

# Kinematičko i ekspertno modeliranje odabranih elemenata tehnike u rukometu

---

**Burger, Ante**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2016**

*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:221:022056>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

**DOKTORSKI STUDIJ**

**ANTE BURGER**

**KINEMATIČKO I EKSPERTNO  
MODELIRANJE ODABRANIH  
ELEMENATA TEHNIKE U RUKOMETU**

**DOKTORSKA DISERTACIJA**

**SPLIT, OŽUJAK 2016.**

**UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF KINESIOLOGY**

**DOCTORAL STUDIES**

**ANTE BURGER**

**KINEMATIC AND EXPERT MODELLING  
OF SELECTED HANDBALL TECHNIQUE  
ELEMENTS**

**DOCTORAL THESIS**

**SPLIT, MARCH 2016.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

**DOKTORSKI STUDIJ**

ANTE BURGER

**KINEMATIČKO I EKSPERTNO  
MODELIRANJE ODABRANIH  
ELEMENATA TEHNIKE U RUKOMETU**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: prof. dr. sc. Nenad Rogulj

SPLIT, OŽUJAK 2016.

Dana 04. ožujka 2016. godine, Ante Burger, prof., **obranio** je doktorsku disertaciju pod naslovom:

**KINEMATIČKO I EKSPERTNO MODELIRANJE  
ODABRANIH ELEMENATA TEHNIKE U RUKOMETU**

pod mentorstvom dr.sc. Nenada Rogulja, redovitog profesora na Kineziološkog fakultetu u Splitu, i sumentorstvom dr.sc. Vladana Papića, redovitog profesora u trajnom zvanju Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu

javnom obranom pred Stručnim povjerenstvom u sastavu:

1. dr.sc. Nebojša Zagorac, izvanredni profesor Kineziološkog fakulteta u Splitu, predsjednik
2. dr.sc. Zoran Grgantov, redoviti profesor Kineziološkog fakulteta u Splitu, član
3. dr.sc. Vladan Papić, redoviti profesor u trajnom zvanju Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, član
4. dr.sc. Igor Jelaska, docent Kineziološkog fakulteta u Splitu, član
5. dr.sc. Marijana Čavala, znanstveni suradnik Kineziološkog fakulteta u Splitu, član

Pozitivno izvješće Povjerenstva za ocjenu doktorske disertacije prihvaćeno na sjednici Fakultetskog vijeća održanoj dana 24. veljače 2016. godine.

*Zahvaljujem svome mentoru prof. dr. sc. Nenadu Rogulju na nesebičnoj pomoći tijekom izrade ove disertacije te na potpori koju mi je pružao od mog ulaska u svijet rukometa prije dvadeset godina vodeći me kroz život kao trener, profesor i životni uzor.*

*Također zahvaljujem prof. dr. sc. Vladanu Papiću na tehničkoj potpori prilikom snimanja i pomoći tijekom izrade disertacije te dr. sc. Ivi Stančiću koji mi je svojim znanjem i iskustvom pomagao u kinematičkoj analizi.*

*Zahvaljujem i svim članovima povjerenstva koji su dali konstruktivne savjete te doprinijeli da ova disertacija bude što kvalitetnija.*

*Obitelji zahvaljujem na strpljenju i pomoći.*

*Na kraju zahvaljujem svojim trenerima, profesorima i igračima od kojih sam mnogo naučio tijekom svoje igračke i trenerske karijere.*

