., 2008) i u drugom mjerenju samo se jedan parametar pokazao kao značajan pokazatelj uspješnosti maksimalnog podizanja centra mase tijela u skoku s motkom (% maksimalnog savijanja motke). Sam Sergey Bubka kao višestruki pobjednik na Olimpijskim igrama, Svjetskim i Europskim prvenstvima bio je predmet mnogih istraživanja i različitih analiza. Tako je

Houvion (1994) u svom radu detaljno opisao tehniku skakanja cijelog skoka (6 m) u 41 fotosekvenci, na 4. Svjetskom prvenstvu u Stuttgartu 1993. Potom je Jagodin (1995) usporedio Bubkine skokove iz 1983, 1986 i 1991. Promatrajući brzinu zaleta, brzinu nakon odraza, maksimalnu brzinu centra mase tijela te brzinu tijela u trenutku napuštanja motke, kut tijela u trenutku napuštanja motke, čvrstoću motke, kutne brzine utvrdio je kako postoje relativno male razlike u glavnim kinematičkim varijablama izvedbe. Zaletna brzina i brzina nakon odraza ostale su gotovo nepromijenjene. Posljedica je samo minimalan porast visine hvata. Međutim, primjetne promjene su se dogodile u brzini skakačeve rotacije za vrijeme faze potpore. Ovo je uzrokovalo brže rotacijske sile koje savijaju kruće motke, što uzrokuje bolji efekt katapult, dok se motka opruža te je zbog toga bilo moguće prijeći motku iznad razine hvata. Ovo je također potvrđeno većom dinamikom temporalnih i ritmičkih karakteristika potporne faze.

Hraski i Mejovšek (1999) navode kako najčešće upotrebljavani sustavi koji omogućuju registraciju prostorno-vremenskih pomaka bilo koje točke na tijelu ili pojedinih ekstremiteta sportaša, njihove brzine i ubrzanja, kutove, kutne brzine u zglobnim sustavima su neinvazivni sustavi (Apas, Peak, SimBa i dr.). Navedeni sustavi se samo smiju koristiti zbog atletskih pravila koja ne dopuštaju uporabu bilo kakvih izravnih tehnika mjerenja koja zahtijevaju ugradnju pretvarača sile u rekvizite ili podloge, odnosno uporabu markera ili senzora pričvršćivanjem na tijelo skakača (Mejovšek i sur., 1996). Generalno, biomehanička istraživanja dijele se u dvije kategorije:

- 1) matematičko modeliranje i računalna simulacija i
- 2) kinematička i/ili kinetička analiza promatranih skakača s motkom.

Cilj prve metode je mjerenje stvarnih podataka o skoku, dok cilj druge metode je oblikovanje i predviđanje izvedbe samog skoka s motkom. Biomehanička saznanja kao i primjena pokazatelja kinematičkih parametara u trenažnom procesu skakača s motkom, bitno određuju modalitete rada, a time i efikasnost transformacijskog procesa. Postoji veliki broj faktora koji zajedničkim međudjelovanjem utječu na konačan rezultat u skoku s motkom, kao što su sportašev potencijal (potencijalna uspješnost), trening,



ekspertno trenersko iskustvo i znanje, uvjeti za treniranje, kao i stanje razvijenosti motoričkih programa (tehnike). U skladu s navedenim, pregledom literature može se ustanoviti kako biomehaničari, znanstvenici naglašavaju kako kod trenažnog procesa mora se voditi računa o dobi skakača kao i o prilagodbi samog treninga pojedincu. Varijacija mišljenja o tome treba li ograničiti sposobnosti individue na model tehnike treniranja ili pak prilagoditi model sposobnostima često se ističe u znanstvenim radovima. Tako, Đačkov (1950; prema: Zagorac, 1990) utvrđuje kako je moguća visina skoka s motkom uglavnom uvjetovana brzinom zaleta pomoću koje se stvara određena rezerva energije. Također, ističe kako brzina zaleta treba biti usklađena s nivoom tehničkog umijeća mladih sportaša te da se povećava proporcionalno s njegovim porastom. Pravilnost ovog zaključka već je potvrđena rezultatima mnogih generacija skakača. O ovim zakonitostima neophodno je voditi računa ne samo prilikom pripremanja mladih skakača u periodu obučavanja tehnike, već i prilikom planiranja priprema vrhunskih skakača, jer se rad na tehnici ostvaruje u zavisnosti od nivoa razvoja sposobnosti sportaša. Kasnije su ovaj zaključak razradili Nikonov i Jagodin (1994). Savinna (1982) ustanovljava kako najvažniji pokazatelji obučavanja skoka s motkom o kojima je bitno voditi računa su: maksimalna brzina zaleta posljednjih koraka i optimalna forma i amplituda naprežanja pri uzajamnom djelovanju atletičara i oslonca (vertikalna i horizontalna sila koja djeluje na kutiju za postavljanje motke). Na temelju trenerskog iskustva i provedenih ispitivanja zaključuje da biodinamička struktura motoričkih navika u režimu buduće aktivnosti mladih skakača se treba formirati još i prije faze sportskog usavršavanja. Kada se traže tehnička poboljšanja faza skoka s motkom kao sto su zalet i odraz, analizom literature utvrđeno je kako je idealno uvesti male promjene u trenažnom procesu zbog toga jer kada jednom početnik usvoji neuromuskularne obrasce ponašanja, teško ih je promijeniti. Ukoliko se radi na radikalnim promjenama u samoj tehnici skakanja s motkom, tada su potrebne 1-2 godine za prilagodbu, a 3-4 godine za stabilizaciju istih. Radikalne promjene su moguće jedino u dobi ispod 18 godina i u prve 3-4 godine treniranja. Individualna tehnika se ne mijenja rapidno kroz godine treniranja, ali ritam trčanja i izvođenja samog skoka postaje sve brži. Ukoliko se u prvim godinama učenja nauči kriva tehnika izvođenja pojedinih faza

skoka, i nastoje se iste greške popraviti, pod utjecajem stresa za vrijeme natjecanja, te usvojene greške će se ispoljiti i skok neće biti jednako uspješan. Zbog toga veoma je važna pravilna i pravovremena edukacija već od samog početka trenažnog procesa. Tako McGinnis i Bergman (1986) analiziraju momente reakcija sila u pojedinim zglobovima tijela (ramena, oba koljena, oba kuka) na uzorku vrhunskih skakača s motkom. U razmatranje su uzeli i izračunali moment sile motke proizvedenog reakcijom sile hvata lijeve ruke djelujući oko gornjeg hvata skakačeve ruke. Rezultati su ukazali na dva moguća zaključka:

1) Razlika u tehnikama izvedbi skokova je uzrokovana razlikama u inicijalnim uvjetima (pozicijama dijelova tijela u skočnim zglobovima) te brzinom gibanja u odraznom momentu.

2) Donji ekstremiteti su bili vrlo osjetljivi čak i na blage promjene u kontroli pokreta (momenata sile u zglobovima).

Prvi zaključak ukazuje da bi treneri trebali uzeti u obzir tehniku odraza skakača kako bi omogućili što bolju izvedbu skoka u daljnjim fazama (zamaha i gnijezda). Drugi zaključak navodi da varijanca u momentu sile u skakačevim zglobovima donjih ekstremiteta bi prouzrokovala puno veći varijabilitet kod promatrane skakačeve tehnike (u fazi odraza). U svim dobnim kategorijama muške i ženske motke zaletne brzine su važan faktor koji utječe na uspjeh skoka s motkom. Prva mjerenja kod muške motke izvršena su 1966/67 godine. Izmjerene su brzine u prve dvije dužine od 5 m - 15 - 10 m i 10 - 5 m ispred kutije (Adamczewski i Dickwach, 1991). Ova metoda mjerenja postala je međunarodno popularna (Fraleay, 1997) i bila je također korištena na Svjetskim prvenstvima (Gros i Kunkel, 1988) i Olimpijskim igrama (Gros i Kunkel, 1990). Od 1975, mjerenja brzine zaleta kod muškog skoka s motkom su izvršavana relativno često, te su evaluirana svakih 3 do 5 godina (Adamczewski i Dickwach, 1991). Također su pokazala kako kod vrhunskih skakača nema korelacije između natjecateljske izvedbe i brzina zaleta, a do sada je ta korelacija postala standard za evaluaciju individualnih brzina zaleta. Regresijske linije, koje su služile kao vodič i standard, bile su gotovo

paralelne, sa samo jednom iznimkom od porasta za 0,5, iako su se povećavale stalno. Ovo znači da se u ovom vremenu, s porastom zaletne brzine iste magnitude, može očekivati otprilike isti porast visine skokova. (npr. porast visine od 0,5 u slučaju porasta brzine od 1 m/s.) Međutim, ovo također znači da su nakon 3 - 5 godina atletičari uspješli skočiti znatno više iako su im brzine zaleta ostale iste. Ovo se pripisuje ne samo određenom dinamičkom razvoju tehnike i opreme skoka s motkom (materijal motke, umjetni materijali zaletišta, strunjače za doskok, materijal izrade sprinterica), nego i razvoju snage trupa i ruku te specifične sposobnosti skakanja u ovom vremenu. Prosječne visine kod brzine zaleta od 8,5 m/s su bile 4,55 m u muškoj dobnoj skupini od 16 do 17 godina, 4,76 m u muškoj dobnoj skupini od 18 do 19 god i 5,12 m u muškoj odrasloj kategoriji. Ovi rezultati u suglasnosti su s empirijskim dokazima višegodišnjih istraživanja i mogu se s jedne strane objasniti sposobnostima izvedbe na koje utječe dob a s druge strane razlikama među dobnim skupinama u smislu razvoja tehnike kao i skakanja te specifične snage trupa i ruku. Npr. Ako uzmemo u obzir razliku između visine skoka i visine hvata (visina hvata – 0,20 m dubine kutije) na što veoma utječe tehnika kao i specifična snaga trupa i ruku, postoje jasne karakteristike specifične za dob u muškim kategorijama koje su bile očite već godinama. U muškoj dobnoj skupini od 16 do 18 godina iznosile su 0,25 m i više, u muškoj dobnoj skupini od 18 do 19 godina, 0,50 m i više a u muškoj odrasloj skupini (internacionalnoj) 1 m i više, što se smatra dobrim razlikama između visine skoka i visine hvata. Najveća brzina zaleta zabilježena je u važećem skoku kod S. Bubke u Seoulu 1988. god kada je preskočio 5,70 m nakon zaleta od 9,90 m/s (Gros i Kunkel, 1990). U periodu istraživanja od 1991. do 1996. nisu izmjerene veće brzine zaleta. S. Bubka postigao je brzinu zaleta od 9,62 m/s u svom skoku od 6,00 m na Svjetskom prvenstvu 1996. godine u Stuttgartu. S. Huffman (USA) trčao je 9.60 m/s na istom natjecanju, kada je preskočio 5.80 m. (napomena: na natjecanju u Berlinu 1985 godine izmjerena je i brzina od 10,0 m/s, ali skokovi nisu bili uspješni). Za uzorke muških atletičara dobnih skupina 18 - 19 god i 17 - 18 god u periodu od 1991. do 1996. godine, postoje regresijske linije s porastima između 0,537 i 0,634. Regresijske linije za juniore ( $b = 0.796$ ), koje su proučavane odvojeno za dobne skupine muškaraca od 18 do 19 godina, donekle su varirale. Ovi rezultati potvrđuju

hipotezu da promjena pristupne brzine od 1 m/s uzrokuju povećanje preskočene visine od oko 0,5 m. Potvrđeno dosadašnji istraživanjima, došlo se do zaključka da je moguće izračunati vezu između brzine zaleta i izvedbe skoka, za pojedine dobne skupine skakača motkom prema sljedećim formulama: juniori:  $Y = 0,5x + 0,75$ ; muškarci dobne skupine 18 - 19 god:  $Y = 0,5x + 0,50$ ; muškarci dobne skupine 16-17 god:  $Y = 0,5x + 0,25$ ; muškarci, elitni skakači s motkom:  $Y = 0,5x + 1,25$ . Također, Maljutin (1979; prema: Zagorac, 1990) je ispitujući uzajamnu povezanost faktora zaleta i odraza u skoku s motkom, pažljivo proučio osnovne karakteristike maksimalno brzog trčanja i trčanja motkom i utvrdio da je optimalan kut nošenja motke 70 stupnjeva, brzina spuštanja motke u drugoj polovini zaleta dostiže 3,5 do 3,0 m/s. Brzina posljednjih 4 - 6 koraka zaleta je najviše povezana s povećanjem tempa ( $r = 0,70$ ), postizanje brzine zaleta 7,5 m prije odraza dovodi do njenog opadanja prilikom dva posljednja koraka. Razlika između brzine maksimalnog trčanja i trčanja s motkom može se bitno smanjiti pomoću primjene velikog obima trčanja po zaletištu i odraza prilikom treninga. Feld, 1974; prema: Jagodin, 1978, je također istraživao strukturno ritmičku organizaciju zaleta vrhunskih skakača te je odredio kako kontinuirano povećanje tempa zaleta omogućuje povećanje pouzdanosti motoričkih pokreta skakača i efikasno iskorištavanje brzine zaleta pri povećanju visine hvata motke. Povećanje visine mjesta hvata motke (kada su ostali uvjeti isti) povećava i vrijeme pokreta sistema „skakač-motka“, a to zahtjeva povećanje vremena izvođenja zamaha u svrhu smanjenja tempa posljednjeg koraka (bez gubljenja njegove brzine). Autor je naveo prosječnu brzinu posljednja dva koraka zaleta vrhunskih skakača s motkom 9,15 m/s. Istom problematikom istraživanja bavili su se i Lue Zhan i Zhon (2001) gdje su analizirali fazu zaleta i odraza u skoku s motkom kod kineskih motkašica. Uspoređujući dobivene rezultate s rezultatima najboljih svjetskih motkašica, autori ukazuju na problem u brzini zaleta kod kineskih motkašica kao i na problem u brzini odraza, te sugeriraju da iste brzine motkašice bi trebale povećati, a kut odraza smanjiti. Nadalje, Shi Yan i Liu Xue-Zhen (2002) u svojoj studiji su analizirali najbolje izvedbi tri vrhunske motkašice iz Kine. Njena posebna namjena je bila raspraviti karakteristike triju motkašica i analizirati faktore koji utječu na njihove izvedbe. Pronađeno je da su sekvence njihovih odraza i odskoka različite. Najuspješnija

motkašica je imala uspravniji trup i bolju izvedbu zamaha od ostalih; nijedna daljnja razlika nije uočena nakon njihovih preskoka preko letvice. Ova studija također ističe da motkaši trebaju držati tijelo uspravno tijekom faze odraza, i snaga gornjih udova bi trebala bit ojačana. Hsu (1998) je uspoređivao i analizirao razlike u brzini zaleta između tradicionalne i ruske tehnike skakanja kod juniora. Njihova skakačka ostvarenja su bila oko 4,5 m. Svi su bili podvrgnuti dvadeset dnevnom režimu treninga zbog usvajanja „ruske“ tehnike zaleta. Prije početka trotjednog perioda treninga registrirana je brzina zaleta korištenjem „tradicionalne“ tehnike. Nakon tri tjedna svi su izmjereni koristeći tehniku zaleta na oba načina. Izmjerena je i prosječna brzina zaleta od 8,019 m/s koristeći tradicionalni pristup zaletu i 8,586 m/s koristeći „rusku“ tehniku.

Daljnjom inspekcijom literature, proučavanje kinematičkih parametara skoka s motkom bio je predmet mnogih istraživanja. Za analizu su najčešće uzimali sljedeće parametre: kut motke u odnosu na podlogu u momentu završetka postavljanja motke u kutiju, udaljenost od vertikale stopala odrazne noge i hvata (maksimalnog hvata desnom rukom), i promjenjivu vrijednost brzine u momentu napuštanja stopala odrazne noge. Angulo –Kinzler, Kinzler, Ballius, Turro i Escoda (1994) u svojoj studiji objašnjavaju generalni aspekt biomehanike skoka s motkom i prezentiraju 3D analizu osam najbolje rangiranih skakača s motkom na Ljetnim olimpijskim igrama u Barceloni 1992. Autori zaključuju kako su svi motkaši smanjili korak i imali nisko pozicioniran centar mase tijela tijekom oslonca o stopalo predzadnjeg koraka. Velika horizontalna brzina prilikom odraza, visoki „grip“ (hvat) i pravovremeni kutni moment poslužili su kao dobar indikator skakačevih rezultatskih ostvarenja. Ranije pozicioniranje kukova paralelnih s letvicom može biti korisno kao i bliže pozicioniranje centra mase tijela s letvicom u momentu napuštanja motke. Napredna tehnika prelaska preko letvice koju su koristili pobjednici je usvojena kod velike skupine skakača. Steben (1970) je proveo istraživanje na osam juniora jednog američkog koledža te je izmjereno 150 skokova. Referentne oznake su bile označene. Koristila se specijalna odrazna daska da bi se izmjerilo vrijeme kontakta s podlogom tijekom odraza. Izmjereni su sljedeći parametri; brzina prije odraza, brzina odražavanja, vrijeme kontakta odrazne noge, kut savijanja lijeve ruke u

trenutku odraza. Kao karakteristična varijabla uzeta je srednja vrijednost skokova. Dobiveni rezultati su ukazali da je brzina odraza najvažnija nezavisna varijabla. Također, Bassement i sur. (2009) u svom istraživanju analiziraju elektromiografsku aktivnost i kinematiku pokazanu tijekom odraza kod vježbe obučavanja skoka s motkom s kratkim zaletom za različite nivoe uspješnosti. Dvije grupe (vrhunski skakači i početnici) su sudjelovali u ovoj studiji. Obje grupe su zamoljene da izvrše svoju odraznu tehniku za tu specifičnu vježbu. Među proučavanim kinematičkim varijablama zglobovi koljena, boka i gležnja i kutna brzina boka i koljena su bile vidno različite. Također su bile znatne razlike kod EMG varijabli, pogotovo pri aktivnosti biceps femoris i gastrocnemius lateralis pri doskoku i aktivnost vastus lateralis i gastrocnemius lateralis prilikom odraza. Tijekom doskoka vrhunski skakači su povećavali „ukočenost“ odrazne noge kako bi smanjili kočenje. Početnici su pokazali manju ukočenost u odraznoj nozi zbog svoje tendencije da održe uži kut koljena. Početnici su također prenosili naprijed manje energije tijekom odraza zbog manjka kontrakcija u vastus lateralisu, što je poznato da pridonosi boljem prijenosu energije. Ova studija ističe razlike između grupa po pitanju mišićne i kutne kontrole prema proučavanim varijablama. Takve studije skoka s motkom često se koriste kod početnika u svrhu učenja vrhunske tehnike. Zou, Guo i Deng (2008) istraživačka skupina sa Sportskog instituta u Guangzhou – Kina, za cilj svog istraživanja je postavila procjenu kinematičkih parametara skoka s motkom kod dvije najbolje kineske skakačice s motkom. Rezultati su ukazali da je visina gubljenja horizontalne brzine kod prve skakačice u momentu odraza u tri pokušaja iznosila 23 %, 26 % i 20 % dok je kod druge skakačice taj odnos bio drukčiji (niži) 16%, 23 % i 18 %. Vrijeme dugog zamaha kod prve skakačice „B“ u tri pokušaja je iznosio 0,16, 0,16 i 0,18 dok je kod druge skakačice „A“ to vrijeme bilo kraće 0,12, 0,10 i 0,08. Analizom kinematičkih parametara autori su zaključili da tehnika druge skakačice „A“ je superiornija u odnosu na skakačicu „B“ u momentu odraza. Tehnika skakačice „A“ je konstantna s karakterom slobodnog odraza „free take off“. Vrijeme odraza skakačice „A“ je kraće nego li kod skakačice „B“, što sugerira umanjeње savijanja motke. Njihova analiza pretpostavlja uporabu specifičnog modela vježbanja koji stimulira razvoj specifične snage mišića te se na taj način prolongira vrijeme perioda dugog

zamaha. Također, Bassament i sur. (2007) analizirali su odrazni moment kod šest motkaša klubskog nivoa. Analizirani parametri bili su kutovi zgloba kuka, koljena, skočnog zgloba i trupa. Mjerene su kutne brzine te energija centra mase tijela po modelu Shadea i sur., 2000. Dobiveni su značajni korelacijski koeficijenti između visine skoka i brzine centra mase (0,89), zatim brzine odraza i visine skoka (0,83). Razmatrajući odrazni moment, ekstenzija u koljenom zglobu dogodila se s povećanjem kutne brzine kroz kontakt fazu dosežući vrhunac u odrazu. Skoro 30 % povećanja u ekstenziji kuka dogodilo se prilikom amortizacije, a 140 % u fazi opružanja. Rezultati ove studije sugeriraju kako faza odraza u skok s motkom zavisi od djelovanja mehaničkog, biomehaničkog i muskularnog mehanizma kao elastično otpuštanje energije potpomognuto mišićnom reakcijom. U svrhu dobivanja preciznih rezultata mjerenja, neki istraživači su ugrađivali mjerne instrumente u samu podlogu zaletišta kako bi izmjerili sile reakcije podloge. Tako su Plesa i sur. (2010) uspoređivali silu reakcije podloge kod odraza u skoku u dalj i u skoku s motkom. Mjerenju je pristupilo 12 atletičarki koje su izvodile skokove u dalj i skok s motkom. Nisu dobili značajne razlike u kinematičkim parametrima. Generalno sila reakcije podloge je bila slična. Međutim, ostvarene su značajne razlike u kontakt vremenu, impulsu i vrhuncu sile. Potvrđeno znanstvenim spoznajama drugih autora (Chen i Liu, 2008) ova studija osigurava pomoć za potencijalno korištenje drila skoka u dalj tijekom tehničke pripreme odraza u skoku s motkom. Ova grupa istraživača Liu Xue Zhen, Wang Xiang Dong i Yan Song Hua (2001) je primijenila „tri metode širokog gađanja“ korištene na kinematičkim istraživanjima skoka s motkom te su uvedene, poimence područja 3D fiksne točke gađanja i područje višestrukih točaka ispitivanja. Razmještaj referentnih točaka u području višestrukih točaka ispitivanja je precizno bio naglašen. Varijable koje bi trebale biti podešene su analizirane primjenom „Aijie“ video snimke uz navedeni sistem analize.

Rezultati mehaničko-energetske analize vrhunskih skakača motkom pokazali su jasnu i značajnu ulogu energetske parametara u postizanju vrhunskih rezultata (Grabner, 2004). Linthorne (2000) analizira model skakanja sa savitljivom motkom koji je razvijen s

ciljem predikcije optimalne „odrazne“ tehnike karakteristične za tipičnog skakača motke svjetske klase. Snaga ovog modela je u međuzavisnosti odraznog kuta i odrazne brzine i u računanju izgubljene energije u fazama postavljanja motke u kutiju i odraza. Za to se koristio softver koji je simulirao pokrete kako bi istražili utjecaje različitih kombinacija odraznog kuta, odrazne brzine, visine hvata i tvrdoće motke na rezultat skoka s motkom kod vrhunskih skakača. Rezultati modela su uspoređivani s rezultatima modela skakanja s motkom bez savijanja motke. Autor zaključuje kako postoje dvije glavne prednosti kod skokova sa savitljivim motkama u odnosu na krute motke. Fleksibilne motke reduciraju raspršenu energiju u skakačevu tijelu tijekom postavljanja motke u kutiju i spuštaju optimalni kut odraza tako da skakač gubi što manje kinetičke energije u trenutku odraza. Također, postoji evidentna prednost u rezultatu, tijekom korištenja fleksibilne motke jer prouzrokuje za 90 cm višu visinu, omogućava 60 cm viši hvat i 30 cm veće odguravanje od motke. Jedan od glavnih razlika u skokovima s motkom i drugim skakačkim disciplinama je taj da pretvorba energija dobivena zaletom u energiju u trenutku odraza može se dogoditi bez gubitka energije čak ponekad i s povećanjem (Gross i Terauds, 1983; Gross i Kunkel, 1990; Arampatzis i sur., 1997). U svim drugim skakačkim disciplinama (skok u vis, skok u dalj i troskok) veliki gubitak ukupne energije atletičara se događa tijekom ovih transformacija (Brugenmann i Arampatzis 1997a, 1997b; Muller i Brugenmann, 1997). Uzrok ovim razlikama je u elastičnosti motke za skakanje. Arampatzis i Bruggemann (1998) su u studiji „Biomehanička analiza skoka s motkom“ imali za cilj istražiti ponašanje i praktičnu aplikaciju tri kriterija kod vodećih skakača s motkom, zatim determinirati utjecaj startnih uvjeta i ponašanje motkaša tijekom faze skoka s motkom na rezultat. Podaci su prikupljeni tijekom svjetskog prvenstva u Ateni (1997). Analizirano je ukupno 25 uspješnih skokova, jedanaest finalista. Za analizu podataka, skok motkom je bio podijeljen u:

- a) fazu produkcije energije (faza počinje sa zaletom i završava kontaktom stopala odrazne noge)
- b) fazu promjene energije. Ova faza započinje s kontaktom stopala odrazne noge i završava u momentu napuštanja motke na kraju skoka. Tijekom prvog dijela „faze



motke“ energija je transformirana u motku i ukupna energija skakača opada (Hubbard, 1980; Gross i Terauds, 1983; Gross i Kunkel, 1990; Woznik, 1992). Razlika između smanjenja motkaševe ukupne energije tijela i maksimuma energije motke, ukazuje je li elastičnost motke bila efikasno korištena ili nije prema prvom kriteriju. (Arampatzis i sur., 1997). Tijekom druge faze transformacije energije, energija je transformirana nazad u skakača i ukupna energija skakača se povećava (Hubard, 1980; Gross i Terauds, 1983; Gross i Kunkel, 1990; Woznik, 1992). Razlika između povratne energije i rastuće skakačeve energije ukazuje na korištenje mišićnog napora u izrazitoj mjeri. Dakle, rezultira rastom energije (kriterij 2). Energija zaleta (startna energija) predstavlja startne uvjete skakača (kriterij 1). U ovoj strukturi inicijalna energija (kriterij 3) predstavlja skakačeve inicijalne uvjete. Kriteriji 2 i 3 predstavljaju ponašanje skakača tijekom faze „energetskog preoblikovanja“. Analizirajući skokove, moguće je bilo kreirati tri grupe koje demonstriraju slične vrijednosti startne energije (kriterij 1 i kriterij 2). Rezultati su ukazali da pripadnici obje grupe i deficit grupne specifičnosti tehnike može varirati i još uvijek omogućiti ista rezultatska ostvarenja. Na višem tehničkom nivou, startna energija determinira početne uvjete za dobru ili lošu izvedbu. Aktualna ostvarena visina (rezultat) skakača ovisi o ponašanju skakača tijekom faze izmjene energije. Analizirajući startnu energiju (kriterij 1 i kriterij 2) moguće je dijagnosticirati individualni tehnički deficit motkaša. Dillman i Nelson (2000) su utvrđivali relativne promjene u kinetičkoj i potencijalnoj energiji tijekom izvedbe skokova sa savitljivom fiberglas motkom. Korištena je 16 mm kamera pri snimanju 4 skakača juniora tijekom vježbanja u periodu od 4 tjedna. Mjerenja su izvođena na devet segmentalnih centara gravitacije i savijanja motke iz svakog petog okvira iz 4 najbolja skoka svakog ispitanika. Razvijen je računalni program koji je iz ovih osnovnih podataka izračunao slijedeće biomehaničke komponente: skakačev centar gravitacije (segmentalna metoda), vertikalne i horizontalne brzine, kinetičke i potencijalne energije, predviđanu visinu, prilagođenu predviđanu visinu, stvarnu visinu i dobivenu vertikalnu energiju. Smanjenje kinetičke energije i povećanje potencijalne energije javlja se u različitim mjerama tijekom skoka. Fiberglas motka daje efektivno sredstvo za pretvaranje kinetičke energije u potencijalnu energiju, kroz motku. Skakači postižu određenu visinu raspodjeljujući

gubitke u kinetičkoj energiji i dobitke u potencijalnoj energiji u specifičnim obrascima energije. Problematikom analiziranja kinematičkih i energetske pretvorbi za vrijeme trajanja skoka s motkom su se bavili i Schade, Arampatzis i Bruggemann (2005) gdje su u svom istraživanju analizirali reproduktivnost kinematičkih, dinamometričkih i izvedenih parametara mehaničke energije u skoku s motkom kao glavnih preduvjeta za praktičnu primjenjivost koncepta izmjene energije u skoku s motkom (Arampatzis i sur., 2004). Ukupno su analizirana 46 skoka, od 6 iskusnih skakača. Na bazi 3D kinematičkih podataka sportaša i motke i sile reakcije tla, koja je izmjerena na kraju motke u kutiji, reproduktivnost parametara koji opisuju prijenos energije u motku i izmjene energije između sportaša i motke tijekom skoka je dokazana. Korelacije unutar razreda, aritmetičke sredine i koeficijent varijance su ustanovljeni, i primijenjen je Wilcoxonov test. Parametri sportaševe 3D ukupne mehaničke energije, tj. inicijalne energije i finalne energije, i energije motke (maksimalna energija motke, energija motke uzrokovana silom pritiska i momenta savijanja) su bile visoko reproducirane. Raspodjela energije prenesene na motku zbog sile pritiska i momenta savijanja, kao i energija dobivena iz sistema „skakač-motka“ tijekom skoka, upućivala je na strategiju interakcije s motkom, a iste su također bile reproducirane. Ovaj koncept izmjene energije u skoku s motkom se može koristiti u svrhu analiza utjecaja intervencija tijekom vježbanja, promjena u obrascu kretanja, kao i na skakačevu izvedbu tijekom različitih faza skoka. Analiza jednog pokušaja skakača bi trebala biti dovoljna da se identificiraju promjene kod skakačeve interakcije s elastičnom motkom. Takamatsu i sur. (2000) su proveli eksperiment čija svrha je bila istražiti protok mehaničke energije između skakača i motke. Pet motkaša i četiri višebojca su sudjelovali u mjerenju. Letvica je bila na visini od 82 do 93% njihovog osobnog rekorda. Skokovi su se izvodili tako da su skakali sa specijalne odrazne platforme. Kinetička energija skakača kao i energija motke je bila izračunata kao i neki kinematički parametri. Snaga obje ruke tijekom faza skoka od trenutka odraza do opružanja motke je izračunata kao skalarni produkt sile izražene kroz motku s obje ruke i brzinu. Veliki protok mehaničke energije (oko 9,2 J/kg) je bio promatran od skakača do motke preko donje ruke u fazi savijanja motke kao i protok energije preko gornje ruke u fazi opružanja motke. Rezultati su ukazali da obje ruke

skakača mogu imati različitu ulogu u transferu mehaničke energije između skakača i motke. Samo jedna studija se bavila utjecajima nošenja motke na koordinaciju zaleta (Frere i sur., 2009.). Ovo je iznenađujuće zato što znanje o zaletu s motkom ima direktan učinak na programe treninga te posljedično na mogućnost poboljšavanja izvedbe poboljšavanjem zaleta. Autori su zaključili da je gubitak horizontalne brzine uzrokovan znatno manjom duljinom zamaha koja je povezana sa značajno smanjenom maksimalnom fleksijom kuka i koljena za vrijeme zamašne faze. Prema biomehanici trčanja, na duljinu zamaha utječe fleksija i ekstenzija koljena i kuka u trenu odvajanja palca od podloge i kraja zamašne faze (Schache i sur., 1999).

Također, Grabner (2004) je analizirala i fizičke sposobnosti (sprintevi, skokovi i snaga trupa- test motkaško gnijezdo i opružanje tijela) kod tri grupe motkašica različitih kvalitativnih razina. Faktori inicijalne energije i dobivene energije tijekom skoka objašnjavaju zajedno 86% varijance maksimalne visine centra mase tijela. Koeficijent multiple korelacije iznosio je 0,927. Individualna analiza selektiranih skakačica s motkom je pokazala da inicijalna energija motkašica tijekom skoka uglavnom može biti objašnjena dobrom sposobnosti sprinterskog trčanja s motkom. S druge strane dobre skakačke sposobnosti odnosno i sposobnosti odgovorne za izvođenje testa grupiranje i opružanje tijela kod nekih skakačica nisu se manifestirale u njihovoj energetskej ravnoteži tijekom kompleksnog gibanja kao što je skok s motkom.