*Disertaciju posvećujem svojim roditeljima*

## SAŽETAK:

Konačni cilj ovog istraživanja bio je definirati matematički algoritam za detekciju kakvoće odabranih motoričkih znanja u rukometu. Sukladno cilju, najprije je izvršena kinematička analiza izvedbe dvaju najutilitarnijih elemenata tehnike rukometne igre, skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja na dvije kvalitativno različite skupine ispitanika u laboratorijskim uvjetima. Analiza je provedena softverskim sustavom GAIT - LABACS koji je konstruiran na FESB-u u Splitu, na uzorku od pet kvalitetnih prvoligaških i pet vrhunskih reprezentativnih igrača. Razlike u kinematičkim parametrima između vrhunskih i kvalitetnih rukometaša analizirane su multivarijantnom analizom varijance. Utvrđena je statistički značajna razlika izvedbe skok šuta u fazama zaleta i leta, kao i u lažnoj fazi izvedbe varke jednostruke promjene smjera kretanja između dviju kvalitativnih skupina rukometaša. Nadalje, u cilju komparacije dobivenog kinematičkog i ekspertnog hipotetskog modela, najprije je izvršena preliminarna analiza objektivnosti ocjenjivanja ekspertnog tima sastavljenog od deset vrhunskih međunarodnih eksperata s dugogodišnjim stručnim i znanstvenim referencama u rukometu. Zabilježena je visoka ujednačenost i objektivnost ocjenjivanja eksperata. U narednoj fazi istraživanja analizirani su osnovni deskriptivni parametri ocjena svih šest ponuđenih varijanti izvedbe kako bi se definirali hipotetski optimalni modeli izvedbe skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja prema mišljenjima eksperata. U predzadnjoj fazi istraživanja putem Spearman-Brownovog koeficijenta rang korelacije analizirana je povezanost dvaju normiranih kinematičkih modela izvedbe vrhunskih i kvalitetnih igrača s ekspertnim modelom. Utvrđena je statistički značajna povezanost između kinematičkog modela izvedbe skok šuta vrhunskih igrača i hipotetskog ekspertnog modela, ali ne i varke jednostruke promjene smjera kretanja. Na uzorku kvalitetnih rukometaša, statistički značajna povezanost između kinematičkog modela izvedbe i hipotetskog ekspertnog modela utvrđena je za oba elementa. U završnom dijelu istraživanja dodatnom ekspertnom evaluacijom važnosti pojedinih faza konstruiran je matematički algoritam za objektivno ocjenjivanje izvedbe analiziranih elemenata tehnike rukometne igre.

**Ključne riječi:** rukomet, kinematika, model, skok šut, varka, algoritam



## **SUMMARY:**

The ultimate aim of this study was to define a mathematics algorithm to detect the quality of selected motor knowledge in handball. With regard to the aim, first we conducted kinematic analysis of the performance of the two most frequently utilized elements in handball technique, jump shot and single side fake movement, in two groups of respondents of different qualities in laboratory conditions. The analysis was conducted by GAIT – LABACS software system designed at the Faculty of Electrical and Mechanical Engineering and Naval Architecture in Split on the sample of 5 quality first league and 5 top national team players. The differences in kinematic parameters between top and quality handball players were analysed by multivariate variance analysis. We established statistically significant difference in the performance of jump shot in run-up and flight phases as well as in the single side fake movement phase between two quality handball players groups. Further on, with the purpose of comparing the obtained kinematic and hypothetical expert model, we first conducted preliminary analysis of objectivity of the expert team evaluation which included ten top international experts with long-term professional and scientific references in handball. We marked a high level of uniformity and objectivity of the experts' evaluation. The following phase of the study involved the analysis of basic descriptive parameters of marks in all of the six suggested performance variants to define hypothetically optimal models for the performance of jump shots and single side fake movement according to the experts' opinion. In the penultimate phase of the study, by Spearman-Brown rank correlation coefficient, we analysed the connection between two standardized kinematic models of the performance in top and quality handball players and the expert model. We established statistically significant connection between the kinematic model of the jump shot performance in top players and the hypothetical expert model, but not in the single side fake movement. On the sample of quality handball players, statistically significant connection between the kinematic model of performance and hypothetical expert model was established in both elements. In the final phase of the study and by an additional expert evaluation of the importance of individual phases, we developed a mathematical algorithm for objective evaluation of the analysed technique elements performance in handball game.

**Key words:** handball, kinematics, model, jump shot, fake movement, algorithm

## SADRŽAJ:

<u>1. UVOD I PROBLEM</u> .....	12
<u>2. DOSADAŠNJE SPOZNAJE</u> .....	16
<u>2.1. Dosadašnja istraživanja</u> .....	16
<u>2.1.1. Kinematička i ekspertna istraživanja u rukometu</u> .....	17
<u>2.1.2. Kinematička istraživanja u komparaciji rukometa s drugim sportovima</u> .....	32
<u>2.1.3. Kinematička istraživanja u drugim sportovima</u> .....	35
<u>2.1.4. Ekspertna istraživanja u rukometu</u> .....	47
<u>2.2. Iskustva autora</u> .....	50
<u>3. CILJ ISTRAŽIVANJA</u> .....	51
<u>4. OSNOVNE HIPOTEZE</u> .....	52
<u>5. PLAN ISTRAŽIVANJA</u> .....	53
<u>6. ELEMENTI TEHNIKE</u> .....	54
<u>6.1. Skok šut</u> .....	54
<u>6.1.1. Zalet</u> .....	55
<u>6.1.2. Odraz</u> .....	55
<u>6.1.3. Let</u> .....	55
<u>6.1.4. Izbačaj</u> .....	56
<u>6.1.5. Doskok</u> .....	56
<u>6.2. Varka jednostruke promjene smjera kretanja</u> .....	57
<u>7. METODE RADA</u> .....	58
<u>7.1. Uzorak ispitanika</u> .....	58
<u>7.1.1. Uzorak rukometaša</u> .....	58
<u>7.1.2. Uzorak eksperata</u> .....	59
<u>7.2. Uzorak varijabli</u> .....	60
<u>7.2.1. Varijable kinematičke analize</u> .....	60
<u>7.2.1.1. Varijable kinematičke analize skok šuta</u> .....	60

7.2.1.2. Varijable kinematičke analize varke jednostruke promjene smjera kretanja.....	62
7.2.2. <u>Opis referentnih točaka za kinematičku analizu</u> .....	63
7.2.3. <u>Opis varijabli kinematičke analize</u> .....	65
7.3. <u>Varijable ekspertne procjene</u> .....	70
7.3.1. <u>Skok šut</u> .....	70
7.3.1.1. <u>Zalet</u> .....	70
7.3.1.2. <u>Odraz</u> .....	71
7.3.1.3. <u>Let</u> .....	72
7.3.1.4. <u>Izbačaj</u> .....	73
7.3.1.5. <u>Doskok</u> .....	74
7.4.1. <u>Varka jednostruke promjene smjera kretanja</u> .....	76
7.4.1.1. <u>Lažna faza</u> .....	76
7.4.1.2. <u>Stvarna (izvršna) faza</u> .....	77
8. <u>OPIS KINEMATIČKE ANALIZE</u> .....	78
9. <u>METODE OBRADE PODATAKA</u> .....	81
10. <u>REZULTATI I RASPRAVA</u> .....	82
10.1. <u>Rezultati kinematičke analize</u> .....	82
10.2. <u>Rezultati ekspertne procjene</u> .....	108
10.3. <u>Deskriptivni i distribucijski parametri ocjena eksperata za pojedine faze elemenata skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja</u> .....	111
10.4. <u>Usporedba kinematičkog modela kod vrhunskih igrača i hipotetskog ekspertnog modela za element tehnike skok šut</u> .....	118
10.5. <u>Povezanost ocjena eksperata i normiranih frekvencija dobivenih kinematičkom analizom kod vrhunskih rukometaša</u> .....	127
10.6. <u>Usporedba kinematičkog i hipotetskog ekspertnog modela za element tehnike skok šut i varku jednostruke promjene smjera kretanja kod prvoligaških igrača</u> .....	129
10.7. <u>Povezanost ocjena eksperata i normiranih frekvencija dobivenih kinematičkom analizom kod prvoligaških rukometaša</u> .....	133

11. ALGORITAM ZA AUTOMATSKU OCJENU IZVEDBE.....	135
11.1. Primjer konstrukcije matematičkog algoritma na uzorku jednog prvoligaškog rukometaša za element skok šut.....	140
11.2. Primjer konstrukcije matematičkog algoritma na uzorku jednog prvoligaškog rukometaša za element varku jednostruke promjene smjera kretanja.....	144
12. OGRANIČENJA I BUDUĆI PRAVCI ISTRAŽIVANJA.....	146
13. ZNANSTVENI I STRUČNI ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA.....	148
14. ZAKLJUČAK.....	150
15. LITERATURA.....	152
16. PRILOG - Upitnik za ekspertnu procjenu.....	166

## 1. UVOD I PROBLEM

Rukomet spada u kompleksne polistrukturalne kretne aktivnosti acikličkog i cikličkog tipa koje sadrže sve prirodne oblike kretanja. Specifičnost rukometa ogleda se u izrazitoj kineziološkoj raznolikosti, odnosno zastupljenosti velikog broja cikličkih i acikličkih kretnih struktura. Kao rijetko koja sportska igra, on sadržava brojne prirodne vidove kretanja poput trčanja, skokova, padova, kotrljanja i bacanja. Uslijed svoje tehničko-taktičke složenosti te fizičke i psihološke zahtjevnosti traži potpuni angažman (Rogulj, 1993). Pravilnost tehnike i kvaliteta motoričkih znanja esencijalni su čimbenici učinkovite izvedbe pojedinog rukometnog elementa.