Nekoliko autora (Dillman i Nelson, 1968; Braff i Dapena, 1985; Ekevad i Lundbreg, 1995, 1997) su nastojali utvrditi utjecaj dužine motke kao i čvrstoće motke na rezultatsku uspješnost. Rezultati su ukazali da optimalna čvrstoća motke i dužina motke egzistiraju kao važni parametri koji osiguravaju skakaču ostvarenje svog maksimalnog rezultata. Tijekom faze skoka na motci mišićna energija skakača je iskorištena za pohranu energije motke (Hubbard, 1980; Gross i Teradus, 1983). Neki drugi autori (Woznik i Greese, 1980; Woznik, 1986, 1992; Angulo Kinzler i sur., 1994) su se orijentirali na istraživanja proučavajući model parcijalnih visina Haya (1978). Ovaj model bi mogao biti jasna i selektivna podvrsta visine maksimalnog centra tijela ali je ovisan o tehnici i antropometrijskim karakteristikama motkaša. Prava veličina motke

(visina hvata i krutost) olakšava izvršavanje efikasne tehnike. Pet faktora koji utječu na prikladnu tvrdoću motke: brzina odraza, težina tijela, visina hvata, snaga i agresivnost. Braff i Dapena (1985) naglasili su ulogu krutosti motke. Analizirali su snimku skoka i izračunali odraznu kinematiku (stav tijela skakača, linearni i kutni momenti). Rezultati su pokazali sljedeće: 1.) Najbolji rezultati su postignuti s prikladnom tvrdoćom motke; 2.) Kod mekše motke centar mase tijela atletičara je dosegao 0,56 m „unutra“ i 0,43 m niže od stvarnog skoka. 3.) Kod kruće motke centar mase tijela atletičara je dosegao 0,68 m više ali je bio 0,73 m van kutije u odnosu na stvarni skok. Kod kruće motke centar mase tijela atletičara je bio viši ali u isto vrijeme nije dosegao „kutiju“, penetracija je bila premala. Bitno je istaknuti kako najvažniji faktori koji utječu na penetraciju motke su brzina odraza, visina hvata te krutost motke. U Jagodin (prema: Chang, 2002; Katsikas, 1992) dva glavna parametra koja osiguravaju energiju potrebnu za guranje motke do vertikalne pozicije su: horizontalna brzina na zaletištu i 2) vertikalna brzina ili sposobnost skakanja atletičara za vrijeme odraza (0,11 - 0,14 s). Cao Yaqin i sur. (2001) koristeći metodu gađanja i bilježenja su analizirali karakteristike brzine motkašica u fazi zaleta dok se drži motka i u skoku. Rezultati su pokazali da: 1) postoji veliki prostor za unapređivanje brzine zaleta prilikom držanja motke; 2) brzina zaleta kod posljednja dva koraka je povećana, međutim amplituda brzine nekih ispitanika je smanjena; 3) i gubitak horizontalne brzine kao i povećanje vertikalne brzine su bile prevelike u fazi skoka. Dok su Arampatzis, Schade i Bruggemann (2004) proveli opsežno istraživanje sa svrhom: (a) ispitati interakciju između sportaša i motke i mogućnosti da sportaš iskoristi elastičnost motke svojim mišićnim radom. (b) razviti kriterij izvedbe tijekom interakcije između motkaša i motke u skoku s motkom.

Šest sportaša je izvodilo 4 - 11 skokova, sa 90 % njihovih najboljih osobnih izvedbi. Svi skokovi su snimani pomoću četiri sinkronizirane, video kamere pri 50 Hz. Mjerena je sila reakcije tla izvršena na dno motke korištenjem specijalne kutije fiksirane na tenziometrijsku platformu (1000 Hz). Interakcije između motkaša i motke je bila podijeljena u dva dijela. Tijekom prvog dijela, energija se prenosi na motku i ukupna energija sportaša se smanjuje. Razlika između smanjenja energije sportaša i energije

motke je indikator energije koju sportaš proizvodi mišićnim radom (kriterij 1). Tijekom drugog dijela interakcije, energija se prenosi natrag na sportaša i ukupna sportaševa energija se povećava. Razlika između povratne energije motke i količine povećanja energije sportaša definira kriterij 2. Općenito, funkcija motke tijekom interakcije je: (a) spremanje dijela kinetičke energije koju sportaš postigne tijekom zaleta kao energiju napreznja, i pretvaranje ove energije napreznja u potencijalnu energiju sportaša, (b) dopustiti aktivnom sistemu (sportašu) da stvori mišićni rad kako bi povećao ukupnu potencijalnu energiju.

Ohshima, Nashida i Ohtsuki (2010) navode kako skok s motkom je brzo napredovao u smislu mehaničkih svojstava i pojave kao rezultat korištenja fleksibilne fiberglas motke. Razni istraživači su modelirali skakačevo tijelo kao seriju, strogih poveznica, ograničenih na 2D plohu. U ovom istraživanju prezentiran je kombinacijski sistem koji se sastoji od fleksibilne motke i 3D modela skakača. Taj 3D model se sastoji od ukrućenog tijela povezanog s okretajem. Ovdje, simulacijska analiza optimalno poboljšava prikaz karakteristika motke i združenog obrtnog momenta s aplikacijom genetskog algoritma. Kontrolni parametri su bili združeni obrtni moment i tvrdoća motke. Iz rezultata, bilo je jasno da postoje optimalne karakteristike motke koje su povezane sa skakačevom inicijalnom brzinom. Zatim su McGinnis i Bergman (1986) proučavali inverznu analizu koristeći model devet segmenata tijela skoka s motkom u 2D tehnici. Pet vrhunskih motkaša podvrgnuto je snimanju. Uzeti su slijedeći parametri u razmatranje: rameni zglob, lijevi kuk, lijevo koljeno, desni kuk, desno koljeno. Moment sile gornjeg hvata do donjeg hvata je također analiziran. Rezultanta momenta svakog zgloba je analizirana i stavljena u relaciju s tehnikom i između njih. Moment proizveden s donjim hvatom i rezultanta momenta ramena je pokazala najviše varijance među skakačima. Moment motke ukazao je da je lijeva ruka povlačena većim dijelom skoka. Rezultanta momenta ramena ukazuje na potrebno jačanje (razina snage) u ramenom pojasu. Varijance rezultata momenta u donjim ekstremitetima su bile male unatoč prisustvu velikih razlika u kinematičkim parametrima među skakačima.

Mesnard i sur. (2007) istraživali su i modelirali skakačevo tijelo kao seriju, strogih poveznica, ograničenih na 2D plohu. U ovom istraživanju prezentiran je kombinacijski sistem koji se sastoji od fleksibilne motke i 3D modela skakača. Taj 3D model se sastoji od ukrućenog tijela povezanog s okretajem. Ovdje, simulacijska analiza optimalno poboljšava prikaz karakteristika motke i združenog obrtnog momenta s aplikacijom genetskog algoritma. Kontrolni parametri su bili združeni obrtni moment i tvrdoća motke. Iz rezultata, bilo je jasno da postoje optimalne karakteristike motke koje su povezane sa skakačevom inicijalnom brzinom.

Većina istraživanja skoka s motkom se bazira na podacima prijenosa energije, ali ne uzima u obzir sve akcije poduzimane na motci. Počevši s eksperimentalnim mjerenjem, studija od Frerea i sur. (2010) predstavlja 3D mehanički model dopuštajući određivanje skakačevih akcija na motku. Sila i moment izvršeni na motci tijekom zadnjeg koraka prije odraza i tijekom faze skoka su izračunate. Komparativna studija koja je izvršena na dvama skakačima slične morfologije i izvođenja skokova s istom motkom ističe utjecaj na izvedbu momenta koji je primijenjen na motku. U analitičkoj analizi Frere i sur. (2012) obrazlažu da dobro razumijevanje mehanizma skoka s motkom neophodno je za izvedbu jer je ova izvedba veoma složena, s nekoliko faktora koji se pojavljuju u nizu ili paralelno. Ovi faktori se uglavnom odnose na brzinu sistema skakač-motka, kinetičku i potencijalnu energiju skakača i energiju naprezanja zadržanu u motci, silu i obrtajnu silu primijenjene od strane skakača, i dizajn motke. Iako je područje skoka s motkom nepregledno, obuhvaćajući nekoliko polja kao što su medicina, sportske znanosti, mehanika, matematika, i fizika, studije se slažu da je izvedba skoka s motkom, kao osnovno, pod utjecajem izmjene energije između skakača i motke. Idealno, dok skakač preskače letvicu, njegova mehanička energija mora biti sastavljena od visoke potencijalne energije, i niske kinetičke energije, garantirajući visoku vertikalnu komponentu skoka. Štoviše, sila i obrtajna sila koje skakač primjenjuje utječu na ovu izmjenu energije i ovi faktori stoga moraju biti uzeti u obzir pri analizi izvedbe. Ovo izvješće predstavlja varijable koje utječu na izvedbu skoka s motkom tijekom zaleta, podrške motke i faze slobodnog skoka. Katsikas i sur. (2008) u svom istraživanju

proučavali su kritični problem optimalne sinkronizacije klatna i njihov utjecaj na razinu prodiranja u motki. Važnost “dubokog odraza” prodiranja je vrlo važna za sami skok. Za visoku rezultatsku vrijednost u skoku s motkom trebala bi postojati optimalna koordinacija između dva klatna, sistem motka i motkaš (prvo klatno) i motkaš (drugo klatno). Međutim, pažnja mora biti usmjerena uglavnom na prvo klatno, a naknadno na drugo klatno. Ako motkaš (drugo klatno) starta s preuranjenom fazom grupiranja, ova akcija će umanjiti kutni moment sistema motka-skakač (prvo klatno), sprečavajući sistem da dostigne vertikalnu poziciju. Autori zaključuju da uspjeh u skoku s motkom zavisi od motoričkih sposobnosti i motke koju motkaš koristi. Cilj simulacijske metode je oblikovanje i predviđanje izvedbe ali kompleksnost skoka s motkom nameće ograničenja zaključaka koji bi se mogli izvesti. Nekoliko modela ima za cilj dekompoziciju skoka, što vodi do diskrepancija koje se tiču faktora izvedbe (Vaslin i Cid, 1993). Iako količina znanstvenih podataka koji se tiču mehanike skoka s motkom raste s razvojem tehnologije, kao što su računala, softveri analize pokreta ili ploče za mjerenje snage, skok s motkom bio je predmetom samo jednog literarnog pregleda, koji je klasificirao očite, dvojbene i ostale faktore izvedbe (Vaslin i Cid, 1993). U statičnoj fazi, čini se da je faza kočenja znatno dulja nego kod situacije kada atletičar nosi motku (Frere i sur., 2007., 2009.). Ovo se podudara sa rezultatima biomehaničkih osvrta o trčanju, u kojima se donose zaključci da što brže atletičar trči, to su kraće statična faza i faza kočenja (Vaughan, 1984; Williams, 1985; Mero i sur., 1992; Novacheck, 1998; Schache i sur., 1999).

Ekevad i Lundbreg (2000) proveli su istraživanje gdje je proces skoka s motkom simuliran koristeći „krajnji element 2D modela“ motke i skakača. Motka je modelirana s 20 nosivih elemenata a skakač sa sedam takvih elemenata povezanih zajedno točkom zglobova. Pametno ponašanje je postignuto kontrolom limitirane mišićne obrtajne sile u zglobovima po danoj strategiji. Ova strategija kontrole je takva da skakač teži izvedbi unaprijed određenoj sekvenci pokreta, odgovarajući na određen stil tijekom skoka. Optimalna dužina motke je određena za skakača sa danom inicijalnom brzinom, snagom i stilom. Kada se koristi motka optimalne dužine, maksimalno povećanje potencijalne

energije skakača je 1,27 x inicijalne kinetičke energije skakača i motke. Ovo pokazuje da doprinos mišićnog rada povećanju potencijalne energije tijekom skoka može biti od važnosti. Simulacijska metoda bi trebala biti korisno oruđe za optimizaciju dizajna motke. Također bi moglo biti korisno za optimizaciju stila izvedbe skoka ili za prosuđivanje važnosti skakačeve snage.

Ne linearne diferencijalne jednadžbe pokreta motke su dobivene korištenjem metodama modeliranja osiguranih grafova Hubbard (1980). Model za motke se temelji na teoriji visokog izvijanja tankog štapa ali uključuje mogućnost obrtne sile skakača na vrhu skoka. Model zabodenog krutog tijela skakača je korišten uz interno generiranu kontrolu obrtne sile kod zglobova kuka, ramena i ručnog zgloba. Prezentirane su i vremenske simulacije skokova. Potpuni sistemski model je korišten kako bi se proučili efekti različitih inicijalnih stanja i efekti vremenskih varijacija u kontroli obrtne sile tijekom skoka.

Može se zaključiti kako ciljevi ovoga osvrta su prikupljanje i osuvremenjivanje mehaničkih podataka o skoku s motkom kroz prezentaciju literature, koja uključuje analize svih faza skoka, te naglašava faktore izvedbe u svakoj fazi, unutar kinematičkih, energetskih i kinetičkih procesa.



## **3. PREDMET ISTRAŽIVANJA**

Predmet ovog istraživanja je 2D analiza natjecateljske izvedbe skoka s motkom kod vrhunskih juniora snimljenih na Europskom juniorskom prvenstvu 2009. godine. Promatrati će se kinematički parametri i rezultatska ostvarenja atletičara. Uspjeh u skoku s motkom obično ovisi o atletičarevim psihičkim, morfološkim i tehničkim karakteristikama te motoričkim sposobnostima, čineći skok s motkom kombinacijom atletskih i gimnastičkih elemenata. Analizirati će se varijable koje prezentiraju sve relevantne segmente u 2D ravninama (x, y) skoka s motkom, od zadnjih koraka zaleta s postavljanjem motke u kutiju, odraza, leta pa do prelaska skakača preko letvice. Svaka od navedenih faza zahtjeva preciznu tehničku izvedbu kako bi skok i rezultat, ovisno o motoričkim i tehničkim sposobnostima pojedinca, bio što optimalniji i bolji. S obzirom da ukupna preskočena visina skoka s motkom ovisi i o ostvarenim pojedinačnim visinama tijela u odrazu, fazi zamaha, visini leta i prelaska preko letvice, koje su opet uvjetovane izmjenom kinetičke i potencijalne energije te položajima i pokretima tijela za vrijeme trajanja skoka, analizirati će se i ta energetska komponenta doprinosa uspješnosti u skoku s motkom.

## 4. PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Problem ovog istraživanja je proučavanje kinematičkih čimbenika u 2D sustavu koji determiniraju uspjeh u skoku s motkom.

Kvalitetna izvedba u skoku s motkom rezultat je slijeda optimalnih i tehnički ispravno izvedenih kretnji dijelova tijela i cijelog tijela skakača, u određenom ritmu realizacije samog skoka. Naravno, sve kretnje trebaju se uskladiti s reakcijom elastične motke kako bi se maksimalno iskoristili skakačev potencijal i tehničke karakteristike motke. 2D analizom kinematičkih varijabli koje najbolje prezentiraju određene faze i dijelove skoka s motkom dobiti će se vrijedne i neophodne informacije o vremenskim, prostornim kao i dinamičkim karakteristikama skoka s motkom. Utvrđivanje onih parametara o kojima najviše zavisi postizanje maksimalnih rezultata u skoku s motkom, kao i iznalaženje karakteristika i sposobnosti koje razlikuju dobru od loše izvedbe, tj. definiraju kvalitetnije od manje kvalitetnih skakača, svakako su primarni problem u praksi navedene atletske discipline.

Sa znanstvenog stajališta, nedvojbeno je da će informacije dobivene u ovom istraživanju biti kvalitetne i vrijedne iz razloga što su analizirani skokovi najboljih europskih juniora. Broj skokova/entiteta je dovoljan za aplikaciju optimalnih matematičko-statističkih procedura u 2D sustavu. S obzirom da postoje ograničenja znanstvenog zaključivanja kod korištenja dvodimenzionalnog prostora analize kinematičkih parametara, u odnosu na rezultate koji bi nam ponudili potpune informacije u slučaju korištenja 3D sustava, ove rezultate 2D kinematičkih analiza određenih parametara, treba uzeti s „rezervom“ kod mogućeg zaključivanja o egzistenciji generalnog tehničkog modela kojim se služe vrhunski juniori - skakači s motkom. No ipak treba napomenuti kako uzorak ovog istraživanja čine upravo vrhunski juniori koji se nalaze u natjecateljskoj situacijskoj izvedbi skokova, pri kojoj kao takvi ostvaruju svoja maksimalna postignuća, te će podaci koji će se dobiti i utvrditi 2D analizama biti od velikog značaja. Također se uvidom u literaturu može sa sigurnošću utvrditi kako

## Doktorska disertacija

---

postoji samo nekoliko istraživanja koja su se bavila problematikom proučavanja kinematičkih parametara kod vrhunskih skakača s motkom, no gotovo nitko nije utvrđivao sami utjecaj pojedinačnih 2D kinematičkih parametara na rezultat u skoku s motkom i to na vrhunskoj populaciji juniora i/ili seniora.

## 5. CILJEVI I HIPOTEZE

Osnovni cilj ovog istraživanja je analiza kinematičkih parametara u 2D prostoru te utvrđivanje njihovog utjecaja na rezultatsku efikasnost u skoku s motkom kod najboljih Europskih juniora u dobi od 17 do 19 godina.

Sukladno postavljenom temeljnom cilju moguće je postaviti sljedeće parcijalne ciljeve istraživanja:

- Utvrditi utjecaj između varijabli kinematičkih parametara i rezultata u skoku s motkom (svi zajedno),
- Utvrditi razlike u varijablama kinematičkih parametara između entiteta različitih kvalitativnih razreda.

Za ostvarivanje ciljeva definirane su sljedeće alternativne hipoteze:

**H<sub>1</sub>** - postoji utjecaj kinematičkih parametara na visinu kod skoka s motkom

**H<sub>2</sub>** - postoji razlika u kinematičkim parametrima kod entiteta različitih kvalitativnih razreda.

## 6. METODE RADA

### *6.1 Uzorak entiteta*

U ovom istraživanju uzorak entiteta činili su uspješni skokovi 30 skakača s motkom, juniora, čiji su uspješni skokovi snimljeni na Europskom juniorskom prvenstvu koje se održavalo u srpnju 2009. u Novom Sadu. Ispitanici su izveli skokove u okviru eliminacijskog natjecanja za finale i skokove u finalnom dijelu natjecanja. Starost ispitanika je bila 17-19 godina, a raspon njihovih najboljih rezultata se kretao od 4,70 m do 5,25 m.

Natjecanje u skoku s motkom bilo je organizirano u dva dana. Provedeno je kvalifikacijsko natjecanje za grupe atletičara A i B s početnom visinom 4,70 m i normom od 4,95 m za ulazak u finale. U kvalifikacijskoj grupi A natjecalo se devet atletičara, od kojih se sedam kvalificiralo u finale (Koehl Pascal (Njemačka); Sobera Robert (Poljska); Richards Marquis (Švicarska); Marinić Zan (Slovenija); Sutcliffe Andrew (Velika Britanija); Konrad Tom (Njemačka); Palazzo Marcelo (Italija)). Visinu od 4,95 m su preskočili iz prvog pokušaja: Koehl, Sobera, Richards, Marinić. Kriterij za ulazak u finale ostvarili su svi skakači s preskočenom visinom od 4,95 m ili ukupno prvih 12 rangiranih skakača motkom na ovom kvalifikacijskom natjecanju.

U kvalifikacijskoj grupi B (čije natjecanje se odvijalo istovremeno s natjecanjem kvalifikacijske grupe A, na drugom skakalištu) natjecali su se Weiler Nico (Njemačka); Vayrynen Henri (Finska); Zhelyabin Dimitry (Rusija); Lisiak Adam (Poljska); Martin Adrein (Francuska); Kilbertus Paul (Austrija); Pujats Paul (Latvija); Stecchi Claudio Michel (Italija); Marchand Alexandre (Francuska). Propustivši kvalifikacijske visine od 4,70 m i 4,85 m, u finale Europskog juniorskog prvenstva, kvalificirao se Weiler Nico (Njemačka) s preskočenom visinom od 4,95 m. Zatim su se kvalificirali u finale i Vayrynen (Finska); Zhelyabin (Rusija) te iz drugog i trećeg pokušaja Lisiak (Poljska) i Martin (Francuska).

## Doktorska disertacija

---

Vremenski uvjeti za vrijeme provođenja kvalifikacijskog natjecanja su bili u skladu s pravilima održavanja atletskih natjecanja. Temperatura zraka iznosila je 30°, vlažnost zraka 44% te je bilo sunčano.

Za vrijeme trajanja finalnog dijela natjecanja, temperatura zraka iznosila je 25° vlažnost zraka 38% te je bilo vedro. Visine finalnog Europskog juniorskog prvenstva, održanog četvrtog dana natjecanja, iznosile su redom 4,80 m; 4,95 m; 5,05 m; 5,15 m; 5,25 m i 5,30 m. Ukupni pobjednik Europskog juniorskog natjecanja je bio Weiler Nico (Njemačka) s preskočenom visinom od 5,25 m. Među finalistima natjecanja najzastupljeniji su bili skakači s motkom iz Njemačke (Weiler Nico, Koehl Pascal i Konrad Tom), u čijoj je zemlji tradicija skoka s motkom započeta još davnih godina, u okviru gimnastičkih natjecanja koje je uveo i opisao GuthsMuts (1792) u svojoj knjizi „Gymnastik fur die Jugend“. Prema saznanjima iz literature Walther (2009) navodi kako Njemački atletski savez (1993) definira tehniku skoka s motkom kroz sljedeće faze: zalet, polaganje motke u kutiju, odraz, „C“ pozicija skakačeva tijela u zamahu, „L“ pozicija skakačeva tijela pri grupiranju i višenju na motci i „I“ pozicija skakačeva tijela prilikom opružanja motke, zatim slijedi faza napuštanje motke i prelazak preko letvice. Sama tehnika elitnih skakača s motkom se razlikuje kod svake individue ovisno o načinu izvedbe pojedine faze skoka. Također u finalu analiziranog natjecanja su se natjecali i skakači predstavnici drugih zemalja kao što su Rus Zhelyabin i Francuz Martin u čijim zemljama postoje uvriježeni modeli tehnika skoka s motkom. Kod „ruske“ škole koju je ustanovio Petrov, ruski trener Sergeya Bubke (svjetskog i olimpijskog rekordera u skoku s motkom) porijeklom iz Ukrajine, fokus je na fazi zamaha, dok je kod „francuske“ škole koju je ustanovio Houvion fokus na razvoju snage. Obje škole razlikuju se u načinu izvođenja u više faza skoka s motkom. Tako je cilj „ruske škole“ brže uspravljanje motke kroz uspješno njihanje skakača na motci dok je kod „francuske škole“ cilj maksimizirani skraćenje motke prilikom savijanja. Hvat je kod ruske škole uža (50-60cm) dok je kod francuske često šira. U fazi zaleta navedene škole se razlikuju u tome što ruska škola podržava duže korake koji postaju sve brži, a francuska škola zahtjeva visokofrekventne korake koji postaju sve duži. Kod polaganja motke za rusku školu je karakteristično

## Doktorska disertacija

---

direktno vođenje motke uvis prema gore s impulzivnim „ubodom“ motke u kutiju poslije dva-tri koraka, dok se kod francuske škole motka prvo vodi s donjom rukom prema naprijed, prije nego li započne akcija vertikalnog postavljanja motke nakon dva koraka. Za „rusku“ školu karakterističan je „slobodni odraz“, što znači da se faza odraza događa neposredno prije i/ili istovremeno s fazom polaganja motke u kutiju, tj. prije udarca motke u stražnji dio kutije. U fazama prelaska iz faze prodiranja u fazu vertikalnog podizanja motke i savijanja motke, kod ruske škole se te faze izvršavaju relativno brže, poput biča, dok se kod francuske škole relativno sporije izvode. U fazi grupiranja tijela ruska škola podržava aktivno guranje ruku prema naprijed s istovremenim podizanjem nogu, vođen odraznom nogom skakač se katapultira gore i naprijed, dok francuska škola podržava nakon faze odraza obje noge koje se privlače prema sebi, što uzrokuje skraćivanje faze njihanja. Najpoznatiji elitni skakači motkom koji slijede „rusku školu“ su Bubka, Tarasov i Potapowitsch, dok su francusku školu slijedili Vigneron, Quinon i Collet (Kunz, 2003).

Do dana održavanja ovog natjecanja, najbolji rezultat ikad u juniorskoj kategoriji postigao je Maksim Tarasov (Rus) s ostvarenom visinom skoka od 5,80 m, dok su u 2009. godini najbolje rezultate postigli redom Nijemci: Leo Lohre 5,40 m; Nico Weiler, 5,36 m; Daniel Clemens, 5,35 m; Tom Konrad, 5,30 m, zatim Rus Dmitry Zhelyabin 5,30 m i Pascal Koehl, 5,30 m.

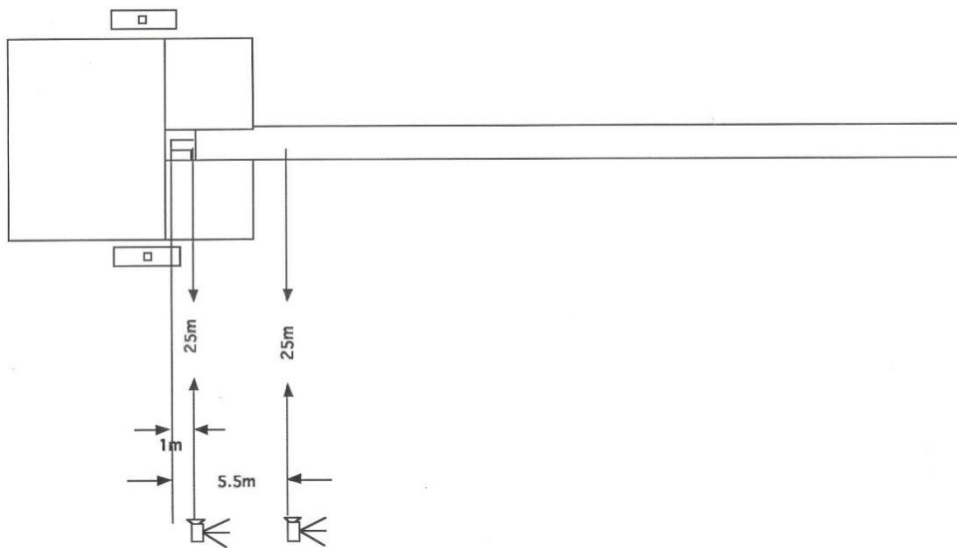
Entiteti (skokovi) su bili podijeljeni u dvije kategorije (kvalitativna razreda) temeljem ekspertnog znanja stručnjaka (vrhunskih biomehaničara i trenera skakača s motkom na samom natjecanju). Eksperti su smatrali da je kvalifikacijska norma od 4,95 m rezultat koji dijeli skakače u dvije kategorije: bolje i lošije. Eksperti su mišljenja da su za ostvarenje određenih razina rezultata u skoku s motkom odgovorne isto tako i određene vrijednosti kinematičkih parametara.

Tako će za potrebe diskriminacijske analize entiteti (skokovi) biti razvrstani u dvije kategorije:

**G1** - skupina skokova do 4,90 m;

**G2** - skupina skokova preko 4,90 m.

## 6.2. Prikupljanje video zapisa za kinematičku analizu



Kamera 1      Kamera 2 (položaj kamera na visini od 1,6m)

Slika 13. Položaj kamera u odnosu na skakalište

Dvije Panasonic S-VHS, W-M95 video kamere su se koristile za snimanje prilikom natjecanja skoka s motkom. Brzina blende kamere se namjestila na 1/500 s otvorenim fokusom. Slika 13. prikazuje položaj kamera.

Prva kamera se postavila na poziciju tako da se optička os siječe s planom kretanja pod pravim kutom, na udaljenosti od 1 m od kraja kutije. Udaljenost između kamere 1 i



sredine staze je bila 25 m. Kamera se postavila na visinu od 1.6m. Kamera 1 je bila fokusirana na snimanje zadnjeg koraka, te svih faza od postavljanja motke u kutiju do prelaska skakača preko letvice.

Kamera 2 je bila namještena tako da se optička os siječe s planom kretanja okomito na udaljenosti od 5,5 m od kraja kutije.

Udaljenost između Kamere 2 i sredine staze je također bila 25 m a udaljenost kamere od tla također se je postavila na visinu od 1,6 m. Kamera 2 se namjestila tako da snima zadnja 4 koraka prije odraza i faze postavljanja motke u kutiju.

Kalibracija videa se izvršila pomoću crne motke s bijelim markerima. Kalibracija je obavljena za vertikalne i horizontalne smjerove prije i nakon snimanja.

### **6.3. Redukcija podataka i izračunavanje kinematičkih parametara**

Snimke sa S-VHS kasete se prebacila na digitalni medij pomoću JVC 9800 digitalne kamere. Svi skokovi skakača su se digitalizirali na 50 Hz pomoću softvera APAS version 13.3.3 za 2D analizu podataka.

Digitalizacija vrpce iz kamere 2 se napravila iz četiri sličice prije kontakta s tlom petog zadnjeg koraka prije odraza, sve do četiri sličice nakon trenutka odraza. Digitalizacija materijala iz kamere 1 se je napravila iz 4 sličice prije kontakta s tlom drugog zadnjeg koraka, sve do 4 sličice nakon postizanja najviše visine, ovisno o subjektu.

Za svaki skok se digitaliziralo od 90 do 105 sličica. Kontakt s tlom je definiran kao trenutak u kojem se vidi kontakt stopala s tlom. Odras je definiran kao trenutak u kojem se vidi da stopalo više nije u kontaktu s tlom. APAS softverom izvršila se digitalizacija položaja markera na video zapisu, a njihova transformacija u dvodimenzionalni koordinatni prostor primjenom algoritma za direktnu linearnu transformaciju (DLT).

U svakoj sličici digitalizirala se fiksirana kontrolna točka te još 21 anatomska oznaka definirana 14-segmentnim modelom subjekta. Segmentni model baziran je na

# Doktorska disertacija

---

Clauserovom modelu segmenata ljudskog tijela kako je to navedeno u Hay-u (1993). Uz anatomske oznake, vrh motke te gornje hvatište motke se također digitalizirao.

Podaci dobiveni digitalizacijom su se transformirali i uredili pomoću Butlerworth digitalnog filtera. Usporedbom neobrađenih i filtriranih podataka na 4 različite frekvencije, odredila se frekvencija od 50Hz. Ova frekvencija najbolje odgovara neobrađenim podacima sa željenom redukcijom šuma.

Obrađeni podaci su se zatim koristili za izračunavanje pozicije te brzine pojedinih segmenata. Plagenhoef (1971) je referenca za određivanje zajedničkih centara digitalizacije. Centar mase lokacija subjekta te njegova brzina su također bili određeni kao potencijalna i kinetička energija. Da bi se testirala pouzdanost i valjanost digitalizacije dva skoka ponovno su se digitalizirali i usporedili s prethodnim rezultatima.

Podaci o horizontalnoj i vertikalnoj brzini su se dobili pomoću APAS sustava. Filtrirani podaci su prebačeni u dokument Excela. Izračunalo se 25 parametara koji se odnose na položaj tijela i vrijeme izvođenja faza skoka s motkom. Kutovi su se izračunali pomoću Pitagorinog poučka. Potencijalna energija  $E_p$  za entitete izračunali su se kao:  $E_p = mgh$  gdje je  $m$  = masa;  $g$  = gravitacijska sila;  $h$  = visina. Kinetička energija -  $E_k$ , se izračunala kao:

$E_k = \frac{1}{2} mv^2$ , gdje je  $m$  = masa;  $v$  = brzina.