Kao i druge sportske igre, rukomet se tijekom povijesnog razvoja kineziološki profilirao, sukladno izmjenama pravila, unapređenju materijalno-tehničkih i organizacijskih uvjeta treninga i natjecanja, a posebno zbog aplikacije novih i znanstveno utemeljenih trenažnih procesa i postupaka odabira. Svi ovi čimbenici doprinijeli su da je rukomet danas jedna od najpopularnijih i najrasprostranjenijih igara s loptom.

Rukometna igra karakteristična je po naglašenom situacijskom sučeljavanju suprotstavljenih ekipa koja se manifestira učestalim kontaktima između napadačkih i obrambenih igrača (Rogulj i sur., 2007). Izuzetno brze akcije s višestruko acikličkim pokretima zahtijevaju kompleksnu sposobnost igrača i visok nivo koordinacijskih, kondicijskih i kognitivnih sposobnosti. Složenost ovakvih zahtjeva u igri definira spremnog rukometaša koji je u mogućnosti precizno i maksimalno te u optimalnom vremenu i intenzitetu riješiti svaki postavljeni zadatak.

Tehnika rukometne igre važan je prediktor uspješnosti u ovoj sportskoj igri. U svom istraživanju Rogulj (1995) definira optimalnu tehniku koja igraču osigurava najučinkovitiju, najracionalniju i najsvrhovitiju provedbu zadanog kretanja uz minimum narušavanja energijskog potencijala, dok Zatsiorsky (2000) opisuje tehniku kao izvršnu motoričko-nervno-mišićnu aktivnost, odnosno motoričku realizaciju zamišljenog kretanja u skladu s osnovnim biomehaničkim principima.

Idealna tehnika je znanstveno najkvalitetnije projektirano kretanje u skladu s biomehaničkim zakonitostima (Rogulj i sur., 2004). Isto tako, idealna tehnika ne mora bezuvjetno biti i najbolja za svakog igrača jer se oni međusobno razlikuju u motoričkim i morfološkim značajkama. Dolenc i sur. (1996) vrše podjelu tehnike u rukometu na tehniku igre u obrani i tehniku igre u napadu. Obrambena je tehnika podijeljena na igračevu tehniku i tehniku vratara, dok je tehnika napada podijeljena na tehniku s loptom i tehniku bez lopte. Skok šut i varka promjene smjera kretanja koji su predmet ovog istraživanja spadaju u napadačku tehniku s loptom.

Osnovna podjela tehnike rukometne igre koju je postavio Rogulj (2000) tehnika je igre s loptom i tehnika igre bez lopte. Udarci na vrata su motorička, tehnička i taktička aktivnost bacanja lopte prema vratima (Dvoršek, 2012). Udarac na vrata jest najutilitarniji element individualne tehnike s loptom kojom se konkretizira igra, tj. postiže gol. Na uzorku entiteta od 134 tehničko-taktička elementa rukometne igre Vuleta (1997) sistematizira elemente po važnosti na osnovi ekspertne procjene. Rezultati su pokazali da je tehnički element skok šut sa zadržkom s ocjenom 5,0 na prvom mjestu po važnosti za uspjeh vanjskog igrača u rukometu. Isto tako, Wagner i sur. (2008a) provode istraživanje gdje su dobiveni podatci prema kojima 73 – 75 % svih upućenih udaraca na gol završava skok šutom.

Na temelju dosadašnjih istraživanja (Eliasz, 1996; Foretić i sur., 2005) udarac na vrata svrstava se među najvažnije elemente koji određuju rezultatsku uspješnost u rukometnoj igri te se smatra da će igrači kojima lopta brže leti prema голу imati veću šansu postizanja pogotka.

Šutiranjem se smatra bacanje lopte u vrata koje za cilj ima postizanje zgoditka. Udarci na vrata razlikuju se od dodavanja u snazi i brzini izbačaja lopte. Dok se dodavanje lopte usmjerava suigraču, udarci su usmjereni prema vratima i vrataru. U odnosu na način kretanja lopte, razlikuje se pravocrtno, parabolično, šutiranje odbijanjem lopte i kretanje lopte s rotacijom.