## 6.4. Skup varijabli

### 6.4.1. Pristupni parametri

*Duljina predzadnjeg koraka* definira se kao horizontalna razlika između palca lijeve noge kod polaganja noge u predzadnjem koraku, i palca desne noge kod polaganja noge u zadnjem koraku. Dakle, korak ili duljina koraka započinje u trenutku polaganja jedne noge na tlo, a završava polaganjem druge noge.

*Brzina predzadnjeg koraka* dobiva se mjerenjem prosječne horizontalne brzine centra mase u vremenu koje je potrebno za izvršavanje prethodnog koraka. Korak započinje u trenutku spuštanja palca jedne noge, a završava spuštanjem palca druge noge.

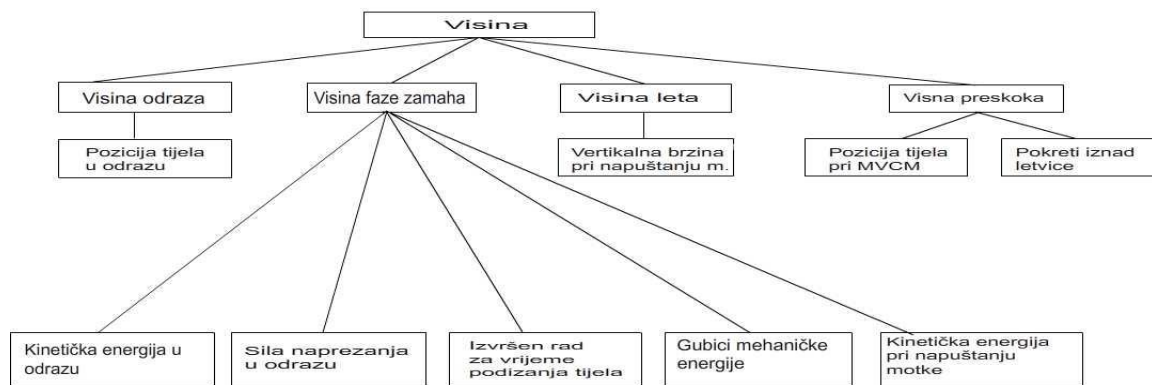
*Duljina zadnjeg koraka* definira se na isti način kao i duljina predzadnjeg koraka.

*Brzina zadnjeg koraka* je mjera horizontalne brzine za vrijeme zadnjeg koraka. Određuje se na isti način kao i brzina prethodnog koraka.

*Nagib trupa u trenutku postavljanja motke u kutiju* je mjera kuta trupa u odnosu na horizontalnu podlogu zaletišta u trenutku polaganja motke/odraza. Mali kut znači da se subjekt nagnje unatrag, a kut od 90 stupnjeva označava potpuno uspravni položaj.

## 6.4.2. Parametri polaganja motke i odraza

Visina centra mase u trenutku odraza jednaka je H1 u parcijalnom Hayovom modelu (1993) prema kojem se visina koju skakač preskoči definira kao suma četiri parcijalne visine. Prva visina H1 (odrazna visina) se odnosi na skakačevu visinu centra mase tijela u trenutku odraza, druga visina H2 (visina zamaha) se definira kao visina koju skakačev centar mase tijela dosegne dok je skakač još uvijek na motci. Treća visina H3 (visina leta) je visina koju dosegne skakačev centar mase tijela u trenutku napuštanja motke, dok je H4 (visina prelaska preko letivce) definirana kao razlika visina postavljene letvice i postignute maksimalne visine centra gravitacije tijela skakača. U slici 14 prikazani su temeljni čimbenici koji određuju maksimalnu preskočenu visinu u skoku s motkom.



Slika 14. Prikaz temeljnih čimbenika uspješnosti u skoku s motkom, prema J.Hay-u (1993)

### 6.4.3. Parametri položaja tijela

*Horizontalna udaljenost između prstiju odrazne noge i krajnje točke kutije u trenutku postavljanja noge prije trenutka odraza* kod odraza mjeri se da bi se dobio dojam položaja subjekta na zaletištu, u odnosu na kutiju. Razlike u parametrima među raznim subjektima može se objasniti različitim visinama hvata - što je хват viši, skakač će biti udaljeniji od kutije.

*Kut nagiba motke u trenutku postavljanja u kutiju* je kut između motke i zaletišta. Na kut motke utječe visina hvata i anatomska statura subjekta. Dobar skok karakterizira porast ovoga kuta od polaganja do odraza, dok se skakač podiže u odraz.

*Kut odraza* izračunava se pomoću resultantnog vektora brzine centra mase kod odraza. Kut između ovoga vektora i horizontalne linije od centra mase tijela je kut odraza.

*Maksimalno savijanje motke u %* kod odraza je mjera koja se dobije usporedbom duljine motke u opruženom stanju, s ukupnom duljinom opruge motke u trenutku odraza.

Duljina opružene motke mjeri se kao udaljenost između gornje ruke hvata do kaja motke koji se polaže u kutiju. Ova duljina se mjeri prije savijanja motke u trenutku polaganja. McGinnis (1987) utvrđuje kako ova mjera ukazuje na energiju naprezanja koja je pohranjena u motci u trenutku odraza, što je jedan od parametara za koje Hay (1993) tvrdi da imaju utjecaja na visinu njihanja.

*Udaljenost između gornjeg hvata (šake) i prstiju odrazne noge u trenutku odraza* kod odraza. Ovaj parametar se odnosi na horizontalnu udaljenost između centra gornje ruke i palca odrazne noge. Pozitivna vrijednost označava da je noga ispred ruke. Veća vrijednost znači da je subjekt bliže kutiji. Negativna vrijednost znači da je noga iza gornje ruke u trenutku odraza.

*Visina centra mase tijela u trenutku odraza* je H1 prema Hayu. Na ovaj parametar utječe građa tijela subjekta, kao i položaj tijela kod odraza. Subjek sa relativno višim položajem centra mase kod odraza ima veću potencijalnu energiju.

#### **6.4.4. Parametri brzine (kod odraza i polaganja motke)**

*Brzina centra mase tijela nakon odraza* - mjeri se brzina centra mase tijela od trenutka napuštanja stopala nakon odraza do distance od 1 m (u fazi leta).

#### **6.4.5. Parametri faze zamaha**

*Minimalna udaljenost centra mase tijela i ubodne kutije zajedno s vremenom u kojem je ovaj minimum dosegnut* ukazuje na putanju centra mase za vrijeme faze zamaha. Visina hvata skakača također utječe na vrijednost udaljenosti.

*Maksimalno savijanje motke u %* je mjera savijanja motke opisana u postotcima. Izračunava se na slijedeći način:

$$(\text{Duljina motke} - \text{Najkraća duljina}) / \text{Duljina motke} \times 100$$

Ovo je mjera savijanja motke za vrijeme skoka. Na ovaj parametar također utječe krutost motke.

*Vrijeme za maksimalno savijanje motke* - mjeri se vrijeme do njezinog maksimalnog savijanja.

*Rotacija tijela prema nazad od trenutka postavljanja motke u kutiju je mjera ukupne reakcije tijela od polaganja motke do točke u kojoj se rotacija okreće na drugu stranu.*

*Vrijeme opružanja motke se mjeri od trenutka njezine maksimalne savijenosti do završetka opružanja.*

## 6.4.6. Parametri slobodnog leta i prelaska preko letvice

*Nagib trupa u trenutku napuštanja motke u odnosu na horizontalu* je kut između trupa i horizontale u trenutku napuštanja motke.

*Visina hvata* je udaljenost gornje ruke hvata od vrha motke. Efektivna visina hvata manja je od dubine kutije (20 cm).

*Vrijeme napuštanja gornje ruke i vrijeme postizanja maksimalne visine centra mase tijela* se mjere od točke odraza koja iznosi 0,0 s.

*Udaljenost između centra mase tijela i motke u trenutku napuštanja motke* označava udaljenost od okomite linije koju centar mase tijela prijeđe u najvišoj točki leta. Pozitivna vrijednost znači da je centar mase tijela prešao kutiju, i obratno.

*Maksimalna visina centra mase tijela* mjeri koliko je visoko subjekt podignuo svoj centar mase. Ova visina minus visina letvice iznosi  $H_4$  u Hayevom modelu.

*Kut između trupa i nogu u trenutku prelaska preko letvice* je mjera kuta između trupa i nogu u trenutku prelaska preko letvice.



# Doktorska disertacija

Tablica 4. Prikaz kinematičkih parametara skoka s motkom

Redni broj	Skraćeni naziv varijable	OPIS VARIJABLI	MJERNA JEDINICA
1.	DPZ	Duljina predzadnjeg koraka	Cm
2.	BZK	Brzina zadnjeg koraka	m·s <sup>-1</sup>
3.	DZK	Duljina zadnjeg koraka	Cm
4.	BPK	Brzina predzadnjeg koraka	m·s <sup>-1</sup>
5.	BO	Brzina centra mase tijela nakon odraza	m·s <sup>-1</sup>
6.	HUCMPO	Horizontalna udaljenost između prstiju odrazne noge i krajnje točke kutije u trenutku postavljanja noge prije trenutka odraza	Cm
7.	KNT	Kut nagiba trupa	°
8.	NTMP	Nagib trupa u trenutku postavljanja motke u kutiju	°
9.	KNMK	Kut nagiba motke u trenutku postavljanja u kutiju	°
10.	KO	Kut odraza	°
11.	UGHPN	Udaljenost između gornjeg hvata (šake) i prstiju odrazne noge u trenutku odraza	Cm
12.	VCMO	Visina CM tijela u trenutku odraza(H1)	Cm
13.	MUCMK	Minimalna udaljenost između centra mase i ubodne kutije	Cm
14.	VMUCMK	Vrijeme potrebno za postizanje minimalne udaljenosti između centra mase tijela i ubodne kutije	S
15.	MSM	Maksimalno savijanje motke u %	%
16.	VMSM	Vrijeme za maksimalno savijanje motke	S
17.	RTK	Rotacija tijela prema nazad od trenutka postavljanja motke u kutiju	°
18.	MVBCM	Vrijeme opružanja motke	S
19.	VNGR	Vrijeme napuštanja gornje ruke	S
20.	UCMTM	Udaljenost između centra mase tijela i motke u trenutku napuštanja motke	Cm
21.	VH	Visina hvata	Cm
22.	NTNM	Nagib trupa u trenutku napuštanja motke u odnosu na horizontalu	°
23.	MVCM	Maksimalna visina CM tijela	Cm
24.	VPMCM	Vrijeme postizanja maksimalne visine CM tijela	S
25.	KTN	Kut između trupa i nogu u trenutku prelaska preko letvice	°

## 6.4.7. Analiza podataka

Vrijednosti kinematičkih parametara snimljenih u sagitalnoj lijevoj skakačevoj ravnini tijela u fazi zaleta (snimljeno 1. kamerom) u 2D sustavu i skakačevoj lijevoj i desnoj sagitalnoj ravnini za vrijeme faza savijanja motke, opružanja i napuštanja te prelaska preko letivce (snimljeno 2. kamerom) u 2D sustavu, prikupljenih u ovom istraživanju obradile su se deskriptivnom analizom u kojoj su izračunate sljedeće vrijednosti:

- Aritmetička sredina (Mean)
- Minimalna vrijednost (Min),
- Maksimalna vrijednost (Max)
- Standardna devijacija (Std. Dev.)
- Pokazatelji asimetrije distribucije (skewness)
- Pokazatelji izduženosti (kurtosis)

Normalnost distribucije varijabli izračunala se pomoću Kolmogorov-Smirnovljevim testom na razini pogreške zaključivanja  $p=0.05$ .

Korelacijska analiza se koristila pri utvrđivanju međusobne povezanosti registriranih kinematičkih parametara s visinom u skoku s motkom.

Utjecaj prediktorskih varijabli na kriterije utvrdila se pomoću regresijske analize. U sklopu regresijske analize izračunali su se sljedeći parametri:

- Multipla korelacija ( $R$ ), koeficijent determinacije ( $R$ )<sup>2</sup>,
- $F$  – vrijednost kojom se testira statistička značajnost multiple korelacije ( $F$ ),
- Vrijednost zavisne varijable za nulte vrijednosti nezavisnih (intercept),
- Standardizirani regresijski koeficijenti ( $b$ ) i standardne pogreške standardiziranih regresijskih koeficijenata ( $be$ ),
- Nestandardizirani regresijski koeficijenti  $/B/$
- Koeficijent determinacije svake prediktorske varijable ( $r$ -sq)
- $T$  – vrijednost kojom se testira važnost regresijskih koeficijenata ( $t$ ),

# Doktorska disertacija

---

- Razina pogreške odnosno vjerojatnost hipoteze o nultoj vrijednosti regresijskog koeficijenta ( $p$ )

Diskriminacijskom analizom utvrdila se razlika između grupa entiteta i doprinos kinematičkih varijabli toj razlici. Izračunali su se osnovni deskriptivni parametri varijabli za svaku grupu (aritmetička sredina i standardna devijacija) te parametri diskriminacijske analize.

- Wilksowa lambda ( $W_1$ ),
- Aproksimacijska  $F$  vrijednost na temelju koje se testira važnost razlika,
- Pogreška kojom se prihvaća hipoteza o postojanju statistički značajne razlike između grupa ( $p$ ),
- Kvadratne Mahalonobisove distance,
- $F$  – vrijednosti  $p$ -razina važnosti kojom se testira razlika između grupa
- Hi-kvadrat test za diskriminacijske funkcije,
- Korelacije varijabli s diskriminacijskim funkcijama,
- Položaj centroida grupa na diskriminacijskim funkcijama

Razina statističke značajnosti postavila se na razinu  $p = 0.05$ .

Potencijalna energija  $E_p$  za sve entitete izračunala se kao:  $E_p = mgh$  gdje je  $m$  = masa;  $g$  = gravitacijska sila;  $h$  = visina.

Kinetička energija  $E_k$  se izračunala kao:  $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ , gdje je  $m$  = masa;  $v$  = brzina.

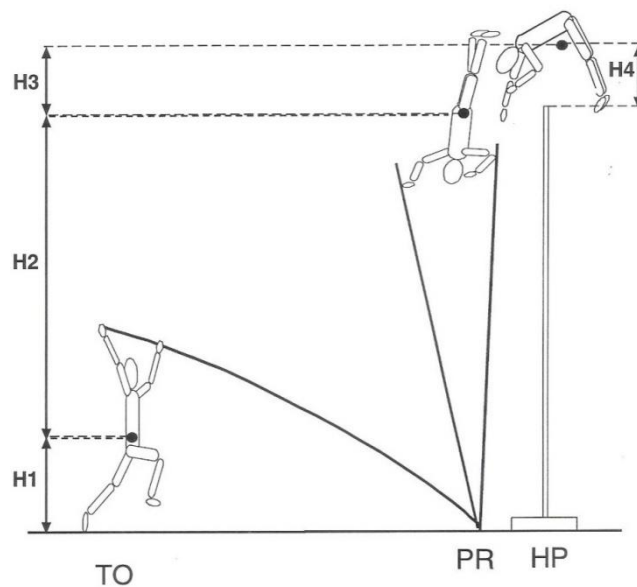
Statistička analiza provela se programskim paketom Statistica 7.1.

## 7. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati ovog istraživanja su interpretirani prema sljedećem redoslijedu: prvo su prikazani rezultati deskriptivne statistike, potom su interpretirani rezultati međusobnih odnosa promatranih varijabli, te rezultati regresijske i diskriminacijske analize.

### Model parcijalnih visina

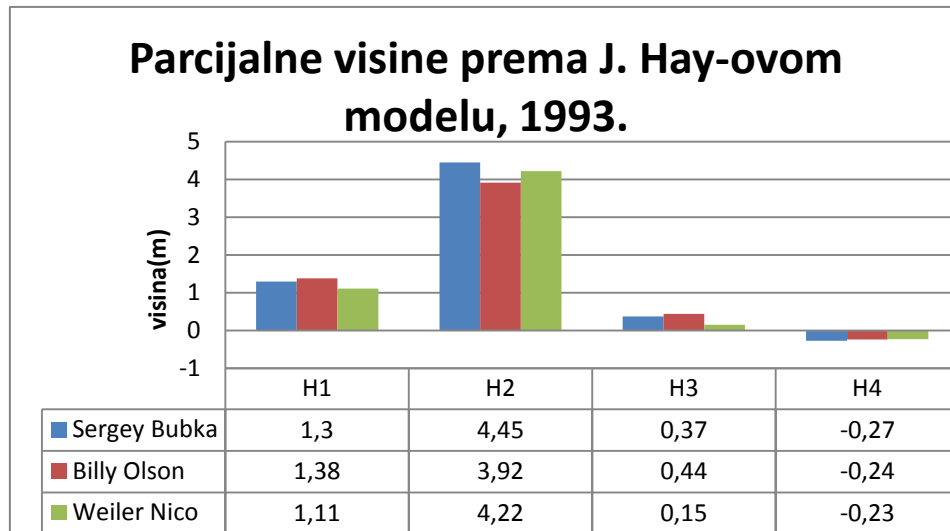
Četiri parcijalne visine definirane prema Hay-ovom modelu tehnike skakanja s motkom iscrtane su i prezentirane u slici 15.



Slika 15. Prikaz četiri ključne faze skoka s motkom (Hay,1993)

Legenda: TO-odraz; PR-napuštanje motke; HP- maksimalna točka CM;

CM- centar mase; H1- odrazna visina; H2 - visina zamaha; H3 - faza leta; H4 - prelazak preko letvice



**Dijagram 2. Prikaz parcijalnih visina prema Hay-ovom modelu (1993) kod vrhunskih skakača skoka s motkom**

Prema vrijednostima prikazanih parcijalnih visina u dijagramu 2, vidljivo je kako je najvišu ostvarenu visinu centra mase tijela u fazi odraza (H1), prema podacima istraživanja McGinnis (1987), imao Billy Olson - 1,38 m (kod preskočene visine od 5,50 m). Aktualni svjetski rekorder u skoku s motkom Sergey Bubka je imao visinu centra mase tijela u fazi odraza 1,30 m (kod preskočene visine od 5,85 m), dok je najmanju ostvarenu vrijednost postigao pobjednik Europskog juniorskog prvenstva 2009. godine, Weiler Nico (Njemačka) s prekočenom visinom od 5,25 m i visinom H1 od 1,11 m. Prosječne vrijednosti ovog istraživanja za visinu oslonačne ili faze zamaha (H2) koju su skakači ostvarili kretala se od najniže 3,86 m do 4,45 m, što se podudara s rezultatima istraživanja Osima (2001). Faktori koji određuju magnitude visine zamaha H2 se najbolje mogu objasniti u okvirima promjena mehaničke energije u sustavu skakač i motka. U ovom istraživanju pobjednik Weiler Nico je postigao visinu faze zamaha 4,22 m, dok su ostvarene visine Sergeya Bubke i Billy Olsona iznosile redom za H2 4,45 m, i 3,94 m. Najviša vrijednost u fazi leta (H3) zabilježena je kod skakača Billy Olsona 0,44 m, zatim kod Sergeya Bubke 0,37 te 0,15 kod Weiler Nica pri preskočenoj visini od 5,25 m. U posljednjoj parcijalnoj visini, prema J.Hay-ovom modelu razlika maksimalne ostvarene visine centra mase tijela i visine letvice

(H4) izmjerene su redom vrijednosti kod S.Bubke (-0,27), B.Olsona (-0,24), te kod Weiler Nica (-0,23).

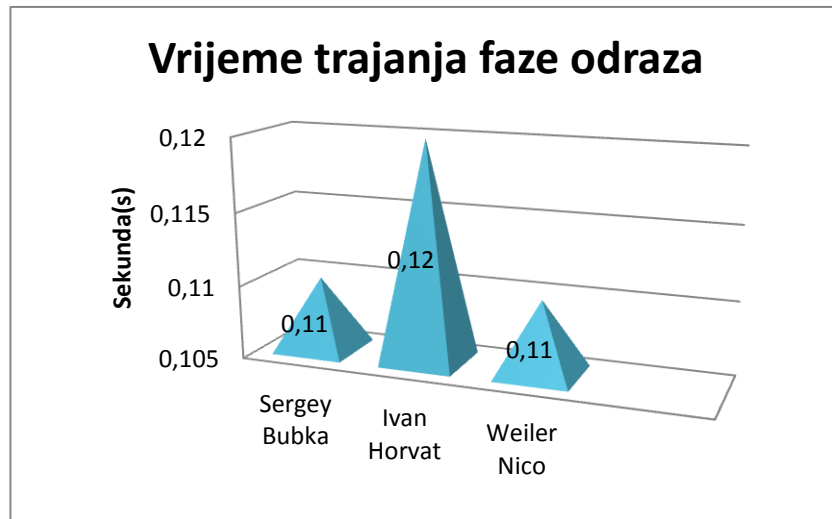
Tablica 5. Vrijednosti „vremena“ /trajanja faza/ u skoku s motkom (s)

Entiteti / varijable	TO	MPB	PS	PR	HP
71	0,10	0,47	0,58	1,41	1,44

**Legenda:** TO-odraz; MPB-maksimalno savijanje motke; PS-opružanje motke; PR-napuštanje motke; HP-maksimalna točka centra mase tijela.

Ritam skakanja direktno ima utjecaj na izvedbu i trajanje pojedinih faza skoka kao i na ukupno vrijeme trajanja cijelog skoka. (Jagodin i sur., 1979; Chang, 2009).

U tablici 5 prikazane su vrijednosti vremena trajanja pojedinih faza skoka s motkom izmjerenim u sekundama. Aritmetička sredina trajanja faze odraza kod vrhunskih Europskih skakača s motkom, juniora, iznosi 0,10 s dok vrijeme potrebno za maksimalno savijanje motke iznosi 0,47 s. Vrijeme opružanja motke iznosi 0,58 s. Ukupno vrijeme dok završi faza napuštanja motke iznosi 1,41 s. Za izvedbu skoka od faze odraza do prelaska preko letvice, prosječne visine od 5,25 m, potrebno je ukupno vrijeme od 1,44 s što je u skladu s dosadašnjim istraživanjima (McGinnis, 1987; Tidow, 1994).



**Dijagram 3. Prikaz trajanja faze odraza kod vrhunskih skakača motkom, juniora Ivana Horvata i Weiler Nica te svjetskog rekordera S. Bubke**

U dijagramu 3 prikazani su rezultati trajanja faze odraza, u istraživanju Baković i Antekolvić (2012), gdje su uspoređeni rezultati trajanja faza odraza kod svjetskog rekordera Sergeya Bubke u juniorskoj kategoriji (0,11 s) snimljenim na Olimpijskim igrama 1988. u Seoulu, s preskočenom visinom od 5,90 m, i hrvatskog, tada juniorskog rekordera u skoku s motkom, Ivana Horvata (0,12 s) s prekočenom visinom od 5,10 m snimljenom 2011. godine u Zagrebu, te Weiler Nica (0,11 s), pobjednika Europskog juniorskog prvenstva, 2009. u Novom Sadu.

## 7.1. Deskriptivni parametri skoka s motkom

Tablica 6. Osnovni deskriptivni parametri kinematičkih varijabli skoka s motkom

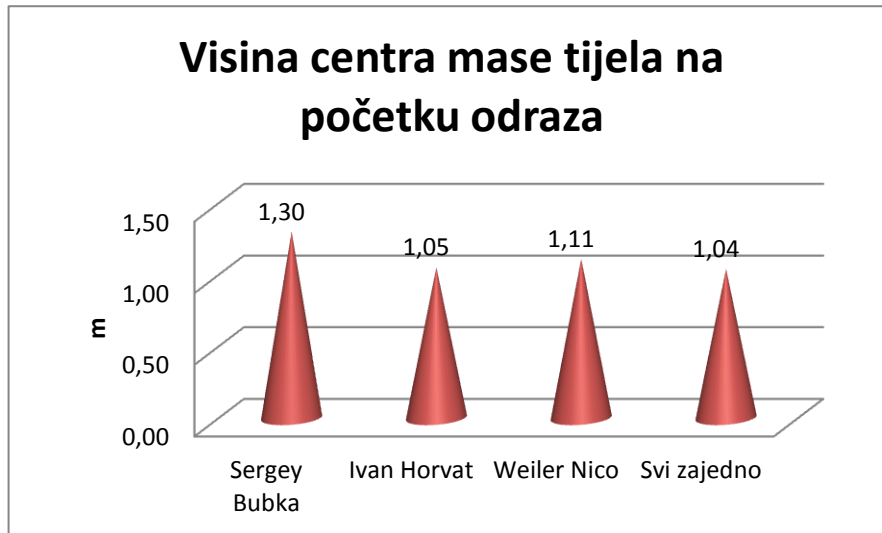
N=71	Deskriptivna statistika							
	Varijable	N	X	Min	Maks	Var	SD	Skew
<b>DPZ</b>	71	208,64	198	218	19,89	4,46	-0,23	-0,09
<b>BZK</b>	71	8,31	7,9	8,9	0,04	0,19	-0,33	-0,52
<b>DZK</b>	71	189,25	178	201	30,13	5,49	-0,37	-0,63
<b>BPK</b>	71	8,4	7,9	8,8	0,04	0,21	-0,09	0,08
<b>BO</b>	71	7,88	7,2	8,3	0,10	0,31	0,48	-0,79
<b>HUCMPO</b>	71	351,22	330	366	52,13	7,22	-0,24	-0,15
<b>KNT</b>	71	10,02	6	12	1,74	1,32	-0,40	-0,07
<b>NTMP</b>	71	2,95	2	5	0,73	0,85	0,22	-1,25
<b>KNMK</b>	71	32,69	31	34	0,50	0,71	0,28	-0,57
<b>KO</b>	71	17,53	16	21	1,85	1,36	0,62	-0,39
<b>UGHPN</b>	71	223,42	215	233	22,30	4,72	0,17	-0,93
<b>VCMO</b>	71	104,9	92	111	12,25	3,50	-0,71	1,34
<b>MUCMK</b>	71	189,27	171	216	117,10	10,82	0,58	-0,24
<b>VMUCMK</b>	71	0,34	0,24	0,44	0,00	0,03	-0,38	1,34
<b>MSM</b>	71	26,94	22	34	7,65	2,77	0,84	0,87
<b>VMSM</b>	71	0,47	0,36	0,58	0,00	0,04	-0,69	1,64
<b>RTK</b>	71	0,58	0,52	0,72	0,00	0,05	0,97	1,53
<b>MVBCM</b>	71	0,58	0,48	0,72	0,00	0,05	0,66	0,36
<b>VNGR</b>	71	1,42	1,24	1,6	0,01	0,08	0,01	-0,32
<b>UCMTM</b>	71	63,93	32	85	126,14	11,23	-0,70	0,54
<b>VH</b>	71	4,43	4,19	4,7	0,03	0,16	-0,30	-1,44
<b>NTNM</b>	71	50,85	36	76	116,50	10,79	-0,09	0,12
<b>MVCM</b>	71	5,25	4,92	5,56	0,02	0,15	0,53	0,45
<b>VPMCM</b>	71	1,44	1,32	1,62	0,00	0,07	0,49	-0,18
<b>KTN</b>	71	123,35	108	168	202,86	14,24	1,72	2,76

*N*-broj skokova, *X*-aritmetička sredina, *SD*-standardna devijacija, *Min*-minimalni rezultat, *Max*-maksimalni rezultat, *Var*-varijanca, *Skewness*-mjera asimetrije, *Kurtosis*-mjera izduženosti

**Legenda:** DPZ-duljina predzadnjeg koraka; BZK-brzina zadnjeg koraka; DZK-dužina zadnjeg koraka; BPK- brzina predzadnjeg koraka; BO-brzina centra mase tijela nakon odraza; HUCMPO- Horizontalna udaljenost između prstiju odrazne noge i krajnje točke kutije u trenutku postavljanja noge prije odraza; KNT- kut nagiba trupa; NTMP-nagib trupa u momentu postavljanja motke u prstiju; KNMK- Kut nagiba motke u trenutku postavljanja u kutiju; KO-kut odraza; UGHPN- udaljenost između gornjeg hvata(šake) i prstiju odrazne noge; VCMO-visina centra mase tijela u momentu napuštanja(HI); MUCMK- minimalna udaljenost između centra mase tijela i ubodne kutije; VMUCMK-vrijeme potrebno za postizanje minimalne udaljenosti između centra mase tijela i ubodne kutije; MSM- maksimalno savijanje motke u %; VMSM-vrijeme za maksimalno savijanje motke; RTK- rotacija tijela prema nazad od trenutka postavljanja motke u kutiju; MVBCM-vrijeme opružanja motke; VNGR-vrijeme napuštanja gornje ruke; UCMTM-udaljenost između centra mase tijela i motke u trenutku napuštanja motke; VH-visina hvata; NTN- nagib trupa u momentu napuštanja motke; MVCM-maksimalna visina centra mase tijela; VPMCM-vrijeme postizanja maksimalne visine centra mase tijela; KTN- Kut između trupa i nogu u trenutku prelaska preko letvice.



U tablici 6. prikazani su osnovni deskriptivni parametri (aritmetičke sredine ( $\bar{X}$ ), standardne devijacije (SD), minimalni (Min) i maksimalni rezultati (Max), mjere zakrivljenosti (Skew) i spljoštenosti (Kurt)). Prikazani su rezultati 25 kinematičkih varijabli koji opisuju važne dijelove tehnike skoka s motkom (zalet, odraz, napuštanje motke, prelazak preko letvice). Daljnjom analizom deskriptivnih pokazatelja utvrđena je normalnost distribucija Kolmogorov-Smirnovljevim testom svih kinematičkih varijabli uz pogrešku  $p < 0.05$ . Granična vrijednost K-S testa za uzorak  $N = 71$  iznosi 0,166.

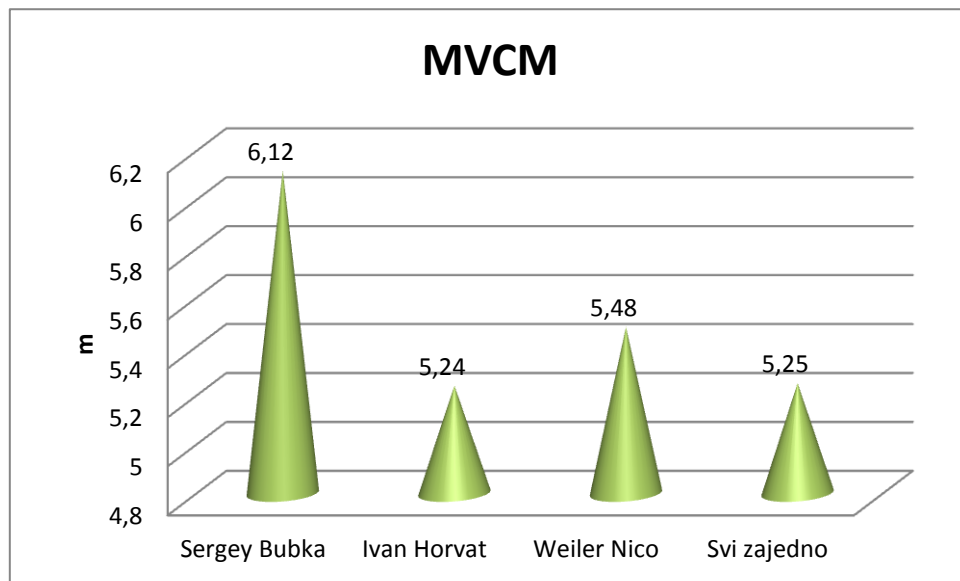


**Dijagram 4. Prikaz visina centra mase tijela na početku odraza**

U ovom istraživanju, visina centra mase tijela u trenutku odraza (TO/H1) kretala se u rasponu od 92 do 111 cm uz prosječnu ostvarenu visinu od 104 cm. Najveću visinu centra mase tijela na početku odraza u iznosu od 1,30 m postigao je Sergey Bubka, u juniorskoj kategoriji, dok je Ivan Horvat postigao visinu od 1,05 m, 2011. godine u Zagrebu prilikom natjecanja u Finalu kupa. Weiler Nico je na Europskom juniorskom natjecanju ostvario visinu od 1,11 m. Visina centra mase tijela u odrazu ovisi ne samo o tehničkoj izvedbi same faze skoka već i o morfološkim karakteristikama skakača. Tako,

prema dostupnim podacima iz istraživanja Baković i Antekolović (2012) Ivan Horvat i Sergey Bubka su bili jednake visine od 183 cm, dok je Weiler Nico bio visok 180 cm. S višom vrijednosti visine centra mase tijela u odrazu omogućit će se dublje „prodiranje“ u motku te veći prijenos ukupne mehaničke energije skakača na motku s manjim energetske gubicima.

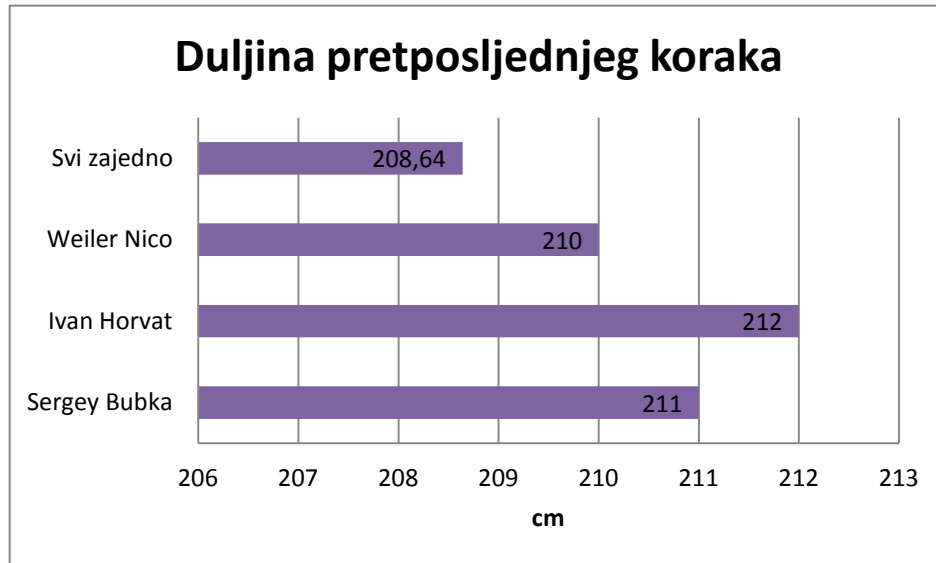
Srednja vrijednost maksimalne postignute visine centra mase skakača iznosila je 5,25 m dok maksimalna vrijednost iste varijable iznosila je 5,56 m, što znači da je centar mase tijela skakača bio 31 cm iznad postavljene letvice.



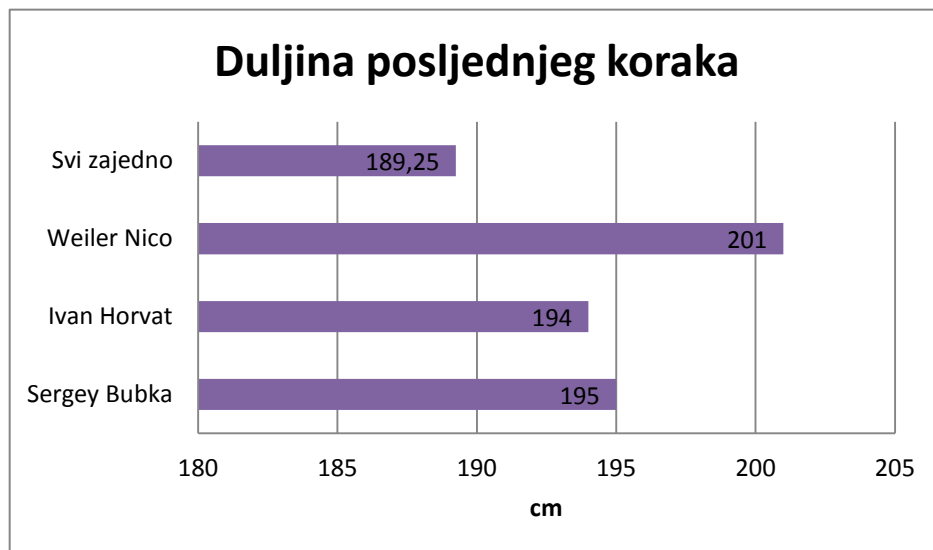
**Dijagram 5. Prikaz maksimalne visine centra mase tijela u skoku s motkom kod elitnih juniorskih skakača s motkom**

Iz dijagrama 5 vidljiv je odnos maksimalnih postignutih visina centra mase tijela kod elitnih skakača. Ovisno o postignuću visina u prethodnim fazama skoka, ukupna visina skoka kod S. Bubke na Olimpijskim igrama u Seoulu, 1988. je iznosila 6,12 m kod postavljene visine letvice od 5,90 m. Kod hrvatskog rekordera u skoku s motkom, Ivana Horvata, maksimalna ostvarena visina centra mase tijela iznosila je 5,24 m, što znači da

je bio samo 14 cm iznad postavljene letvice. U ovom istraživanju kod vrhunskih juniorskih skakača s motkom ista prosječna visina je iznosila 5,25 m, dok kod pobjednika Europskog juniorskog prvenstva je iznosila 5,48 m što je bilo 23 cm iznad postavljene letvice.



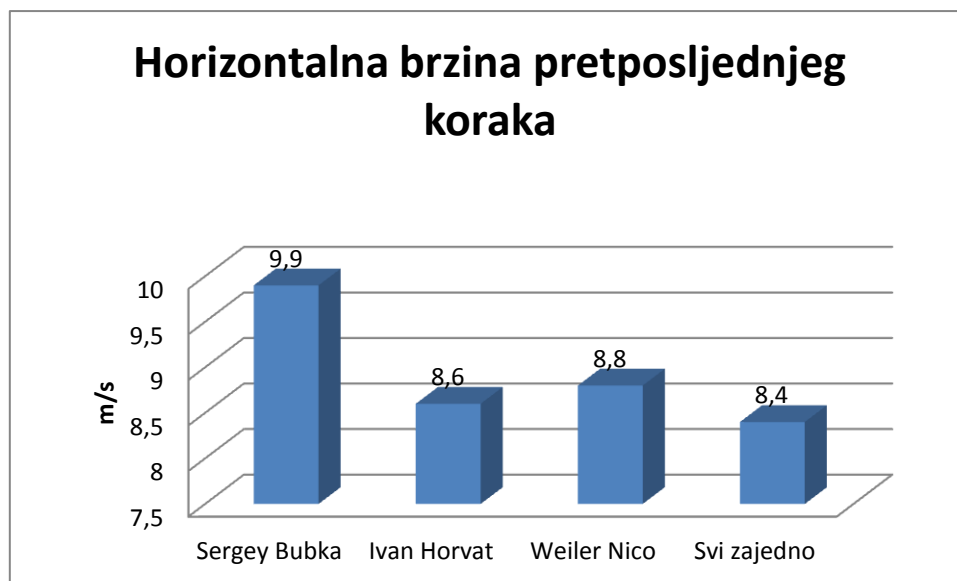
**Dijagram 6. Prikaz duljina pretposljednjeg koraka kod elitnih skakača s motkom**



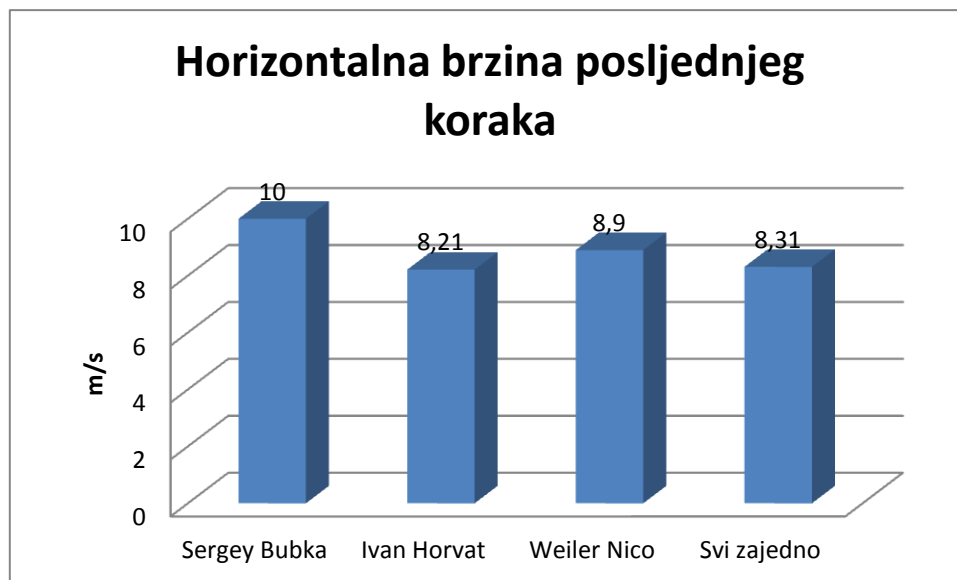
**Dijagram 7. Prikaz duljina posljednjeg koraka kod elitnih skakača s motkom**

Prosječne duljine predzadnjeg i zadnjeg koraka, prikazane u dijagramima 6 i 7, u ovom istraživanju iznosile su 208,64 cm (DPZ) i 189,25 cm (DZK), što ukazuje na činjenicu kako se kod uspješnih skokova događa skraćivanje duljine zadnjeg koraka, u odnosu na rezultate duljine predzadnjeg koraka. Ova spoznaja je u suglasnosti s dosadašnjim istraživanjima u kojima se navodi kako skakači skraćuju svoj zadnji korak kako bi pripremili tijelo za odraz (Nixdorf i Bruggemann, 1990; McGinnis, 2000; Chang, 2009). Prema rezultatima istraživanja Gros i Kunkel (1986), srednja duljina koraka najbolja tri skakača s motkom na IAAF Svjetskom juniorskom prvenstvu 1986. godine iznosila je 2.06 m, što je približno jednako rezultatu ostvarenom u ovom istraživanju, gdje je srednja duljina koraka iznosila 2,08 m. Izraženo u postocima, duljina zadnjeg koraka je za 9,76 % kraća od posljednjeg. Također, McGinnis (1987) izvještava kako skakači koji ne pripadaju elitnom rangu skakača s motkom imaju srednju duljinu koraka od 2,07 m. Prema saznanjima iz dosadašnjih istraživanja moguće je pretpostaviti kako su posljednja dva koraka tehnički najzahtjevniji dio zaleta gdje se događaju najveće promjene u strukturi i brzini istih. U pravilu se posljednji korak skraćuje i postaje brži u odnosu na pretposljednji, što je i djelomično utvrđeno u ovom istraživanju. Kod elitnih skakača s motkom, S.Bubke, I. Horvata i W.Nica se upravo i dogodilo to karakteristično skraćivanje posljednjeg koraka. Duljine pretposljednje koraka iznosile su redom za sva tri skakača 211 cm, 212 cm i 210 cm, dok su duljine posljednjeg koraka iznosile redom: 195 cm, 194 cm i 201 cm.

U ovom istraživanju varijable brzina predzadnjeg koraka i brzina zadnjeg koraka dobile su se mjerenjem prosječne horizontalne brzine centra mase tijela u vremenu koje je potrebno za izvršavanje pretposljednje odnosno zadnjeg koraka.



Dijagram 8. Prikaz brzina preposljednjeg koraka kod elitnih skakača s motkom



Dijagram 9. Prikaz brzina posljednjeg koraka kod elitnih skakača s motkom

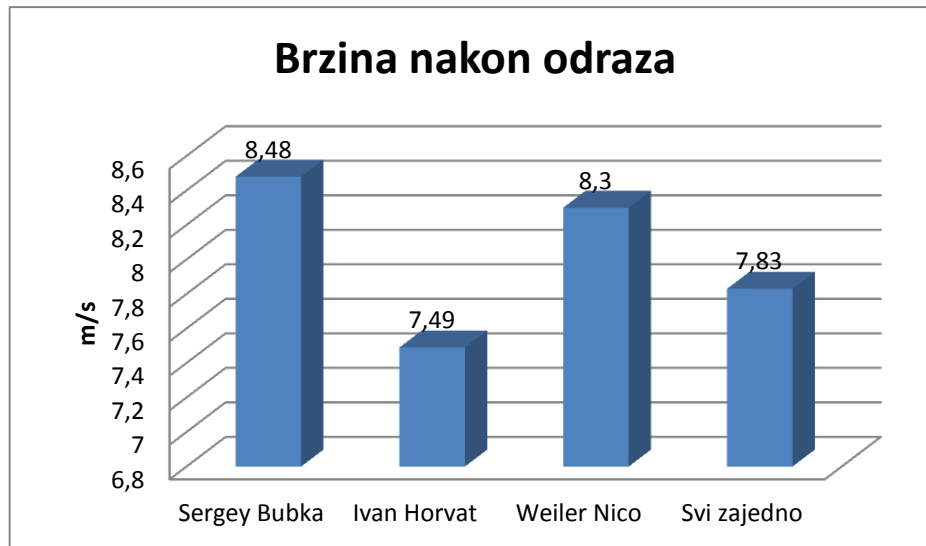
Horizontalna brzina centra mase tijela u predzadnjem koraku kretala se u rasponu od 7,9 m/s do 8,8 m/s, dok je brzina zadnjeg koraka iznosila od 7,9 m/s do 8,9 m/s. Ove izmjerene brzine su osjetno manje od onih izmjerenih na IAAF Svjetskom juniorskom

## Doktorska disertacija

---

prvenstvu 1986. godine, gdje su zabilježene prosječne brzine od 9,3 m/s do 9,8 m/s. (prema Osima, 2001; Gros i Kunkel, 1987) ali se podudaraju s rezultatima istraživanja Hsu (1998) gdje su mjerene prosječne brzine juniora (8,019 m/s) koristeći tradicionalni pristup zaleta za prosječnu visinu od 4,5 m i 8,586 m/s, koristeći rusku „školu“ zaleta.

Prema podacima prikazanima u dijagramima 8. i 9. kod elitnih skakača s motkom, može se primjetiti tendencija ubrzanja u zadnjem koraku prije odraza. Tako prema podacima istraživanja Baković i Antekolović (2012) vrijednosti postignutih brzina kod S. Bubke 1988. iznose u pretposljednem koraku 9,9 m/s i 10 m/s u posljednjem koraku, dok se kod I. Horvata primjećuje smanjenje brzine u posljednjem koraku (sa 8,6 m/s na 8,21 m/s), kao i kod prosječnih brzina skakača Europskog juniorskog prvenstva sa prosječnom vrijednošću brzine predzadnjeg koraka 8,4 m/s na 8,31 m/s u zadnjem koraku, što nije slučaj kod pobjednika Europskog juniorskog prvenstva, jer ubrzava svoj zadnji korak sa 8,8 m/s na 8,9 m/s, što navodi na pretpostavku kako je Weiler Nico imao dobru tehniku izvedbe finalnog skoka s motkom.



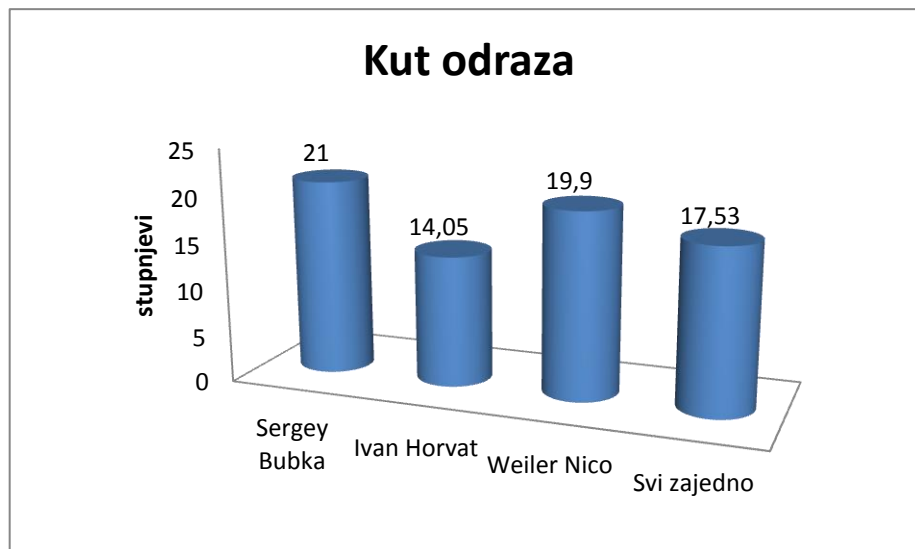
**Dijagram 10. Prikaz odnosa brzina centra mase tijela nakon odraza**

U dijagramu 10 prikazani su odnosi brzina centra mase tijela nakon odraza gdje je zapažena najveća vrijednost brzine od 8,48 m/s kod Sergeya Bubke, dok je kod pobjednika Europskog juniorskog prvenstva Weilera Nica iznosila 8,3 m/s. Prosječna brzina centra mase tijela nakon odraza kod svih entiteta zajedno  $N=71$  iznosila je 7,83 m/s, dok najmanju ostvarenu brzinu imao je Ivan Horvat, 7,49 m/s. Za vrijeme odraza horizontalna brzina pada od prosječne vrijednosti od 8,31 m/s na 7,27 m/s, zbog transformacije horizontalnog u vertikalni moment, što se odražava na vertikalnu brzinu nakon odraza od 2,9 m/s, a što je u skladu s dosadašnjim spoznajama u istraživanju Adamcewski i Perlt (1997).

Mnogi znanstvenici su u svojim istraživanjima koristili različite kinematičke parametre u svrhu utvrđivanja novih znanstvenih spoznaja, ovisno o problemu istraživanja i modelu tehnike koji su proučavali.

Osim navedenih parametara na uspješnost skoka s motkom utječu i druge varijable kao što su kut trupa, kut motke, kut odraza, visina centra mase tijela u trenutku odraza, horizontalna udaljenost između prstiju lijeve noge i stražnjeg dijela kutije itd. Prosječne vrijednosti izmjerenog kuta trupa u ovom istraživanju su iznosile 10 stupnjeva, što je u skladu s rezultatima brojnih istraživanja (Bassament i sur., 2007). Horizontalna

udaljenost između prstiju lijeve noge i stražnjeg dijela kutije kod odraza mjeri se da bi se dobio dojam položaja subjekta na zaletištu, u odnosu na kutiju. Razlike u parametrima među entitetima mogu se objasniti različitim visinama hvata, što je hvat viši, skakač će biti udaljeniji od kutije (Morris, 2009). U nekim slučajevima skakač povećava visinu hvata pomicanjem gornje ruke prema gore uz motku za visinu „jednog hvata“, od skoka do skoka. U ovom istraživanju ostvarena srednja vrijednost iznosila je 351 cm što je približno jednako rezultatima istraživanja Baković i Antekolović (2012); te Gross i Kinkel (1987). Za uspjeh u skoku s motkom od velike je važnosti i kut kod polaganja motke u kutiju. Na kut motke utječe visina hvata i anatomska struktura subjekta. Uspješnost izvođenja skoka s motkom je pod utjecajem atletičareve visine hvata, tvrdoće motke i brzine zaleta. Visina hvata smanjuje kut motke u trenutku zabadanja motke u kutiju, a povećava se kutna rotacija motke kako bi dosegla vertikalnu, prema: Tidow (1994), zbog čega je maksimalna brzina zaleta neophodna. Za vrijeme podizanja skakača u odraz, dobar skok je okarakteriziran porastom kuta motke od polaganja do odraza. Prosječan kut motke iznosio je 32 stupnja uz maksimalnu ostvarenu vrijednost od 34 stupnja, što se podudara s rezultatima istraživanja Chen i Liu (2008).



**Dijagram 11.** Prikaz odnosa kuta odraza kod elitnih skakača s motkom



## Doktorska disertacija

---

U dijagramu 11 prikazane su vrijednosti kuta odraza kod S. Bubke ostvarena na Olimpijskim igrama 1988. godine pri preskoku visine od 5,90 m, koji je iznosio 21 stupanj, zatim je kod W. Nica pri preskoku visine od 5,25 m na Europskom juniorskom prvenstvu iznosio 19,9 stupnjeva te kod I. Horvata na Finalu kupa Hrvatske s preskočenom visinom od 5,10 m iznosio je 14,05 stupnjeva. Pozicija stopala ispod kukova pomaže određivanju kuta odraza. U skoku u dalj i u skoku s motkom položaj stopala je malo ispred kukova (Jacoby, 2009). U ovom istraživanju utvrđena je prosječna vrijednost kuta odraza za sve entitete zajedno  $N=71$  od 17,53 stupanj, dok je njegova minimalna vrijednost iznosila 16 stupnjeva, a maksimalna 21 stupanj. Ostvarena prosječna vrijednost kuta odraza nalazi se u okvirima podataka drugih istraživača kao kod McGinnis-a (2006), gdje su kutevi odraza za prvih pet finalista u skoku s motkom 1988. godine na Olimpijskim igrama u Seoul-u iznosili 17,9 - 19,8 stupnjeva. Na kut odraza uvelike utječe i visina samih skakača, kao i visina hvata. Dakle što je viši skakač, imati će veći kut odraza. Linthorne (2000) je izračunao optimalni kut odraza s krutom motkom od 30 stupnjeva, dok s fleksibilnom iznosi 18 stupnjeva. Što je viši hvat, skakač će imati manji odrazni kut. Ovo znači da će atletičar koji drži motku na višem hvatu sve više morati kompenzirati bržim trčanjem, držanjem centra mase više, i proizvodnjom više sile pri polaganju motke u kutiju.

Generalno, prosječne vrijednosti analiziranih 2D kinematičkih varijabli se nalaze u okvirima dosadašnjih znanstvenih spoznaja o disciplini skoka s motkom te će se u narednim analizama dobiti detaljnije informacije o mogućoj međusobnoj povezanosti i utjecaju istih na maksimalnu visinu centra mase tijela.

## 7.2. Povezanost 2D kinematičkih parametara s efikasnošću skoka s motkom

Tablica 7. Rezultati korelacijske analize kinematičkih varijabli u skoku s motkom

Varijable	DPZ	BZK	DZK	BPK	BO	HUC MPO	KNT	NTM P	KNM K	KO	UGH PN	VC MO
DPZ	1											
BZK	-0,22	1										
DZK	0,53	0,01	1									
BPK	-0,27	0,92	-0,02	1								
BO	0,21	0,82	-0,03	0,83	1							
HUCMPO	0,06	0,46	-0,14	0,39	0,49	1						
KNT	-0,19	0,25	-0,12	0,27	-0,19	-0,1	1					
NTMP	-0,02	0,16	-0,06	0,27	-0,18	-0,23	0,14	1				
KNMK	0,27	-0,19	0,15	-0,12	0,21	0,17	-0,23	-0,05	1			
KO	0,33	0,8	0,04	0,77	0,8	0,36	-0,22	-0,15	0,28	1		
UGHPN	0,21	0,76	-0,02	0,77	0,83	0,43	-0,29	-0,25	0,33	0,73	1	
VCMO	0,21	0,72	-0,11	0,75	0,77	0,4	-0,22	-0,33	0,23	0,72	0,88	1
MUCMK	0,17	-0,11	0,20	-0,08	0,34	0,19	-0,2	0,03	0,16	0,22	0,11	-0,01
VMUCMK	0,02	0,15	-0,01	0,17	-0,35	-0,3	0,05	0,11	-0,10	-0,15	-0,25	-0,02
MSM	0,11	0,76	-0,12	0,74	0,75	0,57	-0,09	-0,28	0,07	0,74	0,71	0,68
VMSM	0,05	0,14	-0,16	0,08	-0,10	-0,06	0,02	0,11	0,08	-0,23	-0,12	-0,06
RTK	-0,15	0,20	-0,40	0,16	-0,28	0,01	-0,04	0,02	-0,05	-0,23	-0,19	0,03
MVBCM	-0,21	-0,10	-0,29	-0,12	-0,01	0,14	0,00	-0,04	0,01	-0,01	0,02	0,16
VNGR	0,10	0,07	0,05	0,00	-0,02	0,07	-0,05	-0,12	0,01	-0,23	-0,12	-0,02
UCMTM	0,05	-0,01	0,05	0,04	0,07	0,07	-0,12	0,21	-0,12	0,03	0,15	0,11
VH	-0,19	-0,25	-0,31	-0,25	0,34	0,65	-0,07	-0,12	-0,03	0,06	0,28	0,23
NTNM	-0,08	0,44	-0,08	0,46	-0,57	-0,47	-0,02	0,34	-0,25	-0,46	-0,55	-0,47
VPMCM	-0,06	-0,16	-0,15	-0,14	0,18	0,38	0,1	-0,19	-0,08	-0,01	0,08	0,24
KTN	-0,33	0,25	-0,43	0,25	-0,26	0,02	0,05	0,12	-0,21	-0,35	-0,08	-0,07
MVCM	0,22	0,86	0,03	0,86	0,91	0,46	-0,18	-0,26	0,2	0,85	0,84	0,82

\* razina značajnosti (p<0,05)

Varijable	MUC MK	VMU CMK	MSM	VMS M	RTK	MVB CM	VNG R	UCM TM	VH	NTN M	VPM CM	KT N	M V C M
MUCMK	1												
VMUCMK	-0,31	1											
MSM	-0,07	-0,27	1										
VMSM	0,14	0,39	-0,32	1									
RTK	-0,22	0,58	-0,21	0,53	1								
MVBCM	-0,07	0,33	0,05	0,3	0,43	1							
VNGR	0,1	0,11	-0,2	0,52	0,41	0,36	1						
UCMTM	-0,11	0,04	0,11	-0,19	-0,08	-0,31	-0,36	1					
VH	0,07	-0,4	0,43	0,02	0,02	0,29	0,23	-0,01	1				
NTNM	-0,08	0,44	-0,62	0,18	0,31	0,07	-0,02	0,19	-0,35	1			
VPMCM	-0,04	0,06	0,25	0,33	0,38	0,46	0,64	-0,25	0,62	-0,22	1		
KTN	-0,43	0,15	-0,06	-0,06	0,33	0,01	-0,25	0,5	0,11	0,37	-0,06	1	
MVCM	0,19	-0,23	0,8	-0,2	-0,28	0,1	-0,09	0,05	0,31	0,64	0,17	-0,3	1

\* razina značajnosti (p<0,05)

U tablici 7. prikazani su rezultati povezanosti primijenjenih kinematičkih varijabli i rezultata u skoku s motkom.

Najviša korelacija ostvarena je između varijabli maksimalne visine centra mase tijela i brzine centra mase tijela nakon odraza ( $r = 0,91$ ). Također visoka povezanost utvrđena

je između varijable MVCM (maksimalna visina centra mase tijela) i sljedećih kinematičkih parametara: BZK (brzina zadnjeg koraka), BPK (brzina predzadnjeg koraka), KO (kut odraza) i UGHPN (udaljenost gornje ruke od tla u momentu odraza) u rasponu  $r = 0,82 - 0,86$  što se podudara s dosadašnjim istraživanjima, Adamczewski i Perlt, 1997, gdje je koeficijenti korelacije između pristupnih brzina trčanja i maksimalne visine centra mase tijela bio značajan kod muškaraca ( $r = 0,69$ ) ali i kod žena ( $r = 0,77$ ) (McGinnis, 2004). Visoka povezanost ( $r = 0,64$ ) s visinom skoka utvrđena je i za varijablu nagib trupa u momentu napuštanja motke (NTN). Bassament (2007) je također promatrao skup kinematičkih varijabli kao što su kutevi zgloba kuka, koljena, skočnog zgloba i trupa te je utvrdio kako su značajni korelacijski koeficijenti između visine skoka i brzine centra mase tijela ( $r = 0,89$ ) te brzine odraza ( $r = 0,83$ ).

Varijabla HUCMPO (horizontalna udaljenost između prstiju odrazne noge i krajnje točke kutije u trenutku postavljanja noge prije momenta odraza) statistički značajno korelira s visinom skoka ( $r = 0,45$ ), dok su varijable NTMP (nagib trupa pri postavljanju motke u kutiju), VH (visina hvata) i RTK (rotacija tijela prema nazad od trenutka postavljanja motke u kutiju) najmanje povezane s maksimalnom postignutom visinom centra mase tijela.

Analizirajući korelativne odnose drugih varijabli, uočljiva je visoka povezanost naročito između varijabli brzine zadnja dva koraka i brzine centra mase tijela nakon odraza ( $r = 0,82$  i  $r = 0,83$ ). Najveća povezanost ( $r = 0,92$ ) u cijeloj matrici ostvarena je između brzine predzadnjeg koraka (BPK) i brzine zadnjeg koraka (BZK).

Također, uočljiva je visoka korelacija između varijabli kut odraza (KO) i brzine zadnjeg koraka ( $r = 0,80$ ) i varijable brzina predzadnjeg koraka ( $r = 0,77$ ). To navodi na pretpostavku da su skakači s većom dolaznom brzinom na mjesto odraza i većom brzinom odražavanja lakše ostvarivali viši kut uzleta centra mase tijela. Jacoby (2009) smatra da što je veća brzina kod odraza, to će kukovi biti viši za vrijeme krivulje putanje skoka. Ako se skakač pri brzini od 6 m/s odrazi od tla pod kutem od 20

stupnjeva, njegov centar mase tijela podići će se 7 inča. Ako isti trkač poveća brzinu do 10 m/s i odrazi se od tla pod istim kutem, njegovi kukovi će se podići 22 inča.

Varijable brzine zadnja dva koraka zaleta visoko koreliraju s varijablama maksimalno savijanje motke (MSM), zatim udaljenost gornje ruke od tla u trenutku odraza (UGHPN) te varijablom visina centra mase tijela u trenutku odraza. Visoke korelacije navedenih varijabli navode na zaključak kako će viša nadolazeća brzina na mjesto odraza rezultirati i većim savijanjem motke, što je i logično. Smanjenje brzine trčanja pri kraju zaleta rezultira i spuštanjem centra mase tijela skakača u odraznoj poziciji, a s tim se i smanjuje maksimalna udaljenost od tla do hvata gornje ruke prije odraza. Stoga je važno ne izgubiti stečenu brzinu u zadnjim dijelovima zaleta i time omogućiti dolazak u optimalan-visoki položaj za odraz. Frere i sur. (2009) u svom istraživanju navode kako pravilno nošenje i pravovremeno spuštanje motke u kutiju uz zadržavanje postignute brzine u posljednja dva koraka imaju direktan učinak na maksimalno savijanje motke, a time i uspješnost skoka s motkom.

Varijabla brzina centra mase tijela nakon odraza najviše je povezana s maksimalnim savijanjem motke (MSM;  $r = 0,75$ ) i parametrom visina centra mase tijela u momentu odraza (VCM;  $r = 0,77$ ). Veća horizontalna brzina na kraju zaleta omogućit će povoljniji položaj tijela (viša pozicioniranost centra mase tijela), brže odražavanje, a s tim i veće savijanje motke.

Horizontalna udaljenost odrazne noge i krajnje točke kutije visoko korelira s varijablom visina hvata ( $r = 0,65$ ), maksimalnim savijanjem motke ( $r = 0,57$ ), maksimalnom visinom centra mase tijela u trenutku odraza ( $r = 0,40$ ), te visinom dohvata na motci u momentu odraza ( $r = 0,43$ ). Veća udaljenost odraznog mjesta od kutije povoljno utječe na savijanje motke. Viši hvat na motci zahtijeva i veću udaljenost odraznog mjesta od kutije. Visina hvata na motci zavisi i od morfoloških karakteristika skakača s motkom što u ovom istraživanju nije bio predmet proučavanja.