Obilježja udaraca na vrata višestruka su te se mogu pronaći različiti načini prema kojima bi se napravila podjela. Ipak, prema osnovnim zakonitostima tehnike izvedbe ona se dijele u dvije grupe:

- a) udarci na vrata iz skoka ili zraka
- b) udarci na vrata iz uporišta ili sa zemlje.

U svojoj doktorskoj disertaciji Vuleta (1997) definira 21 različiti udarac na gol te ih svrstava po prethodnoj podjeli na šutiranje s tla i šutiranje u skoku.

Varka s loptom jedan je od najsvrhovitijih elemenata individualne tehnike, a igrač koji dobro uvježba varku opasan je za protivničku obranu. Rogulj (2000) definira varke objašnjavajući ih kao tehnički element pomoću kojeg igrač u napadu stječe vremensku ili prostornu prednost u odnosu na obrambenog igrača koji ga čuva što mu omogućava nesmetanu realizaciju ili mu osigurava nastavak tehničko-taktičkog djelovanja u povoljnijim uvjetima u odnosu na protivnika.

Istraživanje koje je proveo Vuleta (2007) pokazalo je da kod vrednovanja tehničko-taktičkih elemenata srednjih vanjskih napadača u rukometu varke zauzimaju visoka mjesta koja definiraju uspješnost za ovu poziciju. Varka promjene smjera i brzine kretanja na prvom je mjestu s ocjenom 5,00, dok je varka jednostruke promjene smjera kretanja na drugom mjestu s ocjenom 4,89 po mišljenju eksperata.

Analiza motoričkih znanja moguća je izravnom i posrednom opservacijom, ekspertnom procjenom, kinematičkom analizom ili kombiniranim metodama. U dosadašnjim istraživanjima najviše su istraživani elementi bacanja na gol, dodavanja i elementi vratarske tehnike. Nekoliko je autora u rukometu u svojim radovima istraživalo kinematički lanac kod elementa skok šuta (Šibila i sur., 2003; Fradet i sur., 2004; Pori i sur., 2005; Ohnjec i sur., 2010; Wagner i sur., 2010; Van den Tillaar i sur., 2007). Sva ta istraživanja obuhvaćala su analizu tehnike skok šuta na manjim uzorcima rukometaša i rukometašica od reprezentativnih do niželigaških. Po saznanju autora nijedno istraživanje nije ponudilo kvalitetan model na uzorku vrhunskih igrača za element skok šut niti predložilo matematički algoritam za valorizaciju njegove izvedbe, dok se varka promjene smjera kretanja uopće nije kinematički analizirala. Kinematička analiza predstavlja važan temelj kvalitetne procjene uspješnosti izvođenja osnovnih motoričkih elemenata u rukometnoj igri.

Osim elemenata koje karakteriziraju rukometnu igru u napadu, provedeno je nekoliko istraživanja gdje su analizirane osnovne vratarske tehnike i objašnjene osnovne kinematičke karakteristike pojedinih elemenata tehnike rukometnih vratara (Rogulj i sur., 2004, Bideu i sur., 2004; Rojas i sur., 2012).

Razvojem sofisticiranih tehnologija omogućava se znanstvenicima i trenerima da razviju nove spoznaje o mehanici gibanja pojedinih elemenata tehnike što znatno ubrzava i poboljšava ostvarivanje vrhunskih rezultata u sportu.

Znanstvenici različito interpretiraju osnovnu formulu biomehanike koju je 1974. godine iznio Herbert Hatze, a koji je biomehaniku definirao kao “znanstvenu disciplinu kojom se istražuje struktura i ponašanje bioloških sustava koristeći zakone mehanike“.

Kinematika je dio mehanike koja izučava kretanje bez obzira na njegove uzroke (Jarić, 1997). Proučavanjem kinematike tijela mjerimo položaje i ubrzavanje figurativnih točaka tijela (centri zglobova, centri težišta dijelova tijela ili cijelog tijela). Kada dobijemo koordinate i položaje tih točaka, možemo odrediti i ostale kinematičke fizikalne veličine kao što su brzina i akceleracija.

Osnovni problem, čijem je rješavanju namijenjeno ovo istraživanje, jest odgovor na pitanje postoji li razlika u tehničkoj izvedbi elementa skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja između vrhunskih (reprezentativnih) i kvalitetnih (prvoligaških) igrača. Nadalje, izvršit će se evaluacija kinetičkog modela komparacijom s hipotetskim modelom definiranim od strane eksperata. U konačnici, intencija je ovog istraživanja, polazeći od definiranih i evaluiranih optimalnih kinematičkih parametara odabranih elemenata, postaviti model i algoritam koji će rukometnim trenerima i stručnjacima omogućiti pouzdanu procjenu kakvoće motoričkih znanja svojih igrača u komparaciji s vrhunskima.