Varijabla kut odraza centra mase tijela ostvario je najvišu povezanost s varijablom brzina zadnjeg koraka ( $r = 0,80$ ), brzinom centra mase tijela nakon odraza ( $r = 0,80$ ) te

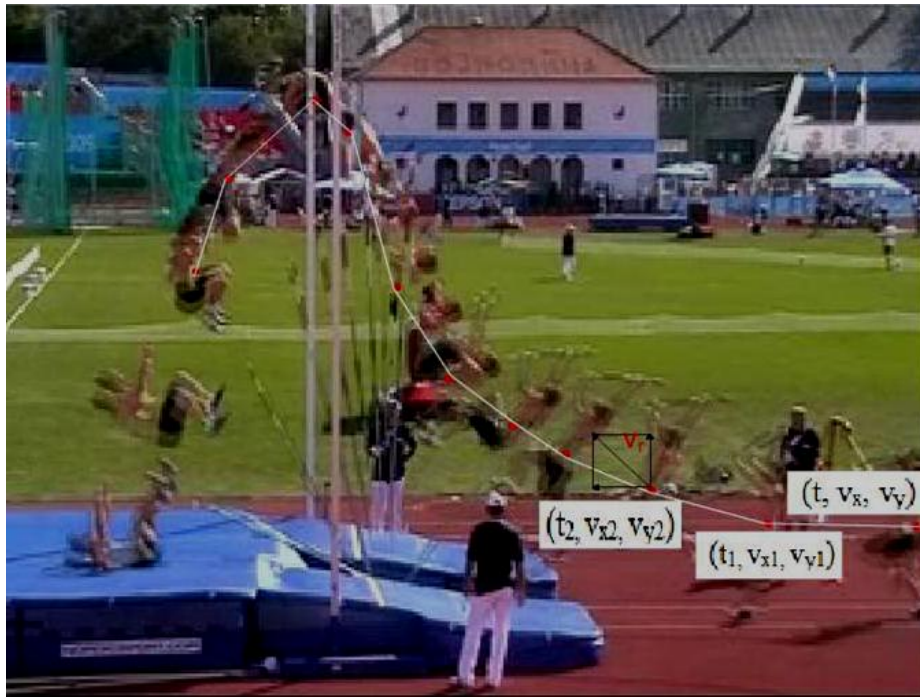
## Doktorska disertacija

---

brzinom predzadnjeg koraka ( $r = 0,77$ ). Veća brzina trčanja u zadnja dva koraka kao i veća brzina nakon odraza povoljno utječu na viši kut uzleta centra mase tijela. Također, visoka povezanost kuta odraza ostvarena je i s varijablama maksimalno savijanje motke ( $r = 0,74$ ), horizontalna udaljenost odraznog stopala od kutije ( $r = 0,73$ ) te visinom centra mase tijela u trenutku odraza. Slične rezultate dobio je i Linthorne (2000).

Varijabla maksimalno savijanje motke (MSM) visoko kolerira s brzinom zadnjeg koraka ( $r = 0,74$ ) i kutom odraza ( $r = 0,74$ ). Nešto niža povezanost ostvarena je s varijablom udaljenost mjesta odraza od kutije ( $r = 0,57$ ) i s varijablom visina centra mase tijela u trenutku odraza ( $r = 0,68$ ).

### 7.3. Odnos kinetičke i potencijalne energije u skoku s motkom

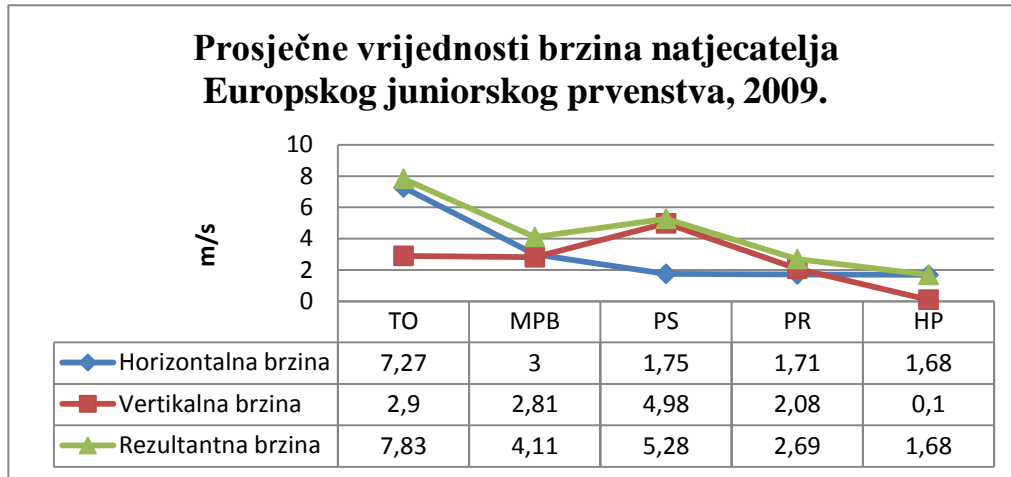


**Slika 16. Smjer djelovanja rezultantne brzine( $v_r$ ) centra mase tijela skakača u svim fazama skoka s motkom**

Prema vidljivome iz slike 16, smjer i iznos kretanja ukupne rezultantne brzine centra mase tijela skakača, koja uzrokuje kretanje tijela prema naprijed i podizanje tijela put gore, jednaka je aritmetičkoj sredini vektorskog zbroja, horizontalnih i vertikalnih brzina ( $V_{x_n} - V_{x_{n-1}}, V_{y_n} - V_{y_{n-1}}$ ) centra mase skakača, u svakoj fazi skoka zasebno, u nekom vremenu  $t$  ( $t_n - t_{n-1}$ ). Podaci o horizontalnim i vertikalnim brzinama su se dobili pomoću Apas 2D software-a, prema sljedećim formulama:

$$v_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{s_{x_n} - s_{x_{n-1}}}{t_n - t_{n-1}}}{n}, \quad v_y = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{s_{y_n} - s_{y_{n-1}}}{t_n - t_{n-1}}}{n};$$

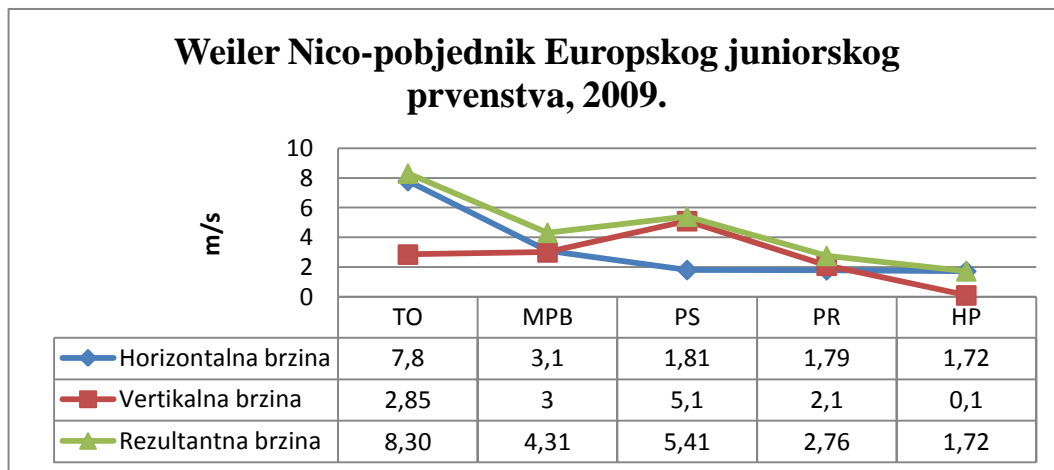
iz čega slijede rezultati prosječnih vrijednosti rezultatnih brzina svih skakača zajedno, u pojedinim fazama skoka s motkom snimljenih na Europskom juniorskom prvenstvu, 2009.



**Dijagram 12. Prikaz odnosa prosječnih brzina natjecatelja Europskog juniorskog prvenstva u fazama odraza, maksimalnog savijanja motke, opružanja motke, napuštanja motke i podizanja centra mase tijela skakača na maksimalnu visinu prilikom prelaska preko letvice.**

Za vrijeme pretvorbe brzine trčanja u odraz, na atletičara djeluju dvije sile: horizontalna i vertikalna brzina. Ova pretvorba se mora odvijati sa što manje usporavanja ili promjena brzine. Atletičar mora pripremiti svoje tijelo na prijelaz od maksimalne horizontalne brzine u primjenu sile u skoku, što znači da se treba postići što više brzine u posljednjim koracima zaleta. Prosječne vrijednosti rezultatnih brzina Europskih juniora u ovom istraživanju iznosile su redom u fazi nakon odraza 7,83 m/s, kod maksimalnog savijanje motke 4,11 m/s, zatim kod opružanja motke 4,98 m/s, potom kod napuštanja motke 2,69 m/s i pri dostizanju maksimalne visine centra tijela 1,68 m/s. Dijagram 12 predstavlja brzine centra mase tijela u navedenim fazama skoka s motkom. Horizontalna brzina dostiže maksimum u posljednjem koraku od 8,9 m/s. Na kraju odraza horizontalna brzina pada do 7,27 m/s, zbog transformacije horizontalnog u vertikalni moment, što se odražava na vertikalnu brzinu odraza od 2,9 m/s. Centar mase tijela je najniži u potpornoj fazi pretposljednog koraka. Zbog toga se

centar mase tijela nastavlja podizati, najprimjetnije za vrijeme odraza. Nedugo nakon maksimalnog savijanja motke, vertikalna brzina prelazi horizontalnu u iznosu od 4,95 m/s. Do trenutka kada se motka potpuno opruži, horizontalna brzina dostiže gotovo konstantnu brzinu od 1,71 m/s. Budući da je oko 1 m/s dovoljno za prelazak preko letvice, ova vrijednost ukazuje na neefikasnu utrošnju energije. Kako se motka opruža, skakačeva vertikalna brzina se povećava sa 2,81 m/s do 4,98 m/s. Do trenutka kada skakač napusti motku, skakač dakle nastavlja primjenjivati silu na motku i nakon njenog opružanja. Ovi rezultati u suglasnosti su s empirijskim dokazima višegodišnjih istraživanja i mogu se s jedne strane objasniti sposobnostima izvedbe na koje utječe dob, a s druge strane razlikama među dobnim skupinama u smislu razvoja tehnike kao i skakanja te specifične snage trupa i ruku.



**Dijagram 13. Prikaz odnosa brzina pobjednika Europskog juniorskog prvenstva, Weiler Nica u fazama odraza, maksimalnog savijanja motke, opružanja motke, napuštanja motke i podizanja centra mase tijela skakača na maksimalnu visinu prilikom prelaska preko letvice**

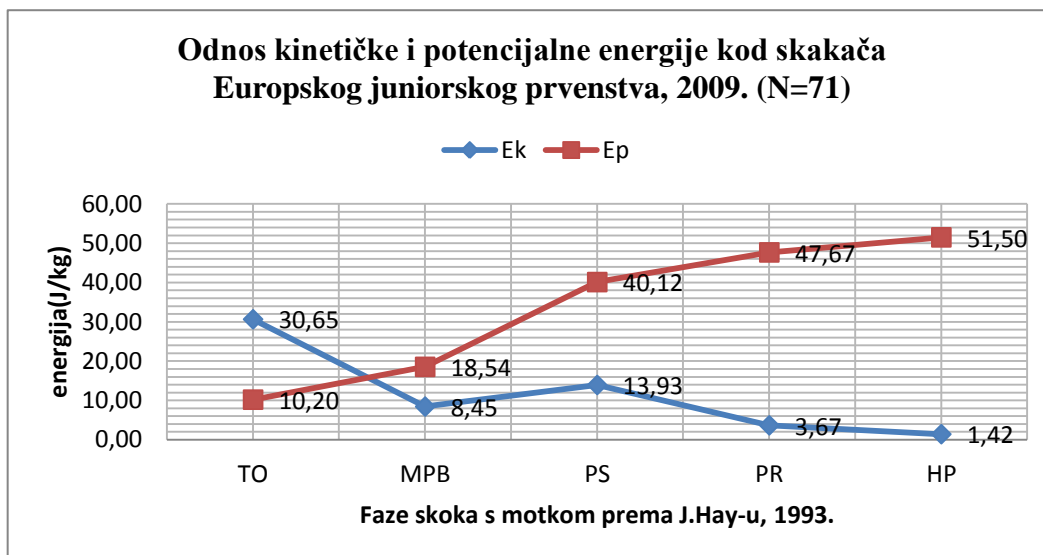
Prikazani rezultati rezultantnih brzina kod pobjednika Europskog juniorskog prvenstva, 2009 ukazuju kako navedeni rezultati ne odstupaju drastično od postignutih brzina kod većine natjecatelja. Rezultantna brzina centra mase tijela nakon odraza iznosila je 8,30 m/s, za vrijeme maksimalnog savijanja motke 4,31 m/s, zatim kod opružanja motke 5,41 m/s te za vrijeme napuštanja motke 2,76 m/s. U trenutku



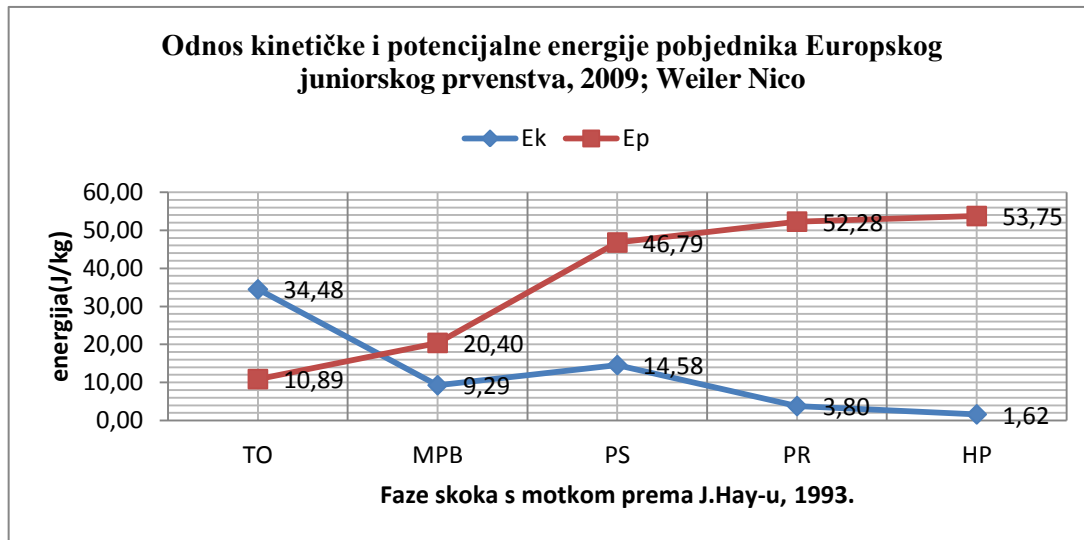
dostizanja maksimalne visine centra mase tijela skakača rezultatna brzina iznosila je 1,72 m/s.

Korištenjem sljedećih formula izračunali su se vrijednosti kinetičkih i potencijalnih energija skakača za vrijeme skoka:

$$E_k = \frac{m v^2}{2} \quad E_p = m g h$$



**Dijagram 14. Prikaz odnosa kinetičke i potencijalne energije kod skakača  
Europskog juniorskog prvenstva, 2009.**



**Dijagram 15. Prikaz odnosa kinetičke i potencijalne energije kod pobjednika Europskog juniorskog prvenstva, Weiler Nica, 2009.**

Kako je vidljivo iz dijagrama 12 i 13, u trenutku odraza skakači imaju veliku kinetičku energiju ( $E_k$ ), što je ekvivalent prosječnim brzinama od 7,2 m/s do 8,3 m/s i relativno malu količinu potencijalne energije ( $E_p$ ), što je ekvivalent visini centra mase tijela od 0,92 m do 1,11 m.

S biomehaničkog gledišta problematika kretanja se očituje u pretvorbi brzine zaleta u visinu skoka. Ova transformacija se temelji na dva sistema od kojih je prvi sam atletičar-aktivni, a drugi motka-pasivni. Ova pretvorba se može podijeliti u 2 faze: U 1. fazi atletičar gubi mehaničku energiju i predaje ju motci, zatim energija naprezanja motke preuzima tu energiju do točke maksimalnog savijanja motke. U 2. fazi za vrijeme dok centar mase tijela atletičara dosegne najvišu točku dolazi do prelaska energije s motke natrag na atletičara. U toj fazi atletičar ima mogućnosti kroz aktivan rad na motci dodati dodatnu energiju mišića. Ovdje se mehanička energija skakača sastoji se od  $E_p + E_k$ .

U dijagramima 14 i 15 prikazane su izmjene tijekom pozicija i energija pokreta centara mase tijela svih entiteta zajedno, i samog pobjednika Europskog juniorskog prvenstva, Weiler Nica, 2009. Redukcija kinetičke energije svih entiteta zajedno kao i kod Weiler

## Doktorska disertacija

---

Nica moguće je uočiti već pri prvom pogledu na dijagrame, kao i lagano povišenje potencijalne energije s negativnom energetsom bilancom sve do maksimalne savitljivosti motke gdje je  $E_p$  za  $N = 71$  iznosila 18,54 J/kg, a kod Weiler Nica 20,404 J/kg i  $E_k$  je za  $N = 71$  iznosila 8,45 J/kg, a kod Weiler Nica 9,29 J/kg. Također, uočljiva je i pozitivna energetska bilanca u drugoj fazi skoka sve do maksimalne  $E_p$  u trenutku podizanja centra mase tijela u najvišu točku leta gdje je iznosila za sve entitete zajedno  $E_p = 51,5$  J/kg, a za Weiler Nica 53,5 J/kg kod istovremenog smanjivanja  $E_k$  (za sve entitete zajedno  $E_k = 1,42$  J/kg i za Weiler Nica  $E_k = 1,62$  J/kg). Ova energetska predodžba problematike pokreta dovodi do jednostavne interpretacije razvoja postignuća skoka s motkom uvođenjem fiberglas motki. Visina skoka se ekstremno povisila jer je u 2.fazi došlo do drastičnog povećanja prijenosa energije naprezanja motke u obliku potencijalne energije s motke na atletičara. Na taj način se skakač preko motke katalpultira u vis prelazeći postavljenu letvicu. Dobiveni rezultati su u skladu s rezultatima dosadašnjih istraživanja Schade i sur., 2000; Arampatzis i sur., 2004; Schade, Arampatzis, Bruggemann i sur., 2004; Frere i sur, 2010.

## 7.4. Utjecaj 2D kinematičkih parametara na maksimalnu visinu u skoku s motkom

S ukupno 25 prediktorskih varijabli pristupilo se utvrđivanju utjecaja na efektivnu visinu skoka s motkom. Povezanost cjelokupnog sistema kinematičkih varijabli s uspješnošću u skoku s motkom, odnosno koeficijent multiple korelacije iznosio je 0,98 što objašnjava zajednički varijabilitet između prediktorskog sistema i kriterijske varijable sa 97 % (Tablica 8). Statističku značajnost iskazalo je 8 prediktorskih varijabli.

Tablica 8. Prikaz rezultata regresijske analize kinematičkih varijabli s maksimalnom visinom centra mase tijela u skoku s motkom (MVCM)

<b>R=0,98; R<sup>2</sup>=0,97; F(25,45)=68,18; p&lt;0,00; SEE=0,029</b>						
<b>DV= MVCM</b>	<b>B</b>	<b>β<sub>e</sub></b>	<b>B</b>	<b>B<sub>e</sub></b>	<b>t(45)</b>	<b>P</b>
<b>N=71</b>						
<b>Intercept</b>			<b>4,39</b>	<b>0,74</b>	<b>5,92</b>	<b>0,00</b>
<b>DPZ</b>	0,03	0,04	0,00	0,00	0,88	0,39
<b>BZK</b>	<b>0,21</b>	<b>0,09</b>	<b>0,17</b>	<b>0,07</b>	<b>2,44</b>	<b>0,02</b>
<b>DZK</b>	0,02	0,05	0,00	0,00	0,54	0,59
<b>BPK</b>	<b>0,14</b>	<b>0,09</b>	<b>0,03</b>	<b>0,07</b>	<b>0,46</b>	<b>0,03</b>
<b>BO</b>	<b>0,32</b>	<b>0,09</b>	<b>0,15</b>	<b>0,04</b>	<b>3,61</b>	<b>0,00</b>
<b>HUCMPO</b>	-0,05	0,05	0,00	0,00	-1,01	0,32
<b>KNT</b>	0,03	0,03	0,00	0,00	1,01	0,32
<b>NTMP</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,03</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>-2,44</b>	<b>0,02</b>
<b>KNMK</b>	-0,02	0,03	0,00	0,01	-0,59	0,56
<b>KO</b>	0,10	0,07	0,01	0,01	1,43	0,16

*R*-multipla korelacija; *R*<sup>2</sup>-koeficijent determinacije; *F*-vrijednost kojom se testira statistička značajnost multiple korelacije; *DV*-zavisna varijabla; *intercept*- vrijednost zavisne varijable za nulte vrijednosti nezavisnih varijabli; *β* -standardizirani regresijski koeficijent; *β<sub>e</sub>*-standardne pogreške standardiziranih regresijskih koeficijenata; *B*-nstandardizirani regresijski koeficijent; *B<sub>e</sub>*-standardne pogreške nstandardiziranih regresijskih koeficijenata; *t*-vrijednost kojom se testira značajnost regresijskih koeficijenata; *p*-razina značajnosti

**Legenda:** DPZ-duljina predzadnjeg koraka, BZK-brzina zadnjeg koraka; DZK-dužina zadnjeg koraka; BPK- brzina predzadnjeg koraka; BO-brzina centra mase tijela nakon odraza; HUCMPO- Horizontalna udaljenost između prstiju odrazne noge i krajnje točke kutije u trenutku postavljanja noge prije odraza; KNT- kut nagiba trupa; NTMP-nagib trupa u momentu postavljanja motke u kutiju; KNMK- Kut nagiba motke u trenutku postavljanja u kutiju; KO-kut odraza;

## Doktorska disertacija

<b>R=0,98; R<sup>2</sup>=0,97; F(25,45)=68,18; p&lt;0,00; SEE=0,029</b>						
<b>DV= MVCM</b>	<b>B</b>	<b>β<sub>e</sub></b>	<b>B</b>	<b>B<sub>e</sub></b>	<b>t(45)</b>	<b>P</b>
<b>N=71</b>						
<b>UGHPN</b>	-0,02	0,09	0,00	0,00	-0,27	0,79
<b>VCMO</b>	0,06	0,09	0,00	0,00	0,63	0,53
<b>MUCMK</b>	0,02	0,04	0,00	0,00	0,38	0,71
<b>VMUCMK</b>	0,09	0,05	0,39	0,21	1,84	0,07
<b>MSM</b>	-0,10	0,07	-0,01	0,00	-1,35	0,18
<b>VMSM</b>	<b>-0,10</b>	<b>0,04</b>	<b>-0,34</b>	<b>0,15</b>	<b>-2,30</b>	<b>0,03</b>
<b>RTK</b>	0,03	0,05	0,09	0,16	0,58	0,57
<b>MVBCM</b>	<b>0,11</b>	<b>0,04</b>	<b>0,31</b>	<b>0,10</b>	<b>3,02</b>	<b>0,00</b>
<b>VNGR</b>	-0,06	0,05	-0,11	0,09	-1,25	0,22
<b>UCMTM</b>	<b>0,09</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>2,20</b>	<b>0,03</b>
<b>VH</b>	0,10	0,06	0,09	0,05	1,75	0,09
<b>NTNM</b>	<b>-0,23</b>	<b>0,05</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>-4,93</b>	<b>0,00</b>
<b>VPMCM</b>	-0,03	0,06	-0,06	0,14	-0,43	0,67
<b>KTN</b>	-0,02	0,05	0,00	0,00	-0,44	0,66

*R*-multipla korelacija; *R*<sup>2</sup>-koeficijent determinacije; *F*-vrijednost kojom se testira statistička značajnost multiple korelacije; *DV*-zavisna varijabla; *intercept*- vrijednost zavisne varijable za nulte vrijednosti nezavisnih varijabli; β -standardizirani regresijski koeficijent; β<sub>e</sub>-standardne pogreške standardiziranih regresijskih koeficijenata; *B*-nstandardizirani regresijski koeficijent; *B<sub>e</sub>*-standardne pogreške nstandardiziranih regresijskih koeficijenata; *t*-vrijednost kojom se testira značajnost regresijskih koeficijenta; *p*-razina značajnosti

**Legenda:** UGHPN- udaljenost između gornjeg hvata(šake) i prstiju odrazne noge; VCMO-visina centra mase tijela u momentu odraza(H1); MUCMK- minimalna udaljenost između centra mase tijela i ubodne kutije; VMUCMK-vrijeme potrebno za postizanje minimalne udaljenosti između centra mase tijela i ubodne kutije; MSM- maksimalno savijanje motke u %; VMSM-vrijeme za maksimalno savijanje motke; RTK- rotacija tijela prema nazad od trenutka postavljanja motke u kutiju; MVBCM- vrijeme opružanja motke; VNGR-vrijeme napuštanja gornje ruke; UCMTM-udaljenost između centra mase tijela i motke u trenutku napuštanja motke; VH-visina hvata; NTNM-nagib trupa u momentu napuštanja motke; MVCM-maksimalna visina centra mase tijela; VPMCM-vrijeme postizanja maksimalne visine centra mase tijela; KTN- Kut između trupa i nogu u trenutku prelaska preko letvice

Horizontalna brzina u zadnjem (BZK) i predzadnjem koraku (BPK) utječu na konačnu visinu skoka s motkom. Utjecaj je pozitivan i statistički značajan (β = 0,21 i β = 0,14). Sasvim je razumljivo da je za visoke skokove potrebna izuzetno visoka razina brzine kretanja tijela skakača u zadnjim sekvencama zaleta, gdje su glavni zadatci postići maksimalnu brzinu trčanja uz najmanje gubljenje ostvarene brzine za vrijeme postavljanja motke u kutiju. Mnogi istraživači su proučavali odnose i utjecaje brzina

zadnja dva koraka na uspješnost u skoku s motkom (Đačkov, 1950; Feld, 1974; prema Jagodin, 1978; Cao Yaqin i sur., 2001; Hsu, 1998).

Kontinuirano ubrzanje u zadnjim koracima prije odraza pokazatelj je izvrsne zahtjevne vještine ovog dijela skoka s motkom (spuštanje i postavljanje motke u kutiju). Tako kod vrhunskih skakača motkom izmjerene su brzine zadnja dva koraka u iznosu od 9,3 - 9,7 m/s (Gros i Teradus, 1983; Jagodin, 1982; Mansvetov, 1983) a kod Sergeya Bubke (prema: Petrov, 2004) izmjerene su brzine četiri koraka prije odraza (9,5 m/s), dva koraka prije odraza (9,7 m/s), neposredno prije odraza (9,9 m/s). Bitno je napomenuti kako su ovdje navedene brzine rezultatska ostvarenja vrhunskih skakača motkom, stoga će se spomenuti i rezultati juniora koji zasigurno još nemaju karakter vrhunskih skakača motkom. Steben, 1970 i Adamczewski, 1991, navode kako su uz prosječne brzine zadnja dva koraka 8,5 m/s postignute prosječne visine od 4,5 m i 4,76 m.

Varijabla nagib trupa prilikom postavljanja motke u kutiju (NTMP) negativno je povezana s efektivnom visinom skoka s motkom ( $\beta = -0,08$ ). Ovakav negativan utjecaj ove varijable na visinu u skoku s motkom je razumljiv iz razloga što će neadekvatna pozicija tijela (ako je skakač previše daleko ili previše blizu kutiji) prilikom pripreme za odraz izazvati gubitak stečene horizontalne brzine zaletom. Prema dobivenim rezultatima, može se zaključiti kako posebnu pažnju u trenažnom procesu treba posvetiti elementima zaleta u radu s početnicima i to: nošenju motke, izboru hvata, postavljanju motke u kutiju i ritmu zaleta kako bi se osigurali uvjeti za efikasnu tranziciju energije. Tako npr. korištenje previše širokog hvata uzrokuje probleme skakaču uslijed otežane kontrole nošenja motke, u vidu remećenja pozicije tijela, a posebno u fazi pripreme za odraz (fazi postavljanja motke u kutiju), što za posljedicu ima izbacivanje tijela motkaša prema naprijed blokirajući mu tijelo za vrijeme odraza. McGinnis (1997) navodi kako skakač mora ostati što je moguće više s „napregnutom mišićnom“ kako bi osigurao efikasni prijenos energije tijela na motku. Također utvrđuje kako vrhunski motkaši imaju više uspravan trup pri postavljanju motke u kutiju i odrazu nego li skakači nižeg ranga. Schade, Arampatzis i Bruggemann (2005) u svojoj analizi odnosa skakač-motka, utvrđuju kako su parametri skakačeve mehaničke energije tj. inicijalne i finalne energije

i energije motke (maksimalna energija motke uzrokovana silom pritiska i momenta savijanja) bili visoko reproducirani. Isti autori navode kako se ovaj koncept izmjene energije u skoku s motkom može koristiti u svrhu analiza utjecaja intervencija tijekom vježbanja, promjena u obrascu kretanja kao i na skakačevu izvedbu tijekom različitih faza skoka.

Na osnovu rezultata iz tablice 8, uočljivo je da varijabla VMSM – vrijeme maksimalnog savijanja motke, ima značajan pozitivan utjecaj na ostvarenu visinu u skoku s motkom ( $\beta = -0,10$ ). Snažnijim i bržim odraznim impulsom motkaš bi trebao maksimizirati prodiranje tijela prema naprijed s ciljem pretvaranja kinetičke u potencijalnu energiju skraćujući stvarnu dužinu motke. Allmann (1983) navodi kako u trenutku maksimalnog savijanja, dužina tetive iznosi oko 70 % dužine motke. Slične vrijednosti ostvarene su i u ovom istraživanju. Brže savijanje motke odnosno njezino maksimalno skraćenje pohranit će u motku više potencijalne energije koju će s početkom opružanja motkaš koristiti kako bi ju zajedno s vlastitim naporom utilizirao, s ciljem postizanja što je moguće više visine centra mase tijela. Motkaši koji koriste „čvršće“ motke, viši hvat na motci i imaju jači odrazni impuls ujedno će obavljati brže savijanje motke čime će biti u prednosti za ostvarivanje viših rezultata u skoku s motkom. Treba napomenuti da brže savijanje i dublje prodiranje tijela može imati i negativne posljedice, a to je mogućnost da se tijelo skakača nađe duboko ispred tetive motke, čime se smanjuje utjecaj na motku.

Vrijeme potrebno za opružanja motke (MVBCM) varijabla je koja također ima statistički pozitivan utjecaj za postizanje maksimalne visine skoka s motkom ( $\beta = 0,11$ ). U trenutku maksimalnog savijanja motke koje je nastalo pod utjecajem centrifugalnih sila i sila inercije dolazi do izjednačavanja sila savijanja i elastičnih sila te se motka započinje opružati. Shodno dobivenim rezultatima, skakači koji daljnje pokrete obavljaju pravovremeno s opružanjem motke iskoristit će dobro pohranjenu energiju u motci, a time i stvoriti pretpostavku za kretanje tijela prema gore u vis i dalje uspješno završiti skok. Dakle, prilikom privlačenja i okreta tijela motkaš treba osjećati opružanje motke te angažirati pravovremeno ruke kako ne bi došlo do ponovnog savijanja motke.

U ovom istraživanju vrijeme opružanja motke (od trenutka kada je motka dostigla maksimalno skraćivanje, odnosno najviši stupanj savijanja), traje osjetno duže od vremena koje je potrebno da se motka maksimalno savije. Temeljem ovih informacija, može se utvrditi važnost komponente ritmičkog i usklađenog djelovanja skakača u kritičnim i složenim fazama skoka s motkom (kada se tijelo skakača nalazi u okomitoj poziciji glavom prema dolje). Svako preuranjeno ili zakašnjelo djelovanje skakača imat će za posljedicu nepotrebno gubljenje pohranjene energije motke a s tim u konačnici i gubljenje na visini skoka. Katsikas i sur. (2008) u svom istraživanju upravo daju akcent na kritični problem optimalne sinkronizacije klatna kao i utjecaj istih na razinu „prodiranja“ u motku.

Pozitivan utjecaj ( $\beta = 0,09$ ) na maksimalnu visinu u skoku s motkom ima i varijabla UCMTM (udaljenost centra mase tijela od motke u trenutku napuštanja motke). Utjecaj ove varijable je mali ali ipak značajan. Premda se na prvi pogled ovaj utjecaj čini nelogičnim, u ovom slučaju moguće je govoriti o boljoj realizaciji završne faze skoka kod onih skakača koji su imali udaljeniji centar mase tijela od motke prilikom odguravanja i napuštanja motke. Skok s motkom nije sasvim vertikalno gibanje tijela, već sadrži i dijagonalnu komponentu koja je međutim ekstremno strmo usmjerena u vis. U ovom istraživanju, letvica je u većini slučajeva kod uspješnijih skakača bila na udaljenosti od 50 – 80 cm od momenta vertikale. Takva udaljenost letvice od vertikale prvenstveno osigurava sigurniji prelazak i doskok te svakako povećava samopouzdanje samog skakača s motkom.

Varijabla NTNМ nagib trupa u momentu napuštanja motke ( $\beta = -0,23$ ) ima pozitivan utjecaj na ostvarenje maksimalne visine skoka s motkom. Treba napomenuti da je kut izračunat u odnosu na vertikalu te manje ostvarene vrijednosti označavaju strmiju poziciju skakača u odnosu na horizontalnu ravninu. Ovakav pozitivan utjecaj je sasvim razumljiv i nedvojbeno ukazuje na tehničke zahtjevne vrijednosti skoka s motkom.

Dakle, temeljem utvrđenih utjecaja kinematičkih parametara na maksimalnu postignutu visinu centra mase tijela skakača može se prihvatiti i potvrditi prva hipoteza ovog



istraživanja. (H1 - postoji utjecaj kinematičkih parametara na visinu u skoku s motkom) ali s naglaskom da su rezultati dobiveni primjenom 2D analize podataka te da dobivene rezultate treba uzeti s „rezervom“ zbog nemogućnosti analize pokreta skakača u 3D prostoru. Također za daljnja istraživanja bitno je napomenuti kako bi se regresijska analiza mogla iskoristiti kao standard predviđanja buduće izvedbe, ali bi također mogla ukazati na tehnički napredak kroz godine, s ciljem poboljšanja konačne izvedbe samog skoka.

## **7.5. Razlike u varijablama 2D kinematičkih parametara između entiteta različitih kvalitativnih razreda**

Na osnovu efektivnih visina skokova entiteti su podijeljeni u dvije skupine. Prvu skupinu entiteta činili su skokovi do 4,90 m, drugu skupinu skokovi rezultata preko 4,90 m. Entiteti su svrstani u grupe na temelju vrijednosti koji su definirani na temelju ekspertnog znanja. Tako su skokovi do 4,90 m karakterizirani vrlo kvalitetnom razinom motoričkog statusa i kinematičkih pokazatelja realizacije skoka motkom, dok su visine skokova preko 4,90 m karakterizirane vrhunskom razinom svih neophodnih komponenata skoka motkom u promatranim varijablama (Tablica 9).

# Doktorska disertacija

Tablica 9. Prikaz osnovnih deskriptivnih parametara kinematičkih varijabli za grupe entiteta (G1, G2) te pripadajućih F i Df vrijednosti.

Varijable N= 71	G1 (N=46)		G2 (N=25)		F	p	Df
	X	SD	X	SD			
DPZ	207,63	4,59	210,52	3,57	0,59	0,45	-0,12
BZK	8,28	0,13	8,41	0,14	3,34	0,02	-0,37
DZK	189,02	5,83	189,68	4,87	2,02	0,16	-0,02
BPK	8,22	0,14	8,49	0,14	3,07	0,03	-0,41
BO	7,20	0,16	7,70	0,17	4,30	0,01	-0,58
HUCMPO	348,73	6,57	345,0	6,08	0,08	0,78	-0,20
KNT	10,28	1,25	6,00	1,32	1,47	0,23	0,10
NTMP	3,13	0,88	2,64	0,7	2,56	0,12	0,11
KNMK	32,56	0,71	32,00	0,64	0,55	0,46	-0,09
KO	16,84	0,84	18,8	1,22	3,71	0,02	-0,36
UGHPN	220,76	3,16	228,32	2,77	2,61	0,01	-0,45
VCMO	103,20	2,9	108,04	2,01	3,35	0,00	-0,34
MUCMK	186,52	8,86	194,32	12,37	2,40	0,06	-0,14
VMUCMK	0,35	0,02	0,32	0,03	1,21	0,09	0,13
MSM	25,65	1,91	29,32	2,52	2,21	0,05	-0,31
VMSM	0,48	0,03	0,47	0,04	1,96	0,17	0,04
RTK	0,59	0,04	0,57	0,03	0,00	0,98	0,09
MVBCM	0,59	0,05	0,57	0,04	0,24	0,52	0,06
VNGR	1,42	0,06	1,42	0,09	0,70	0,46	-0,02
UCMTM	62,58	12,46	66,41	8,16	2,03	0,02	-0,06
VH	4,4	0,17	4,05	0,12	3,59	0,06	-0,11
NTNM	24,89	9,4	36,12	8,57	0,83	0,37	0,24
VPMCM	1,43	0,07	1,44	0,04	0,49	0,28	-0,02
KTN	125,82	15,76	118,8	9,6	0,33	0,57	0,09
MVCM	5,16	0,08	5,40	0,10	0,59	0,45	-0,12

*X*-aritmetička sredina; *SD*-standardna devijacija; *F* vrijednost na temelju koje se testira značajnost razlika, (*p*) pogreška s kojom se prihvaća hipoteza o postojanju statistički značajne razlike. *Df*-korelacije varijabli s diskriminacijskom funkcijom.

**Legenda:** DPZ-duljina predzadnjeg koraka, BZK-brzina zadnjeg koraka; DZK-dužina zadnjeg koraka; BPK- brzina predzadnjeg koraka; BO-brzina centra mase tijela nakon odraza; HUCMPO- Horizontalna udaljenost između prstiju odrazne noge i krajnje točke kutije u trenutku postavljanja noge prije odraza; KNT- kut nagiba trupa; NTMP-nagib trupa u momentu postavljanja motke u kutiju; KNMK- Kut nagiba motke u trenutku postavljanja u kutiju; KO-kut odraza; UGHPN- udaljenost između gornjeg hvata(šake) i prstiju odrazne noge; VCMO-visina centra mase tijela u momentu odraza(HI); MUCMK- minimalna udaljenost između centra mase tijela i ubodne kutije; VMUCMK-vrijeme potrebno za postizanje minimalne udaljenosti između centra mase tijela i ubodne kutije; MSM- maksimalno savijanje motke u %; VMSM-vrijeme za maksimalno savijanje motke; RTK- rotacija tijela prema nazad od trenutka postavljanja motke u kutiju;MVBCM- vrijeme opružanja motke; VNGR-vrijeme napuštanja gornje ruke; UCMTM-udaljenost između centra mase tijela i motke u trenutku napuštanja motke; VH-visina hvata; NTN- nagib trupa u momentu napuštanja motke; MVCM-maksimalna visina centra mase tijela; VPMCM-vrijeme postizanja maksimalne visine centra mase tijela; KTN- Kut između trupa i nogu u trenutku prelaska preko levice.

## Doktorska disertacija

---

Analizirajući aritmetičke sredine varijabli između grupa, vidljiva je razlika kod većine promatranih varijabli. Posebno je izražena razlika kod maksimalnog savijanja motke (MSM), nagiba trupa u momentu napuštanja motke (NTNM), kutu odražavanja (KO), kutu trupa u momentu odraza (KNT), brzini centra mase tijela nakon odraza (BO), brzini zadnjeg i predzadnjeg koraka (BZK i BPK) i visini hvata (VH). Razlika se nalazi i u varijablama maksimalna udaljenost centra mase od kutije nakon odraza (MUCMK), vremenu koje je potrebno za postizanje te udaljenosti (VMUCMK) te visini centra mase tijela u momentu odraza (VCMO).

Detaljnijom inspekcijom rezultata aritmetičkih sredina može se zaključiti da su za ostvarenje boljih rezultata u skoku s motkom neophodne veće brzine zadnjeg i predzadnjeg koraka zaleta, brži odraz, viši uzletni kut centra mase kao i viša pozicija centra mase tijela. Također neophodan je i brži odraz, što veće savijanje motke te veća horizontalna udaljenost centra mase skakača od kutije. Mnogi znanstvenici su utvrdili iste spoznaje u dosadašnjim istraživanjima (Feld, 1974; prema Jagodin, 1978; Cao Yaqin i sur., 2001; Hsu, 1998).

Kanoničkom diskriminacijskom analizom utvrđena je značajna razlika između skupine rezultata do 4,90 m i skupine rezultata preko 4,90 m u 2D prostoru kinematičkih varijabli uz koeficijent kanoničke diskriminacije od 0,93 (Tablica 13). Prilikom određivanja pojedinačnog doprinosa svake varijable razlici među grupama, utvrđen je statistički značajan doprinos 8 varijabli (BZK - brzina zadnjeg koraka, BPK - brzina predzadnjeg koraka, BO - brzina centra mase nakon odraza, KO - kut odraza, UGHPN - udaljenost između gornjeg hvata šake i prstiju odrazne noge u trenutku odraza, VCMO - visina centra mase tijela u momentu odraza, MSM - maksimalno savijanje motke u % i UCMTM - udaljenost centra mase tijela u trenutku napuštanja motke od ukupno 25. Budući da su samo dvije grupe entiteta u istraživanju, dobivena je samo jedna diskriminacijska funkcija.

Detaljnijim uvidom u strukturu diskriminacijske funkcije vidljivo je koja varijabla više a koja manje doprinosi razlikovanju grupa. Tako razlici među grupama najviše doprinose

# Doktorska disertacija

---

varijable brzina centra mase tijela nakon odraza (-0,58), visina hvata na motci u momentu odraza (-0,45) i brzina predzadnjeg koraka (-0,41). Ovim varijablama koje značajno koreliraju s diskriminacijskom funkcijom pridružuju se i varijable brzina zadnjeg koraka (-0,37), visina centra mase u momentu odraza (-0,34), kut odraza (-0,36) te maksimalno savijanje motke (-0,31).

Na osnovu kvadratnih Mahalanobisovih udaljenosti i pripadajućih  $F$  – vrijednosti potvrđene su razlike među centroidima grupa (Tablica 10 i 11). Da se radi o statistički značajnim razlikama, vidljivo je iz tablice 12. koja omogućava zaključivanje na razini pogreške  $p=0,01$ .

Tablica 10. *Kvadratne Mahalanobisove distance između centroida grupa*

<b>Kvadrirane Mahalanobisove udaljenosti</b>		
<b>Grupa</b>	<b>G_1:1</b>	<b>G_2:2</b>
<b>G_1:1</b>	0,00	10,2616
<b>G_2:2</b>	10,2616	0,00

Tablica 11. ( $F$  – vrijednost)  $F$  – vrijednost kojom se testira značajnost Mahalanobisove udaljenosti

<b>F vrijednosti ; df=26,44</b>		
<b>Grupa</b>	<b>G_1:1</b>	<b>G_2:2</b>
<b>G_1:1</b>		12,02158
<b>G_2:2</b>	12,02158	

Tablica 12. ( $p$  – levels) pogreška s kojom se prihvaća hipoteza o razlici među grupama

<b>F vrijednosti ; df=26,44</b>		
<b>Grupa</b>	<b>G_1:1</b>	<b>G_2:2</b>
<b>G_1:1</b>		0,000
<b>G_2:2</b>	0,000	

Tablica 13. *f*-diskriminacijska funkcija; (*Eigen-value*( $\lambda$ )) svojstvena vrijednost diskriminacijskih funkcija, (*Canonical R*) koeficijenti kanoničke korelacije (diskriminacije), Vrijednosti Wilksove lambda ( $W\lambda$ ), postotak objašnjene varijance ( $\lambda\%$ ), *Hi* – kvadrat test ( $\chi^2$ ), broj stupnjeva slobode (*df*), razina značajnosti (*p*) diskriminacijske funkcije.

<b>F</b>	<b><math>\Lambda</math></b>	<b>Rc</b>	<b>Wilks' Lambda</b>	<b>Chi-square</b>	<b>df</b>	<b>P</b>
1	7,069278	0,935988	0,12392	117,975	25	0,00

U tablici 13 prikazane su svojstvene vrijednosti diskriminativne funkcije ( $\lambda$ ), kanonička korelacija (Rc), Wilks' Lambda,  $\chi^2$ -test, stupnjevi slobode (DF) i razina značajnosti (p). Dobivena diskriminacijska funkcija značajno razlikuje bolje skakače od lošijih na nivou signifikantnosti 0,01. Uz iznimno visoku kanoničku korelaciju (0,93) moguće je zaključiti da 25 kinematičkih varijabli dobro razlikuju grupe entiteta.

Tablica 14. *Položaj centroida grupa na diskriminacijskoj funkciji*

Grupa	DF
G_1:1	1,9369
G_2:2	-3,5640

S obzirom da se grupa G1 nalazi na pozitivnom polu diskriminacijske funkcije a grupa G2 na negativnom polu diskriminacijske funkcije, statistički značajne korelacije s varijablama su negativnog predznaka može se zaključiti da je grupa G2 bolja od G1 i to u varijablama BZK (brzina zadnjeg koraka), BPK (brzina predzadnjeg koraka), BO (brzina centra mase tijela nakon odraza); KO (kut odraza), UGHPN (udaljenost između gornjeg hvata šake i prstiju odrazne noge u trenutku odraza), VCMO (visina centra mase tijela u momentu odraza - H1); MSM (Maksimalno savijanje motke - %) te UCMTM (udaljenost centra mase tijela i motke u trenutku napuštanja motke).

## Doktorska disertacija

---

Iz dobivenih vrijednosti diskriminacijske analize proizlazi kako je ispunjen jedan od postavljenih ciljeva ove disertacije o pokušaju utvrđivanja mogućih razlika u kinematičkim parametrima. Također, ovo istraživanje je ponudilo veći broj varijabli koje razlikuju grupe entiteta u 2D prostoru. Nakon provedene analize rezultata na uzorku skakača motkom, može se prihvatiti postavljena hipoteza H2, te utvrditi kako postoji statistički značajna razlika u promatranim varijablama između lošijih i boljih skakača s motkom.

## 8. ZAKLJUČAK

Iznaženje adekvatnog modela skoka s motkom gdje bi se utvrdili modaliteti trenažnog procesa, kao i usvajanje tehnike izvedbe i utvrđivanje zahtjevnih vrijednosti od kojih zavisi uspjeh u skoku s motkom, glavni je problem s kojim se susreću sportski treneri i biomehaničari. Vrhunska dostignuća u skoku s motkom zavise o više faktora kao što su morfološke karakteristike i motoričke sposobnosti. Također, primjena određenih biomehaničkih modela realizacije elemenata tehnike skoka doprinijet će boljoj rezultatskoj efikasnosti.

Osnovni cilj ovog istraživanja bio je utvrditi utjecaj kinematičkih parametara na rezultat u skoku s motkom. Na temelju osnovnog cilja definiran je i sekundarni cilj čija je zadaća bila utvrđivanje parametara koji diferenciraju skokove različitih kvantitativnih razreda.

Uzorak entiteta predstavljalo je 30 vrhunskih juniora, čiji skokovi su snimljeni u natjecateljskim uvjetima na Europskom juniorskom prvenstvu 2009 god. Ukupno je analiziran 71 uspješan skok. Starost ispitanika bila je 17 – 19 godina.

Analiza deskriptivnih parametara ukazala je kako sve primijenjene varijable imaju optimalnu distribuciju.

Rezultati regresijske analize pokazali su znatan utjecaj prediktorskih varijabli na efektivnu visinu u skoku s motkom. Ostvarena je visoka multipla korelacija između skupa prediktorskih varijabli (kinematički parametri) i rezultata u skoku s motkom ( $R = 0,98$ ) Najveći utjecaj na ostvarenu maksimalnu visinu skoka imaju varijable BO - brzina centra mase tijela nakon odraza, BZK - brzina zadnjeg koraka, brzina predzadnjeg koraka - BPK, te NTMP - nagib trupa u trenutku napuštanja motke. Manji, ali ipak značajan utjecaj na rezultat u skoku s motkom imaju i varijable UCMTM - udaljenost centra mase tijela u trenutku napuštanja motke, MVBCM - vrijeme opuštanja motke, VMSM - vrijeme za maksimalno savijanje motke i NTNMM - nagib trupa u trenutku napuštanja motke u odnosu na horizontalu. Negativni utjecaj na visinu skoka s motkom

ima varijabla nagib trupa za vrijeme postavljanja motke u kutiju. Rezultati regresijske analize generalno ukazuju na važnost tehnički korektne realizacije svih radnji i pokreta aktivnosti skoka s motkom od samog početka. Tako će svako narušavanje ritma zaleta (krivo nošenje motke, neadekvatan hvat na motci, kasni početak postavljanja motke u kutiju...) imati za posljedicu smanjenje brzine u zadnjim koracima zaleta, nedolazak na pravo mjesto odraza, s otklonom trupa previše prema naprijed ili nazad. Nasuprot tome, efikasna i tehnički korektna izvedba svih komponenata faze zaleta omogućit će optimalnu pripremu za odraz, a time i prijenos energije stečene zaletom u potencijalnu energiju koja će se prenijeti na motku. Dakle, postizanje veće horizontalne brzine i očuvanje iste u zadnjim koracima zaleta, snažan odraz s brzim prodiranjem tijela pod optimalnim kutom uz brzo savijanje motke akumulirati će veliku količinu energije pohranjenu u motci koja će na kraju osigurati pretpostavku za ostvarenje maksimalnog rezultata u skoku s motkom. Temeljem rezultata regresijske analize potvrđena je prva hipoteza ovog istraživanja o značajnom utjecaju kinematičkih parametara na rezultat u skoku s motkom.

Iz dobivenih vrijednosti diskriminacijske analize proizlazi kako je ispunjen jedan od postavljenih ciljeva ove disertacije o pokušaju utvrđivanja mogućih razlika u kinematičkim parametrima. Također, ovo istraživanje je ponudilo veći broj varijabli koje razlikuju grupe entiteta. Nakon provedene analize rezultata na uzorku skakača motkom, može se prihvatiti i postavljena hipoteza H<sub>2</sub>, te utvrditi kako postoji statistički značajna razlika u promatranim varijablama između lošijih i boljih skakača s motkom.

Generalno, informacije dobivene u ovom istraživanju ukazuju na znatan utjecaj kinematičkih parametara na rezultat skoka motkom, a isto tako rezultati sugeriraju i na razlikovanje skupine entiteta.

Može se konstatirati kako je rezultatska efikasnost u skoku motkom prvenstveno određena parametrima brzina (brzina zadnja dva koraka zaleta, brzina centra mase tijela nakon odraza i brzina opružanja motke), kao i pokazateljima kojima je određena tehnika realizacije aktivnosti skoka.



Varijable koje definiraju položaj tijela prilikom napuštanja motke (nagib trupa i udaljenost centra mase tijela u momentu napuštanja motke) kao i varijabla nagib trupa u trenutku postavljanja motke u kutiju u najvećoj mjeri određuju tehničku izvedbu skoka. Dobiveni rezultati u skladu su sa znanstvenim spoznajama o utjecaju kinematičkih parametara na rezultat u skoku s motkom te omogućuju bolje razumijevanje navedenih kinematičkih čimbenika koji određuju efikasnu izvedbu skoka u cjelini.

## **8.1. Znanstveni doprinos**

Nedvojbeno je da će rezultati ovog istraživanja omogućiti oblikovanje novih znanstvenih istraživanja u disciplini skoka s motkom.

- ✓ Znanstveni značaj ogleda se prvenstveno u utvrđivanju kinematičkih parametara skoka najboljih juniora - skakača s motkom.
- ✓ Zatim, dobio se uvid u povezanost i eventualni utjecaj kinematičkih parametara na efikasnost u skoku s motkom.
- ✓ Dobiveni rezultati moći će se usporediti s pokazateljima kod vrhunskih skakača seniora, te utvrditi koji parametri nedostaju u ostvarivanju vrhunskih seniorskih rezultata.
- ✓ Također, ovo istraživanje je pružilo informacije za buduća istraživanja prema kojima će istraživači moći tragati i za antropometrijskim, motoričkim, psihosocijalnim, teoretskim i mnogim drugim čimbenicima koji determiniraju uspjeh u ovoj atletskoj disciplini. Jedino na taj način moguće je ozbiljnije sagledati i razmatrati kompleksnost ove složene atletske discipline. Uzorak ispitanika u ovom istraživanju koji je predstavljao skup najboljih europskih skakača s motkom – juniora daje izuzetnu vrijednost ovoj disertaciji, no nemogućnost primjene 3D analize podataka donekle umanjuje mogućnost generalizacije dobivenih rezultata korištenjem 2D.

## 8.2. Stručni doprinos

Stručni značaj istraživanja je proporcionalan mogućnosti primjene dobivenih rezultata.

- ✓ Rezultati istraživanja mogu poslužiti trenerima u odabiru metodskih postupaka pri učenju tehnike skoka s motkom, kao i u metodici planiranja i programiranja trenažnih procesa skakača.
- ✓ Dobiveni rezultati ovog istraživanja mogu trenerima poslužiti kao osnova za formiranje efikasnog modela tehnike skoka s motkom na temelju prioriteta važnosti određenih parametara.
- ✓ Također na temelju dobivenih spoznaja moguće je približno utvrditi standarde u 2D kinematičkim parametrima koji će omogućiti praćenje napretka mladih skakača s motkom tijekom natjecateljske sezone ali i tijekom njegove sportske karijere.

## 9. LITERATURA

1. Adamczewski, H. & Dickwach H. (1991). Zum Zusammenhang zwischen Anlaufgeschwindigkeit und Sprungleistung. U: Die Lehre der Leichtathletik. 19: 15-18.
2. Adamczewski, H. & Perl (1997). Run up velocities of female and male pole vaulting and some technical aspects of women's pole vault. *New studies in Athletics*. 12: 63-76.
3. Allmann, N. (1983). Zur Struktur und Biomechanik des Stabhochsprungs. U: DLV-Lehrbeilage (LA-Magazin). 76: 21-24, 77:21-24.
4. Anderson, G. K. (1997). The limits of human performance in the pole vault. *Track Coach*, 138, 4412-4415
5. Angulo-Kinzler, R. M., Kinzler, S. B., Balius, X., Turro, C., Caubet, J. M. & Escoda, J. (1994). Biomechanical analysis of the pole vault event. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 147-165.
6. Arampatzis, A., Schade, F. & Bruggemann, G.-P. (1997). Pole Vault. U: Muller, H. Hommel, H. (Eds.): *Biomechanical Research Project at the VIth World Championship in Athletics*. Athens 1997: Preliminary Report, *New Studies in Athletics*. 12 (2-3) :43-73.

7. Arampatzis, A. & Bruggemann, G.-P. (1998). A mathematical high bar-human body model for analysing and interpreting mechanical-energetic processes on the high bar. *Journal of Biomechanics*, 31, 1083-1092.
8. Arampatzis, A., Schade, F. & Bruggemann, G. (2004). Effect of the pole-human body interaction on pole vault performance, *Journal of Biomechanics*. 37: 1353–1360.
9. Attig, R. (1979). Mechanical factors influencing grip height. *Athletic Journal*, 59(6), 97-101.
10. Baković, M. & Antekolović Lj. (2012). 3d kinematička analiza skoka s motkom kao preduvjet modeliranja trenažnog procesa – slučaj hrvatskog rekordera. 21. *Ljetna škola kineziologije Hrvatske*. 184-189.
11. Bosen, K. O. (1972). Comparison of rigid and flexible pole vaulting technique. In F. Wilt (Ed.), *The jumps: Contemporary theory, technique and training* (pp. 55-67). Los Altos, CA: Tafnews Press.
12. Barlow, D.A. (1973). *Kinematic and Kinetic Factors Involved in Pole Vaulting*. Ph.D. Thesis, Indiana university.
13. Bassement, M., Garnier, C., Lepoutre, F. & Sampson, M. (2009). Kinematics and EMG analysis of expert pole vaulter's lower limb during take off phase (P218), *Engineering of Sport*. 2: 375–382.
14. Bassement, M., Goss-Sampson, M., & Garnier, C. (2007). A kinematics analysis of the pole vault take-off. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 79-80.

## Doktorska disertacija

---

15. Bassement, M., Garnier, C., Goss-Sampson, M., Watelain, E. & Lepoutre, F.-X. (2010). Using EMGs and kinematics data to study the take-off technique of experts and novices for a pole vaulting short run-up educational exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, Vol. 13 (5) : 554-558.
16. Bergeman, B. (1979). Contribution of research to the pole vault. *Track & field Quarterly Review*, 79, 95-110.
17. Braff, T. J & Dapena, J. (1983). A two dimensional Simulation Method for the Prediction of Movements in Pole Vaulting. In D. A. Winter et al. (Eds), Biomechanics IX – B (458-463) Champaign, Ill.: *Human Kinetics Publishers*.
18. Braff, T. & Dapena, J. (1985). A two dimensional simulation method for the prediction of movements in pole vaulting. U: B.Jonsson(Ed.) *International series of biomechanics*.Champaign, Ill: *Human Kinetics*. 5: 458-463.
19. Bruggemann, G.-P. & Arampatzis, A. (1997 a). Men's High Jump. In H. Miller, H. Hommel (Eds), Biomechanical Research Project at the VI th World Championchips in thletics, Athens 1997: Preliminary Report. *New studies in Athletics* 13: 66-69.
20. Bruggemann, G.-P. & Arampatzis, A. (1997 b). Triple Jump. U: H. Miller, H. Hommel (Eds), Biomechanical Research Project at the VI th World Championchips in athletics, Athens 1997: Preliminary Report. *New studies in Athletics* 13: 59 - 66.
21. Cao, Yaqin (2001). (Shanxi Vocational Education College of Communication, Xi'an 710021); Velocity Characteristics Of Women's Pole-Vaulting In Both Approach Holding Pole And Jump. *Journal of Chengdu Physical Education Institute*.2004-03.

22. Chang S.(2009). Move the pole to vertical and catch the ride. Usatf Pole Vault development staff.
23. Chen Q. & Liu, S. (2008). (Dept.of PE,Linyi Teacher's College,Linyi 276005,Shandong,China); Kinematics of take-off technique for Chinese elite woment pole vaulters. *Journal of Shandong Institute of Physical Education and Sports*;2006-02
24. Carr, G. (1999). Fundamentals of track and field, 2nd ed. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
25. Czingon Herbert(1993). Bericht des Stabhochsprung-Workshops.: Lehre der Leichtathletik (LdLA) Nr. 9
26. Czingon Herbert & Hommel Helmar (1999). Vergleich von Danny Ecker und Jean Galfione. In: Leichtathletiktraining Nr. 7
27. Diathckov, V. (1950). Prižok s šestom, Fiskultura i sport, Moskva.
28. Dillman, C. J. (1966). Energy transformations during the pole vault with a fiberglass pole. (Unpublished Master's thesis Pennsylvania State University, Pennsylvania).
29. Dillman, C. J. & Nelson, R.C. (1968). The Mechanical energy transformations of pole vaulting with a fiberglass pole. *Journal of Biomechanics*. 1: 175-183.
30. Ekevad, M. & Lundberg, B. (1995). Simulation of „smart“ pole vaulting. *Journal of Biomechanics*. 9 (28):1079-1090.

31. Ekevad M. & Lundberg, B. (1997). Influence of pole length and stiffness on the energy conversion in the pole vaulting. *Journal of Biomechanics Elsevier Science*, 33: 259-64.
32. Fraley, B. (1995). Chapter 7, Pole Vault. Complete Book of Jumps. *Human Kinetics*: Champaign, Ill. 111-140.
33. Fraley, B. & D. Fraley, D. (1997). Stabhochsprung. Die Lehre der Leichtathletik. 7-11; 15-24.
34. Frère, J., Göpfert, B., Slawinski, J., & Tourny-Chollet, C. (2012). Effect of the upper limbs muscles activity on the mechanical energy gain in pole vaulting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(2), 207-214.
35. Frère J., Hermette, J., Slawinski & Tourny -Chollet, C. (2010). Mechanics of pole vaulting: a review. *Journal of Sports Biomechanics*, 9: 123-138.
36. Frère, J., Chollet, D., & Tourny-Chollet, C. (2009). Assessment of the influence of pole carriage on sprint kinematics: A case study of novice athletes. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 3(1), 03-10.
37. Frère, J., Chollet, D., & Tourny-Chollet, C. (2007). *Run-up coordination with and without pole carriage: the case of novice pole vaulters*. Paper presented at the Movement Science Around the World - 12th International ACAPS Conference, Leuven, Belgium.
38. Ganslen, R.V. (1979). *Die Mechanik des Stabhochsprungs*. Berlin 1968 (English version: Mechanics of the Pole Vault. St. Louis, Missouri).

39. Ganslen, R. (1961). *Mechanics of the pole vault* (4<sup>th</sup> edition), St Louis, MO: John Swift.
40. Geese, R. & Woznick, T. (1980). *Stabhochsprung*. 46/47: 1465-1472; 48: 1499-1502.
41. Grabner, S. (2004). Technical and conditionig aspects of the women's pole vault. *New studies in athletics*. 19, 3: 43-56.
42. Gros, H. J. (1982). "Computerized Analysis of the Pole Vault Utilizing Biomechanics Cinematography and Direct Force measurements". Unpublished Ph.D. Thesis, The University of Alberta, Canada.
43. Gros, H. & Kunkel, V. (1986). Pole vault. In: Susanka, P, Bruggemann, P., Tsarouchas, E. (Eds), *IAAF Biomechanical Research*, (International Amateur Athletic Federation, Athens.
44. Gros, H. J. & Terauds, J. (1983). *Möglichkeiten der Interpretation Biomechanischer Kennlinien im Stabhochsprung*. *Lehre der Leichtathletik* 23: 55-58.
45. Gross, H.J. & Kunkel, V. (1988). *Biomechanical Analysis of the Pole Vault*. U Bruggemann, G.-P.; Susanka, P.: *Scientific Report on the II. World Championship in Athletics Rome 1987*, IAF, London, G/1-G/32.
46. Gros, H. & Kunkel, V. (1990). *Biomechanical Analysis of the ole Vault*. Scientific Research project at the Games of the Olimpiad – Seoul 1988, Final Report. U: G.-P. Bruggemann, B. Glad (Eds), International Athletic Federation.



47. Gudelj, I., Zagorac, N. & Babić, V. (2009). *Influence of Some Kinematic Parameters to The Pole Vault Results. Theoretical, Methodological and Methodical Aspects of Competitions and Athletes Preparation*. University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education. 27-32.
48. Hay, J. (1971). Mechanical energy relationships in vault with a fiberglass pole, *Ergonomics* 14: 437–448.
49. Hay, J. G. (1978). *The Biomechanics of Sport Techniques*. Prentice hall, Englewood Cliffs. *Journal of Biomechanics*, 2006, Vol. 39 (8): 1464-1471.
50. Hay, J. (1993). *The biomechanics of Sports Techniques* (4th ed.), Englewood Cliffs, Prentice Hall.
51. Houvion, M. (1982). The preparation of the vaulter for advanced levels – 6 meters in 2000. *U: Track & Field quart. Rev.* 4: 38-41.
52. Hommel, H. & Houvion, H. (1994). "Nsa photosequence 32 – pole vault: Sergey Bubka", *U: ... "Sergei Bubka above the bar", Modern Athlete and Coach*, 31, (2), 22-25.
53. Homenkov, L.S. (1977) *Atletika*. Beograd.
54. Hubbard, M. (1980). Dynamics of the Pole Vault. *Journal of Biomechanics* . 13: 965-976. International Society of Biomechanics, XIVth Congress, Paris 4-8 July, Vol. I, 806-807.
55. Jacoby, E. (2009). *Winning jumps an pole vault*. Human kinetics.

56. Jagodin, V. & Papanov, B. (1987). Development of pole vaulters. *Modern athlete and coach, Adelaide* (29);75-77.
57. Jagodin, V. et al. (1979). Die Etappen der Technikschiilung im Stabhochsprung. 23: 726; 24: 755-758.
58. Jagodin, V. (1994). Die etappen der technikschiilung in stabhochsprung. *LdLa*. 23: 726-731.
59. Jagodin, V. (1995). Stabhochsprung – tentenzion und moglichkeiten. *DLV – Lehrbeilage*. 27: 25-28.
60. Johnson, J. (2002). Basic technique concepts: Vault stuff, dostupno na: [www.vaultstuff.com](http://www.vaultstuff.com).
61. Johnson, J. & VerSteeg, R. (2007). *Illustrated history oft he pole vault*. SAD.
62. Katskikas, F., Papaiakovou, G., Piliandis, T. & Kollias, I. (2008). Pole vault as „double pendulum“ and penetration. *Modern Athlete and Coach*. 1-6.
63. Kunz Hansruedi(2003). Biomechanik in der Leichtathletik. *SLV Trainerbulletin* Nr. 31. Lyss
64. Kyle, D. J. (2006). *Sport and spectacle in the ancient world*. Boston, MA: Blackwell.
65. Linthorne, N. (1994). Mathematical model of the takeoff phase in the pole vault, *Journal of Applied Biomechanics* 10: 323–334.

66. Linthorne, N. P. (1994). The fibreglass pole. U: J. Jarver, (Ed.), *The jumps: Contemporary theory, technique and training*, 4th ed. (pp. 59-62). *Mountain View, CA: Tafnews Press*.
67. Linthorne, N. P. (2000). Energy loss in the pole vault take-off and the advantage of the flexible pole, *Sports Engineering* 3: 205–218.
68. Liu Xue zhen, Wang Xiang dong & Yan Song hua (2001). (Beijing University of Physical Education, Beijing 100084, China); Shooting of Pole-vault and Analysis [J]; *Journal of Beijing University of Physical Education*.
69. Maljutin, A. A. (1979). Der Lauf mit dem Stabhochsprungstab. U: *LdLa*. 39: 1238.
70. Mansvetov, V. (1983). Over the bar with Sergei Bubka. U: *Legkaya Atletika*. 12: 16-17.
71. McGinnis, P. & Bergman, L.A. (1986). An inverse dynamic analysis of the pole vault, *International Journal of Sport Biomechanics*. 2: 186–201.
72. McGinnis, P.M. (1987). *Performance Limiting Factors in the Pole Vault*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 19, S18.
73. McGinnis, P. (1997). Mechanics of the Pole Vault Take-Off. *New Studies in Athletics*, 12(1), 43-46.
74. McGinnis, P.M. (1999). *Biomechanics of sport and exercise*. Champaign. II. *Human Kinetics*.
75. McGinnis, P. M. (2004). Evolution of the relationship between performance and approach run velocity in the women's pole vault. U: M. Lamontagne, D. G. E.

- obertson, and H. Svestrup (Eds.), Proceedings of the 22th International Symposium in Biomechanics in Sports. Ottawa, ON: International Society of Biomechanics in Sports. 531–534
76. McGinnis, P.M. (2005). *Biomechanics of sport and exercise*. Champaign. II: Human kinetics.
77. Mejovšek, M. (1995). *Dinamička analiza gibanja u športu*. U: M. Pećina i S. Heimer (Ur.), *Športska medicina* (str. 71-73). Zagreb: Naprijed
78. Mejovšek, M., Hraski, Ž., Antekolović, Lj., Živčić, K., Hofman, E. (1999). *Prilozi iz kinematičkih analiza sportskih kretnih struktura*. U Ž. Hraski & B. Matković (Ur), 8. *Zagrebački sajam sporta, Zagreb 1999, "Trener i suvremena dijagnostika"* Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu, Sveučilišta u Zagrebu. 99-105.
79. Mero, A., Komi, P.V., & Gregor, R.J. (1992). Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13, 376-392.
80. Mesnard, M., Morlier, J. & Cid, M. (2007). *An essential performance factor in pole-vaulting* . Original Research Article *Comptes Rendus Mécanique*. Vol. 335 (7) : 382-387.
81. Michiyoshi, A., Nobuyoki, I., Hirofumi, K. & T. Sakamoto (2006). *Feedback of biomechanics Information for Japanese Elite Athletes*. Skinuto s mreže 20.04.2013., <http://coachesinfo.com>.
82. Morris Kimo (2009). Physics of the pole vault.

## Doktorska disertacija

---

83. Muller, H. & Breggemann, G.-P. (1997). Long Jump. U: H. Muller, H. Hommel (Eds), Biomechanical Research project at the VI th World Championships in Athletics, Athens 1997. Preliminary Report. *New Studies in Athletics*. 13: 56-59.
84. Nikovno, Y. (1985). Run-up in Pole Vault, *International Physical Education and Sports References*, 3. 2.
85. Nikonov, I. & Jagodin V.(1994). "Pole vault (basic and flight part)", *Track and field athletics*. 4, 8-10
86. Nixdorf, E., Brüggemann, G. P. (1990). *Biomechanical analysis of the Long Jump*. Scientific Research Project the Games, of the XXIVth Olympiad-Seul 1988. International Athletic Foundation.
87. Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait and Posture*, 7, 77–95.
88. Ohshima, S. & A. Ohtsuki (2008). Optimization of torque in pole vault using genetic algorithm, *Engineering of Sport*. 2: 525–533.
89. Ohshima, S., Nashida, Y. & A. Ohtsuki (2010). Optimization of pole characteristic in pole vaulting using three-dimensional vaulter model. *Procedia Engineering*, Vol. 2 (2): 3191-3196.
90. Osima, Y. (2001). *Biomechanical Analysis of New Zealand Secondary School Boy's Pole Vault Technique*. University of Auckland, Sport Sciences Department, unpublished work.
91. Petrov, V. (1985). Stabhochsprungtechnik. U: DLV-Lehrbeilage. 127: 15-22.

92. Petrov, V. (1985). Pole vaulting technique. *Track & Field Quarterly Review* 85 (4): 29-33.
93. Petrov, V. (2003). Pole vault - the state of the art. *New Studies in Athletics*, 19:3; 23-32.
94. Petrov, V. (2007). Technique Training in the Pole Vault. Retrieved from <http://iaaf.ru/eng/docs/pub/0001e.html>.
95. Petrov, V. (2008). The five phases of pole vault performance, 3rd European pole vault conference – On the road to Beijing. German Sport University Cologne (DE): *European Athletics*.
96. Plagenhoef (1971). *Patterns of Human Motion*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
97. Savinna, B. (1982). Sistema podgotovki prigunov s šestom. *Fiskultura i sport*, Moskva. 12, 75-79.
98. Schache, A. G., Bennel, K. L., Blanch, P. D. & Wrigley, T. (1999). The coordinated movement of the lumbo –pelvic – hip complex during running: A literature review. *Gait and Posture*, 10, 30–47.
99. Schade, F., Arampatzis, A. & Bruggemann, G.P. (2000). Influence of different approaches for calculating the athlete's mechanical energy on energetic parameters in the pole vault, *Journal of Biomechanics*. 33(10): 1263–1268.
100. Schade, F., Arampatzis, A. & Bruggemann, G.P. (2004). A new way of looking at biomechanics of the pole vault. *New Studies in Athletics*. 19 (3): 33-42.

101. Schade, F., Arampatzis, A. & Bruggemann, G.P. (2006). Reproducibility of energy parameters in the pole vault, *Journal of Biomechanics* 39: 146–147.
102. Schade, F. & Bruggemann, G.P. (2005). The pole vault at the 2005 World Championships in Athletics: Helsinki. *New studies in athletics*: 21, 2:57-66.
103. Schmolinsky, G. (1983). *Track and Field*. Berlin, Germany: Sportverlag.
104. Shi Yan-zhao & Liu Xue-zhen (2002). Biomechanical Analysis of Three top Chinese Women Pole Vaulters' Performances During Takeoff, Swing and Bar Clearance Phase [J]; *Sports Sciences Researches*.
105. Spahr, T. M. (1999). The use of a three-dimensional real-time movement analysis system in sport. *New Studies in Athletics*, 14(1):43-56.
106. Steben, R. E. (1970). A cinematographic study of selective factors in the pole-vault. *Research Quarterly*, 41, 95–104.
107. Takamatsu J., Ae M. & Fujii N. (2000). Mechanical energy flow between vaulter and pole in pole vaulting. *Jpn. J. Biomechanics in Sport and Exercise*. 4: 108-115.
108. Tidow, G. (1989). Zur bildlichen Darstellung der Anfängermethodik im Stabhochsprung. U: *LdLa*. 40: 1437-1440; 41: 1469-1470.
109. Tidow, G. (1994). Model technique analysis of the pole vault. U: J. Jarver, (Ed.), *The jumps: Contemporary theory, technique and training*, 4th ed. (pp. 68-75). Mountain View, CA: *Tafnews Press*.

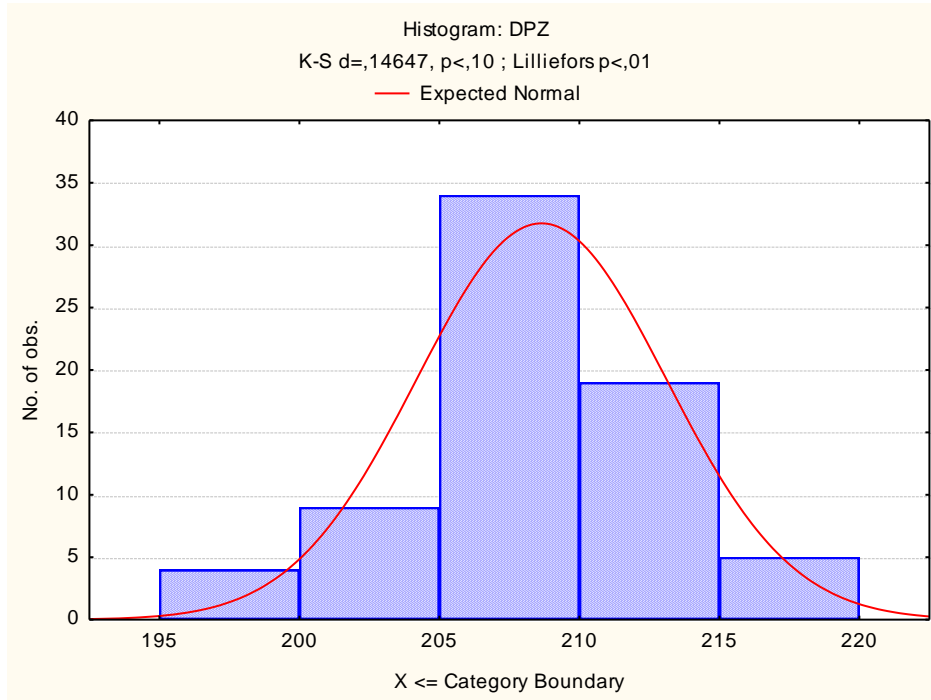
110. Quercetani, R. (2000). Athletics: A history of modern track and field athletics (1860-2000). Men and Women worldwide 2000. Milan: SEP.
111. Vaslin, P. & Cid, M. (1993). Performance factors in pole vaulting in the scientific literature [in French]. *Revue STAPS*, 14, 75–86.
112. Vaughan, C. L. (1984). Biomechanics of running gait. *Critical reviews in Engineering*, 12, 1–48.
113. Walker, H.S. & Kirmser, P.G. (1982). Biomechanical parametric analysis of pole vaulting and optimization of performance. U: Ghista, D.N., Editor, 1982. *Human Body Dynamics: Impact, Occupational, and Athletics Aspects*, Oxford, 444–461.
114. Walker, H.S. & Kirmser P.G. (1988). Biomechanical parametric analysis of pole vaulting and optimization of performance. *Human Body Dynamics: Impact, Occupational, and Athletic Aspects. Oxford University Press*.
115. Walther Christoph (2009). Biomechanik des Stabhochsprungs. *Institut für Sportwissenschaften*.
116. Woznik, T. (1986). Biomechanik des Stabhochsprungs. R. Ballreich, A- Kuhlow (eds): *Biomechanik der Leichtathletik*. Stuttgart, 71-88.
117. Woznik, T. (1992). Biomechanische Technikanalyse der Stabhochsprungbewegung mit Hilfe von Energie-Modellen. *Sportwissenschaften und Trainingspraxis* Bd. 5, Hrsg. Stephan Starischka, SFT-Verlag Erlensee.
118. Woznik, T. & Geese, R. (1980). Modell zur Bestimmung Biomechanischer Einflüßgroßen der Stabhochsprungleistung und zur Schätzung ihrer Einflüßhöhe. *Leistungssport*, 4: 315-327.



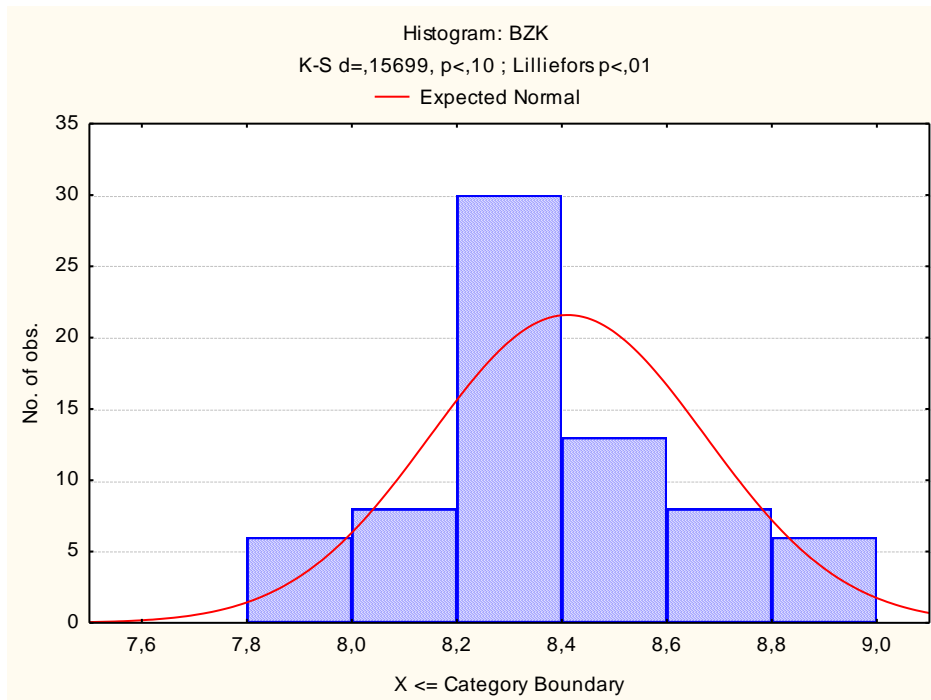
119. Zagorac, N. (1990). Relacije između motoričkih sposobnosti i rezultata u skoku s motkom kod pionira atletske škole. *Kineziologija*, 22 (1-2): 63-70.
120. Zagorac, N., Retelj, E. & Katić, R. (2008). Successful Pole Vault Influenced by Certain Kinematical Parameters. *Collegium Antropologicum*. 32 (4): 1133-1139.
121. Zou L.C., Guo, L. & Deng, J. (2008). Biomechanical analysis of the techniques of the two national best chinese women pole vaulting athletes [J]; *Journal of Medical Biomechanics*.

## 10. PRILOG

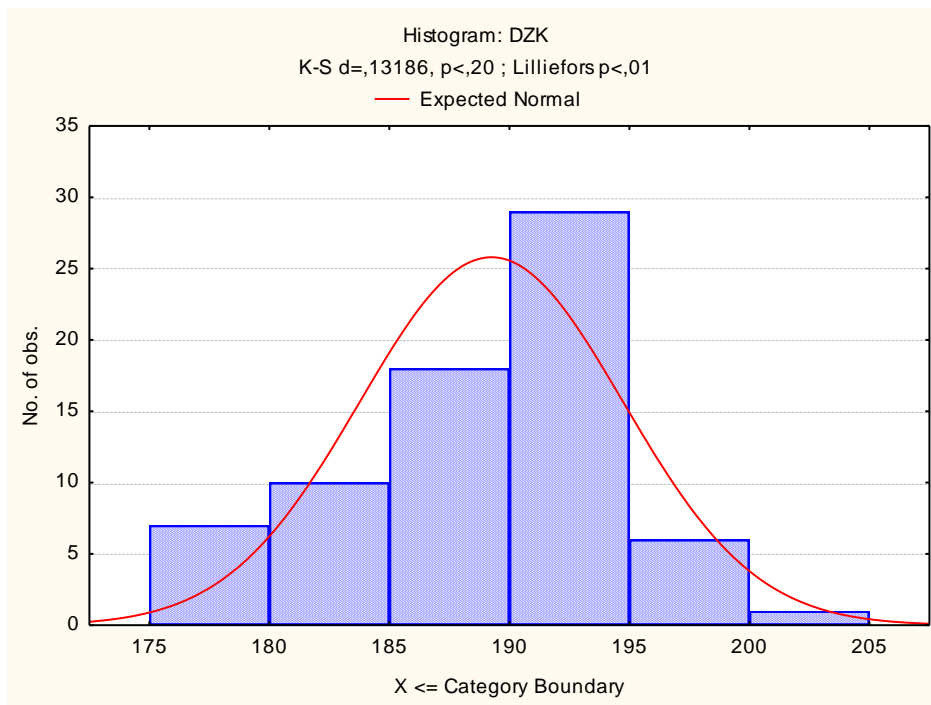
### 10.1. Distribucija rezultata varijable **DPZ** kod skakača skoka s motkom (N=71)



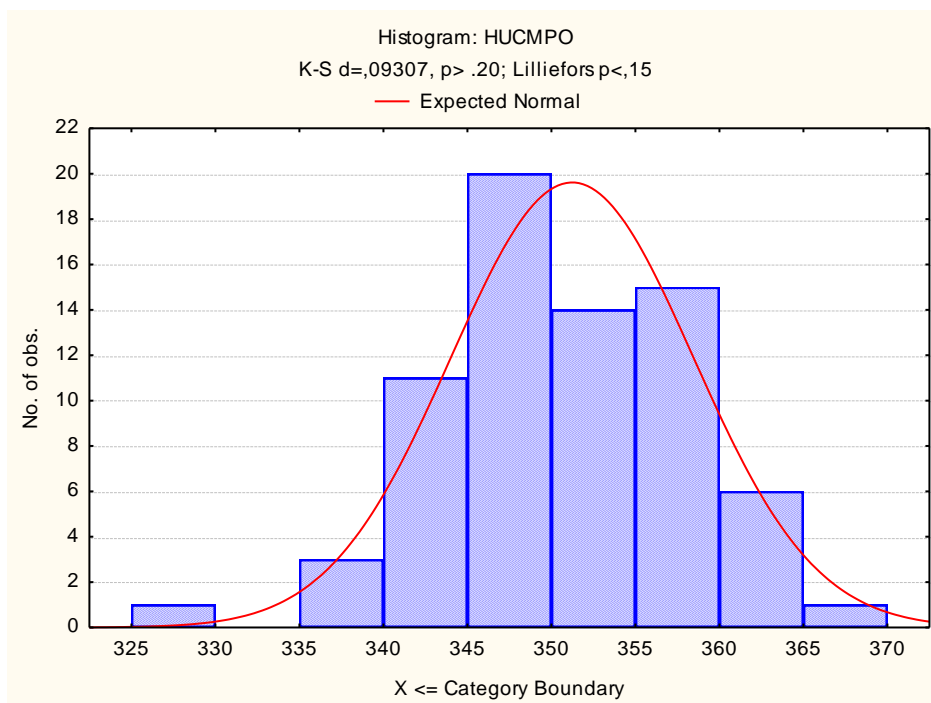
### 10.2. Distribucija rezultata varijable **BZK** kod skakača skoka s motkom (N=71)



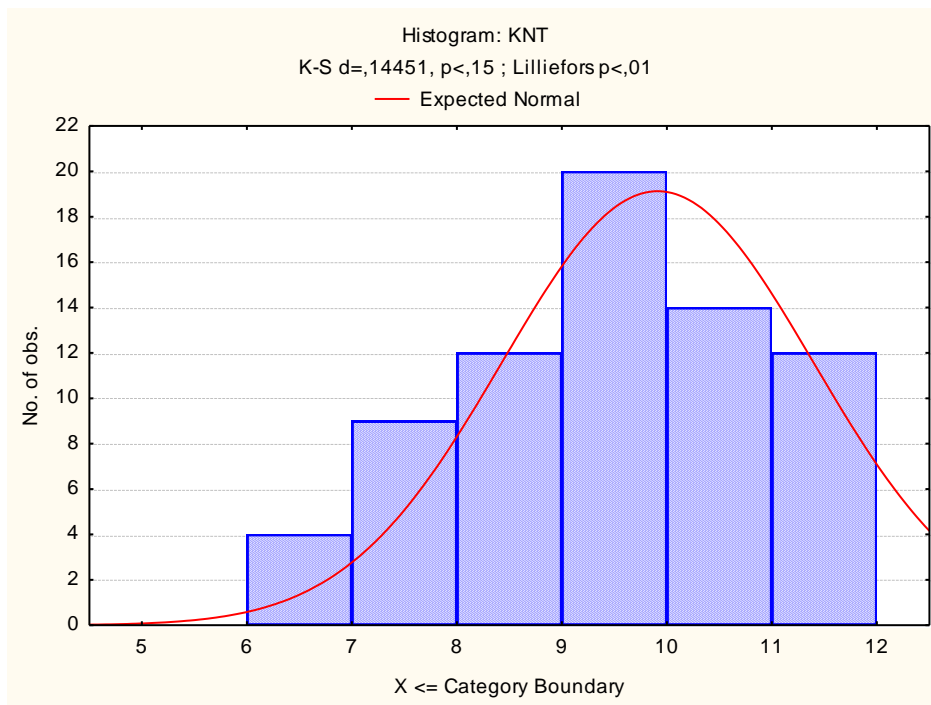
## 10.3. Distribucija rezultata varijable **DZK** kod skakača skoka s motkom (N=71)



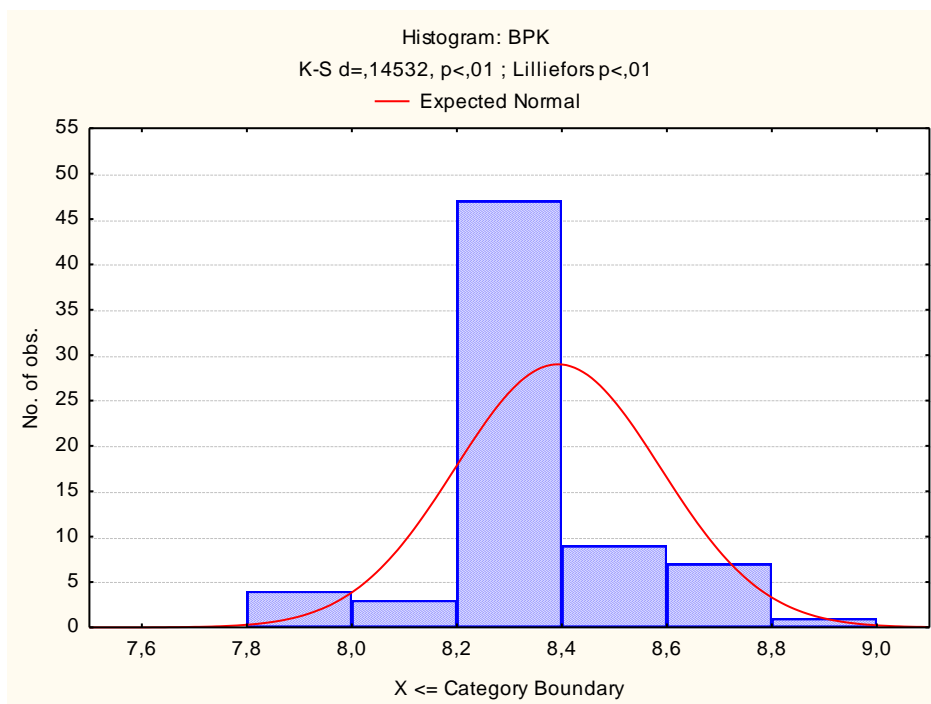
## 10.4. Distribucija rezultata varijable **HUCMPO** kod skakača skoka s motkom (N=71)



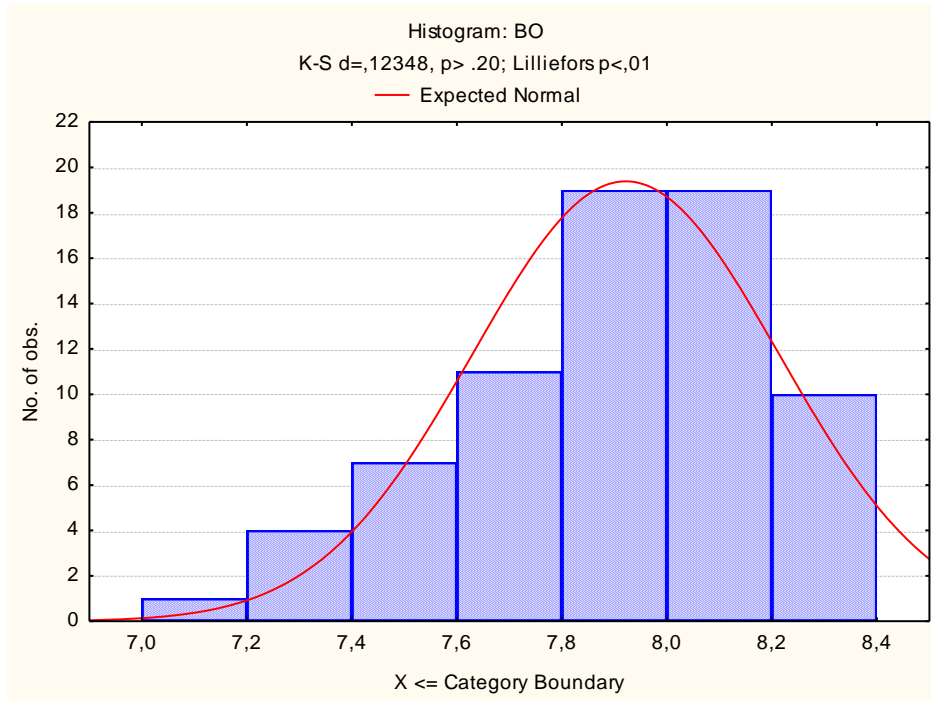
## 10.5. Distribucija rezultata varijable **KNT** kod skakača skoka s motkom (N=71)



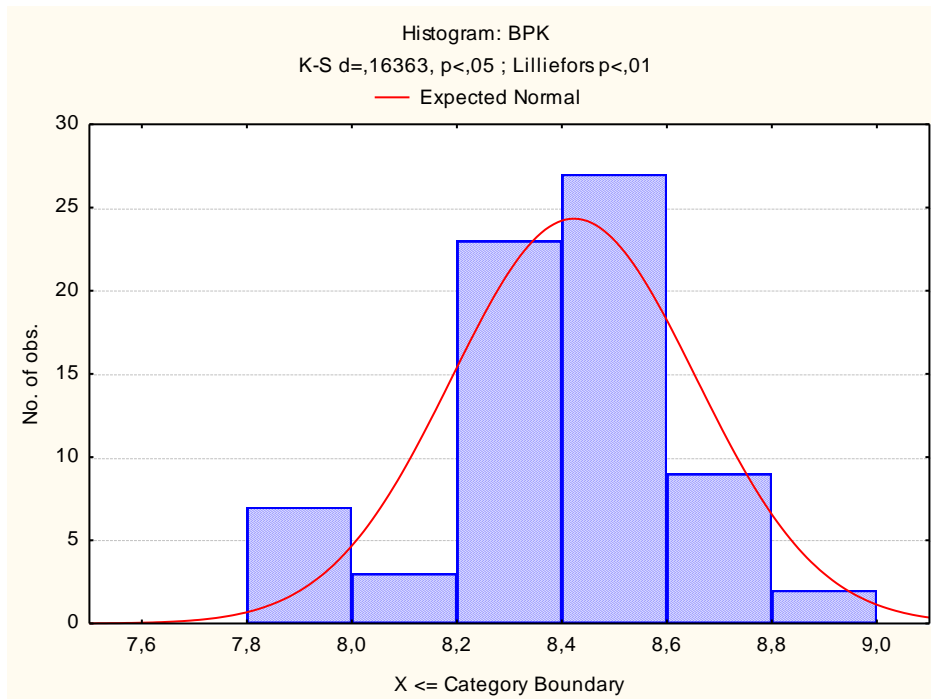
## 10.6. Distribucija rezultata varijable **BPK** kod skakača skoka s motkom (N=71)



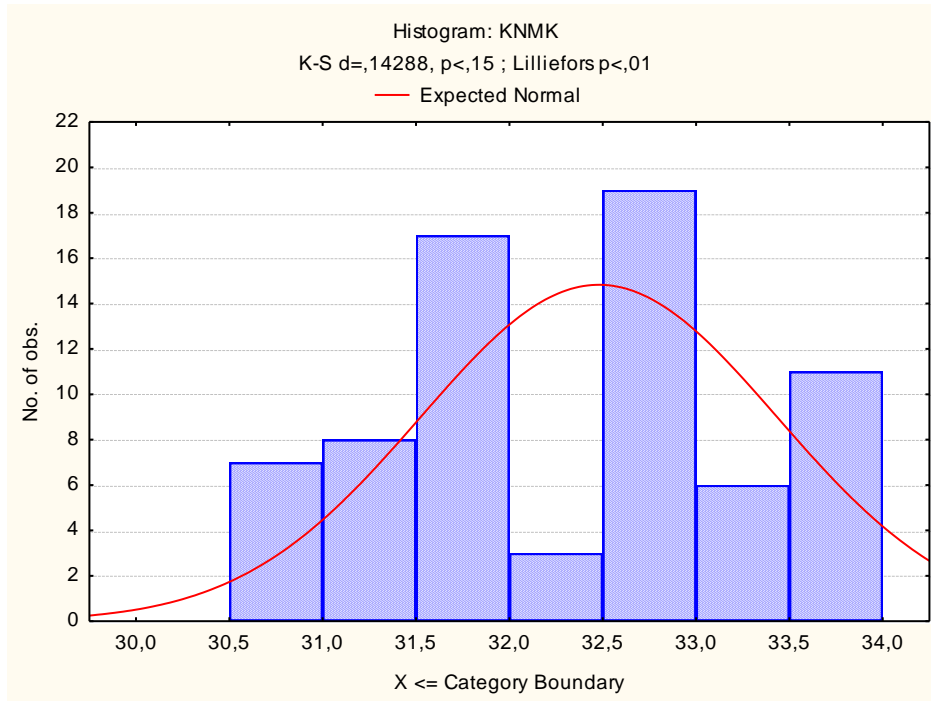
## 10.7. Distribucija rezultata varijable **BO** kod skakača skoka s motkom (N=71)



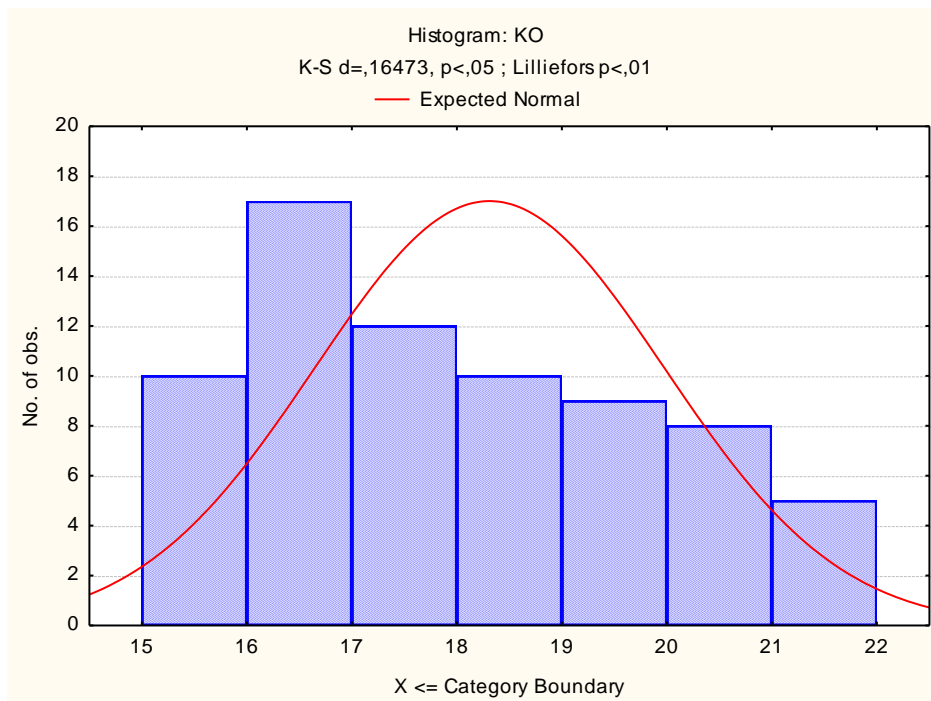
## 10.8. Distribucija rezultata varijable **BPK** kod skakača skoka s motkom (N=71)



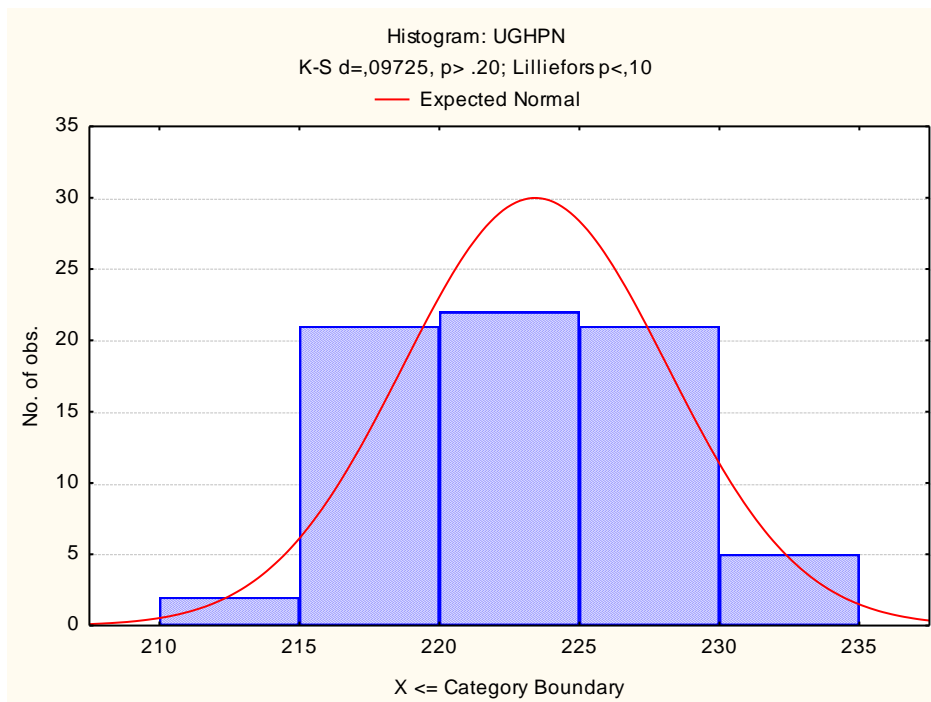
## 10.9. Distribucija rezultata varijable **KNMK** kod skakača skoka s motkom (N=71)



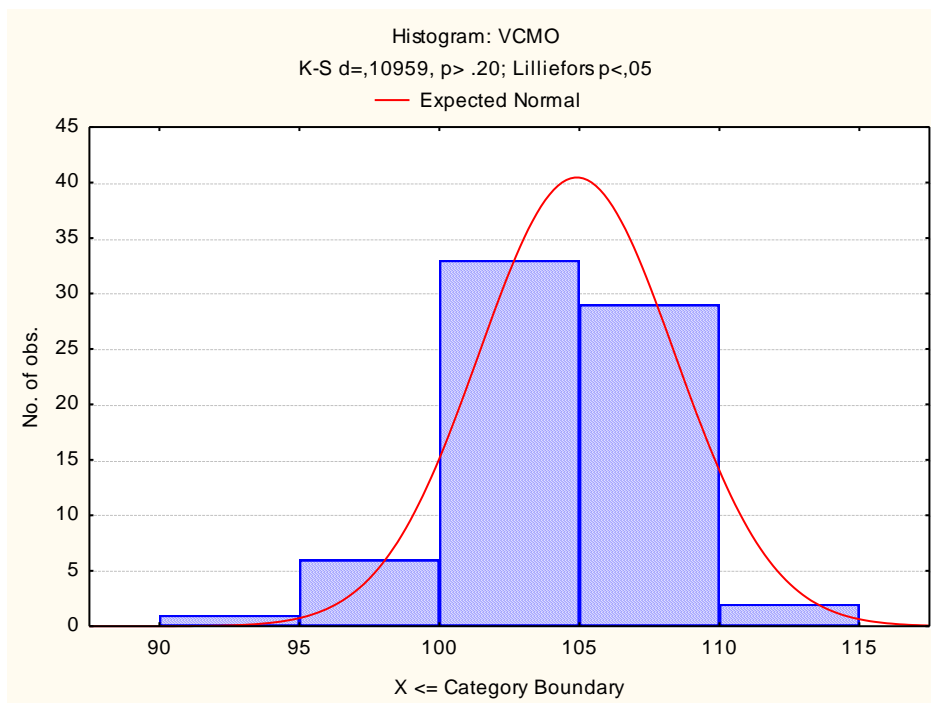
## 10.10. Distribucija rezultata varijable **KO** kod skakača skoka s motkom (N=71)



## 10.11. Distribucija rezultata varijable **UGHPN** kod skakača skoka s motkom (N=71)

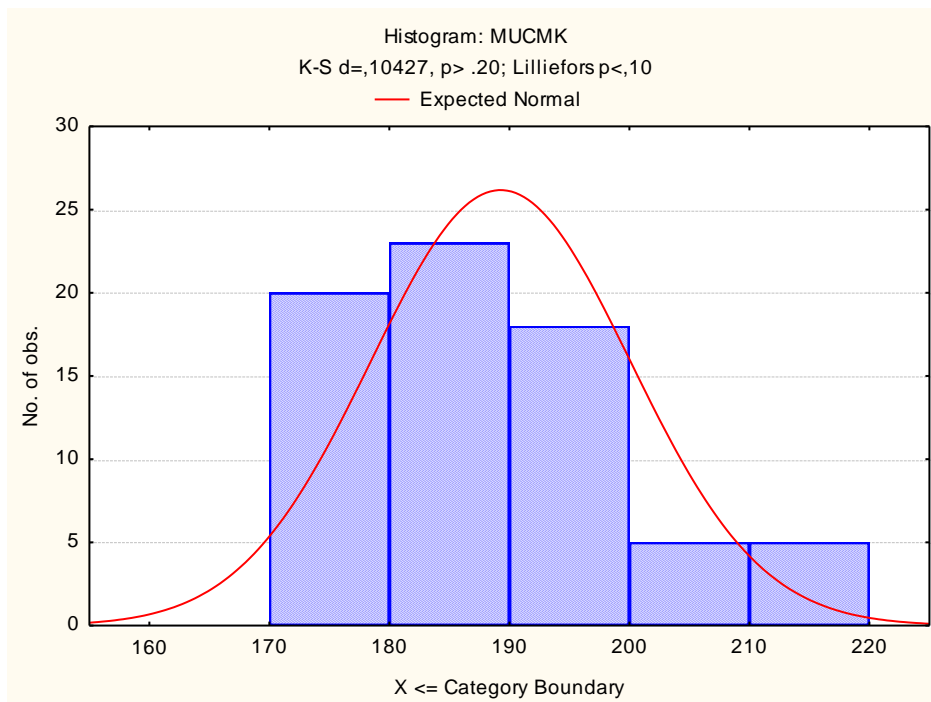


## 10.12. Distribucija rezultata varijable **VCMO** kod skakača skoka s motkom (N=71)



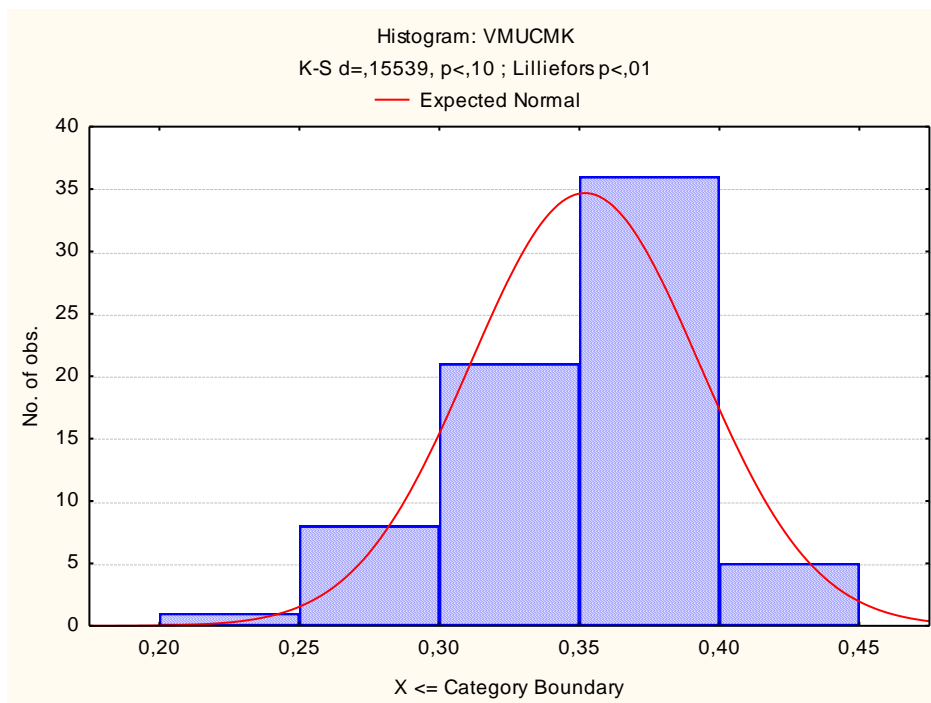
## 10.13. Distribucija rezultata varijable **MUCMK** kod skakača skoka s motkom

(N=71)



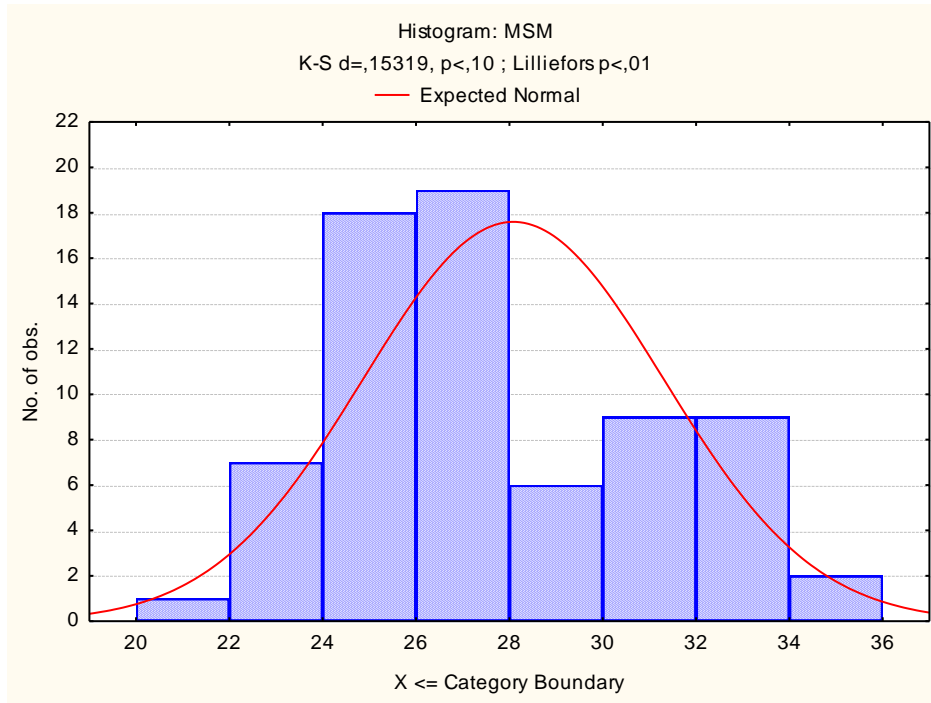
## 10.14. Distribucija rezultata varijable **VMUCMK** kod skakača skoka s motkom

(N=71)

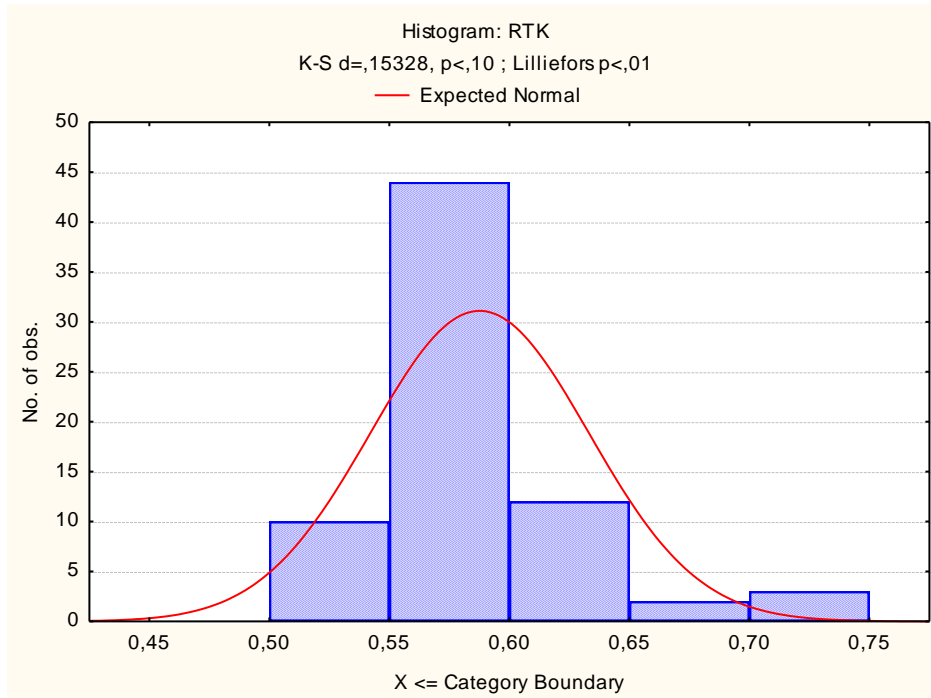




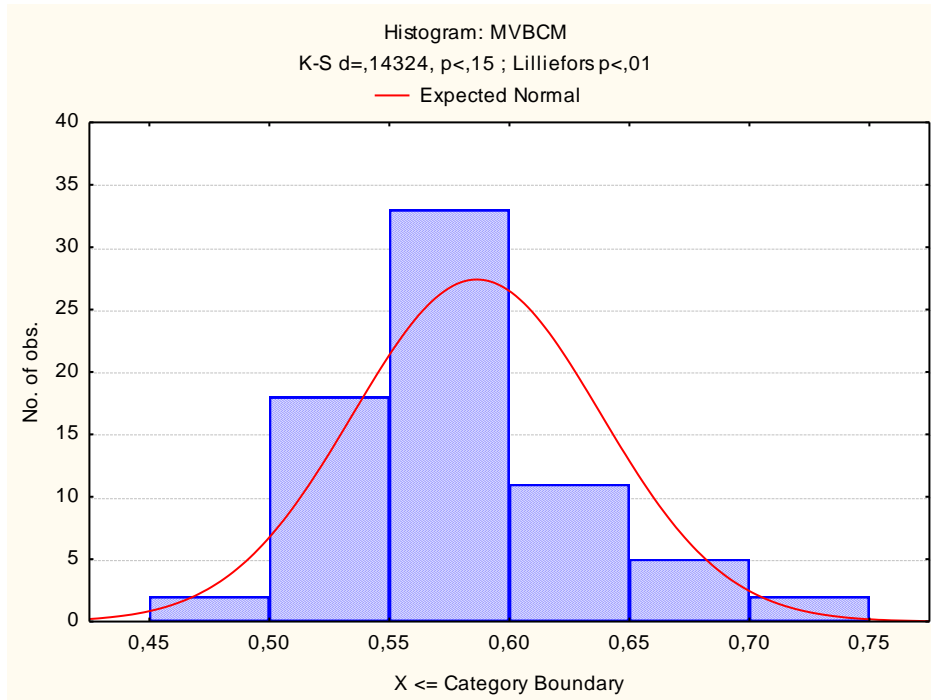
## 10.15. Distribucija rezultata varijable **MSM** kod skakača skoka s motkom (N=71)



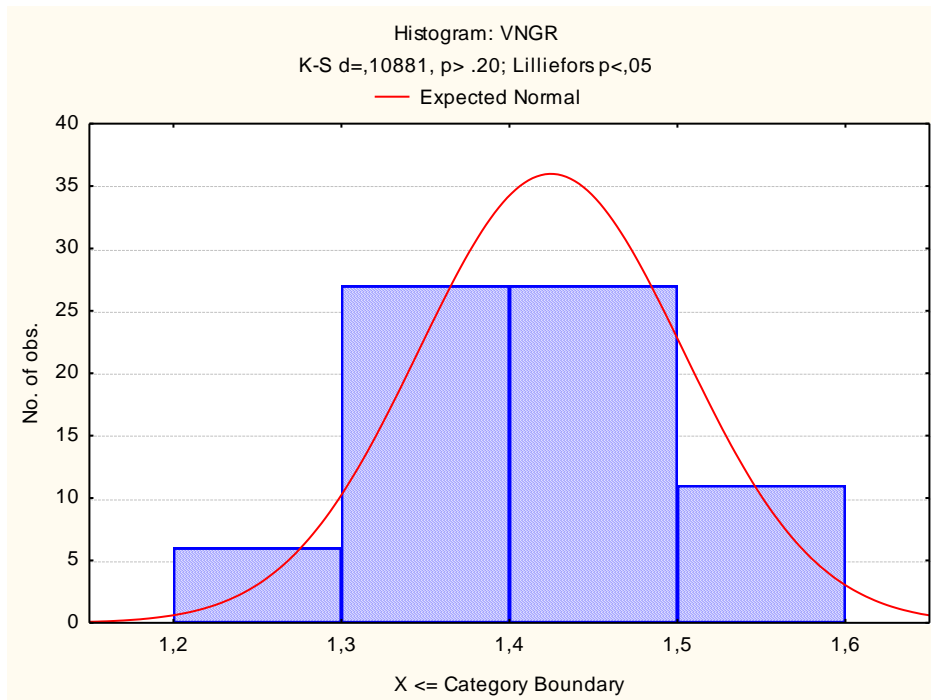
## 10.16. Distribucija rezultata varijable **RTK** kod skakača skoka s motkom (N=71)



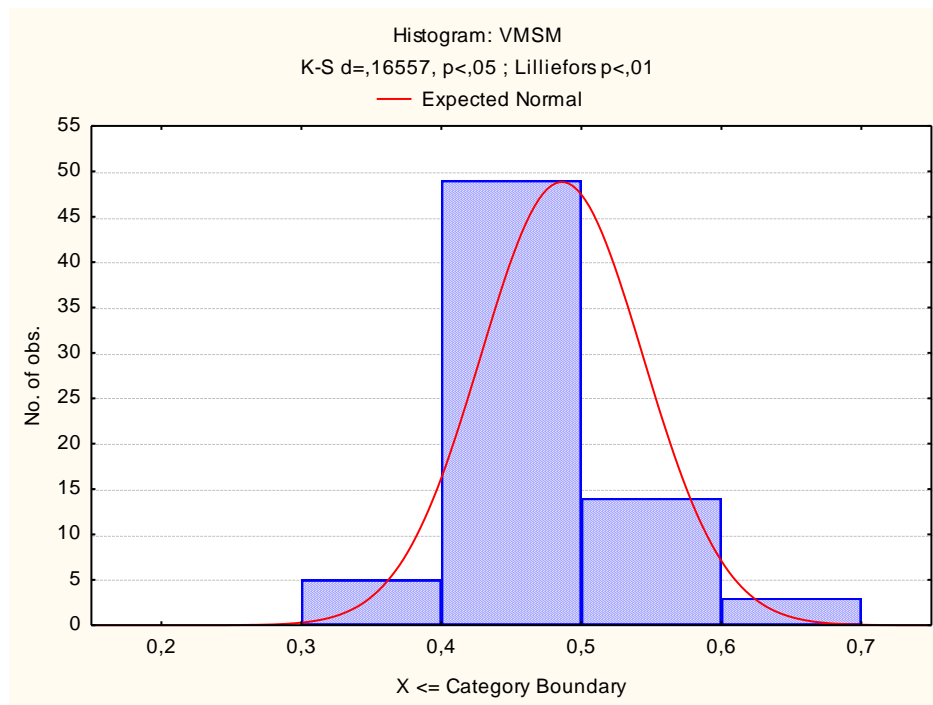
## 10.17. Distribucija rezultata varijable **MVBCM** kod skakača skoka s motkom (N=71)



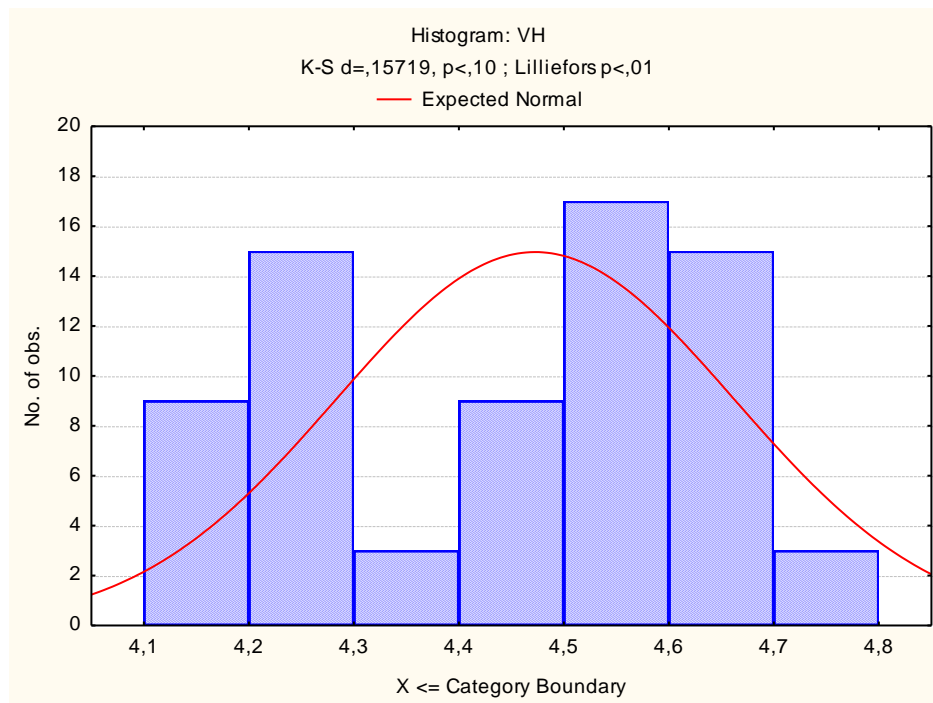
## 10.18. Distribucija rezultata varijable **VNGR** kod skakača skoka s motkom (N=71)



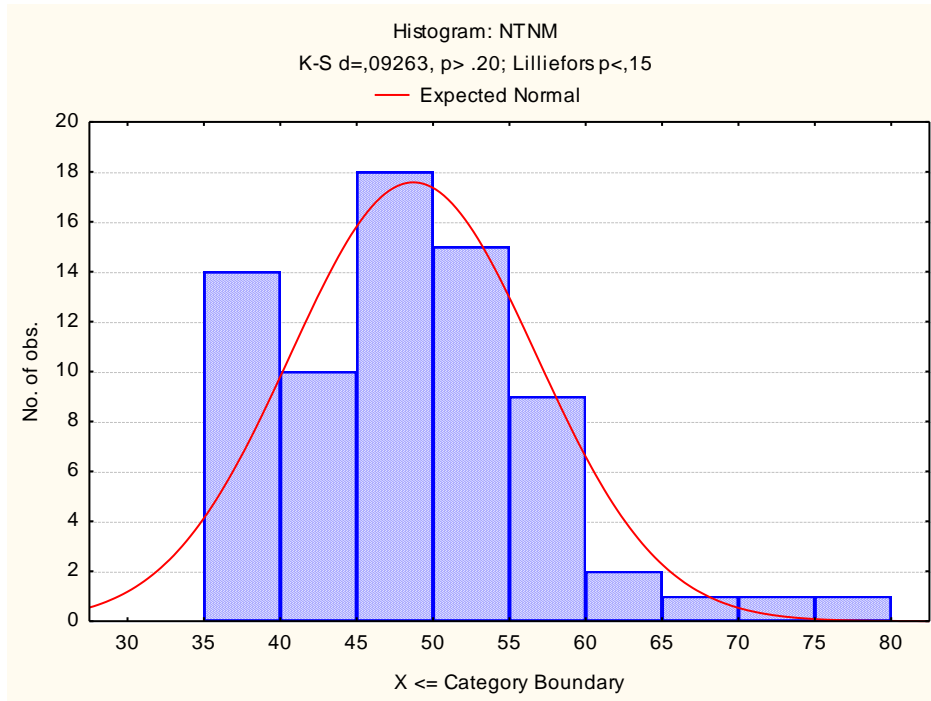
10.19. Distribucija rezultata varijable **VMSM** kod skakača skoka s motkom (N=71)



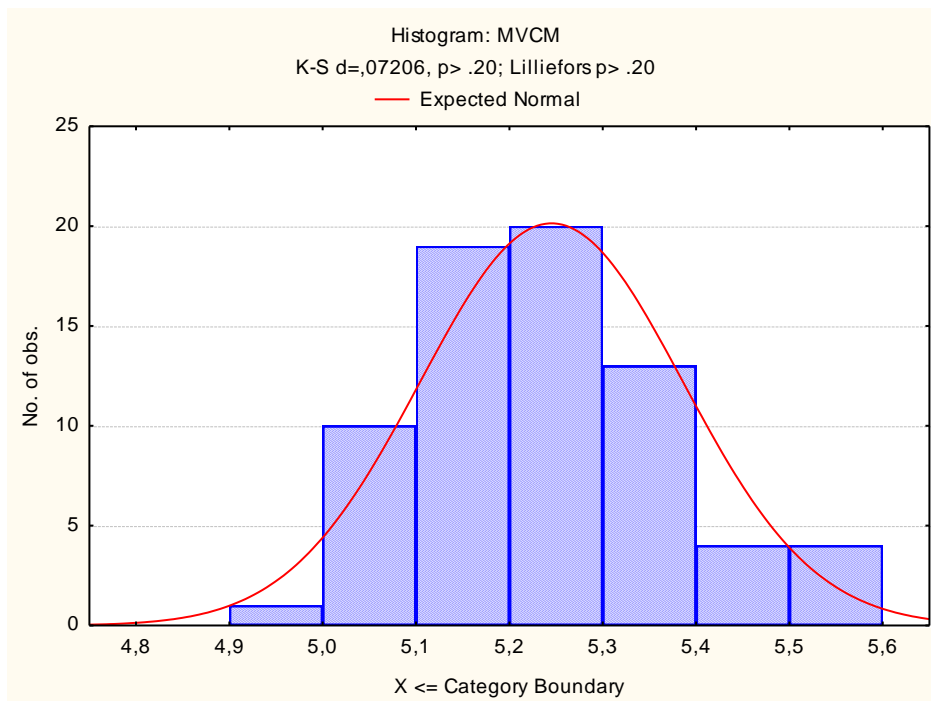
10.20. Distribucija rezultata varijable **VH** kod skakača skoka s motkom (N=71)



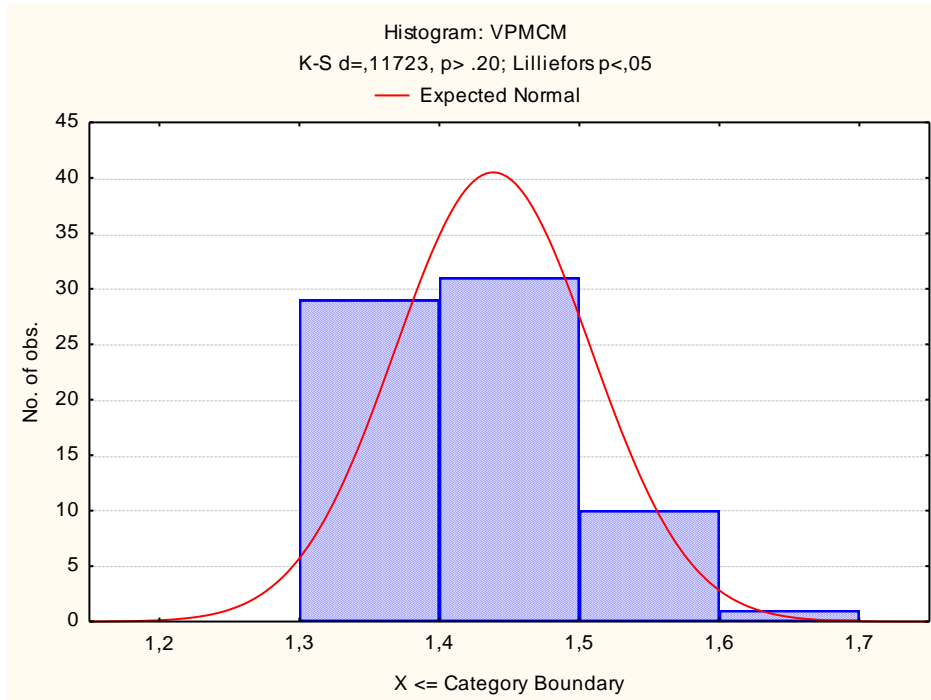
## 10.21. Distribucija rezultata varijable **NTNM** kod skakača skoka s motkom (N=71)



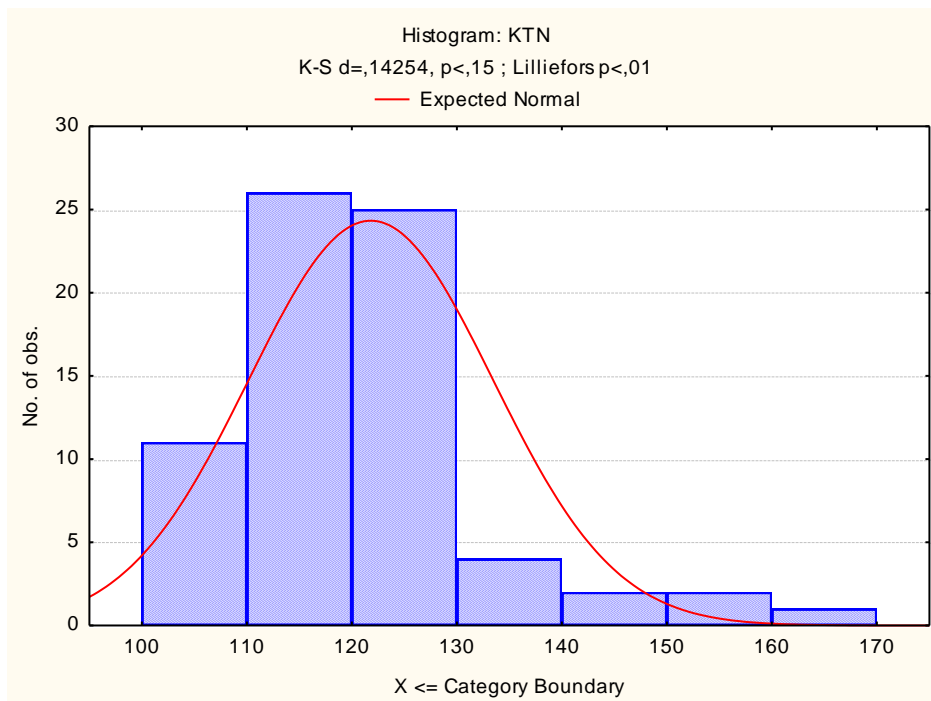
## 10.22. Distribucija rezultata varijable **MVCM** kod skakača skoka s motkom (N=71)



## 10.23. Distribucija rezultata varijable **VPMCM** kod skakača skoka s motkom (N=71)



## 10.24. Distribucija rezultata varijable **KTN** kod skakača skoka s motkom (N=71)



## 10.25. Distribucija rezultata varijable **NTMP** kod skakača skoka s motkom (N=71)