## **2. DOSADAŠNJE SPOZNAJE**

### **2.1. Dosadašnja istraživanja**

Sagledavajući specifičnu problematiku doktorske disertacije, navode se samo ona istraživanja koja se odnose na predmet ovoga rada. Znanstvena istraživanja u ovom području uglavnom su se provodila na uzorcima studenata kineziologije te donekle na uzorcima rukometašica seniorskog uzrasta. Zbog raznovrsnosti kinezioloških struktura u brojnim sportovima, u pregledu dosadašnjih istraživanja iz drugih sportova navode se samo ona kojima su analizirani elementi tehnike slične strukture ili funkcije kao i analizirani rukometni elementi skok šut i varka jednostruke promjene smjera kretanja. Tako su uz kinematička istraživanja iz rukometa najviše analizirana relevantna istraživanja iz tehnike bacanja koplja i tehnike udaraca u vaterpolu koja su slična elementu skok šutu u rukometu. Obuhvaćena su i neka istraživanja iz drugih sportova koja su po tematici i načinu obrade rezultata slična temi ove doktorske disertacije. Stoga, radi lakšeg pregleda dosadašnjih znanstvenih istraživanja, ona su usustavljena u četiri grupe. Prva grupa istraživanja obuhvaća radove na temu kinematičke analize rukometne igre, dok druga grupa obuhvaća radove u kojima se uspoređuje izvedba nekih tehničkih elemenata rukometne igre s izvedbom strukturalno sličnih elemenata tehnike iz drugih sportova. Treća grupa istraživanja obuhvaća istraživanja elemenata tehnike iz drugih sportova koja su po svojoj kineziološkoj strukturi slična promatranim elementima rukometne igre, dok četvrta grupa istraživanja obuhvaća ekspertna istraživanja u rukometu.

### 2.1.1. Kinematička istraživanja u rukometu

**Joris** i suradnici (1985) proučavaju sile i brzinu kod gornjeg bacanja na uzorku od 56 rukometašica koje su analizirane kinematografski. Rezultati su pokazali da je srednja brzina lopte pri izbacivanju  $17,2 \text{ ms}^{-1}$ . Glavni dio rada na lopti (73 %) počinje se događati u posljednjih 50 ms bacanja. Istraživanje je pokazalo da je visoka maksimalna segmentalna brzina jedan od osnovnih preduvjeta za optimalni protok energije na loptu u zadnjoj fazi bacanja. Uzastopne akcije tjelesnih segmenata od većih proksimalnih segmenata do relativno manjih distalnih segmenata, čini se da su povezane s unutarnjim svojstvima mišića i protokom energije od proksimalnih do distalnih segmenata.

**Zvonarek** i suradnici (1997) proveli su istraživanje u vrijednostima kinematičkih parametara relevantnih za izvedbu dviju varijanti skok šuta. Uzorak ovog istraživanja sačinjavala su dvojica vrhunskih rukometaša. Svaki od selektiranih napadača izveo je po dvanaest udaraca na gol. Snimanje je provedeno dvjema kamerama koje su mogle projicirati 60 slika u sekundi. Konstruiran je četrnaestosegmentalni ljudski model. Pomoću njega dobiveno je osamnaest referentnih točaka, dok je devetnaesta točka definirala koordinate centra lopte. Autori su skok šut podijelili na pet faza te je interpretacija prezentirana po fazama zaleta, odraza, leta, izbačaja i doskoka. Rezultati usporedne kinematičke analize skok šuta s vanjske pozicije izvedeni od dvaju elitnih svjetskih rukometaša pokazali su znatne razlike među njima. Kod prvog ispitanika skok je bio nešto niži, a izbačaj lopte bio je u maksimumu trajektorije. Skok kod drugog ispitanika bio je izuzetno visok, baš kao i visina izbačaja lopte. Svaki od ovakvih udaraca na gol ima svoje prednosti i nedostatke te će njihova primjena na utakmici zavisiti o tehničko-taktičkoj situaciji u igri te fizičkoj pripremljenosti igrača.

**Rogulj** i suradnici (2001) analiziraju kinematičke parametre odnoženja koje je jedno od osnovnih defanzivnih reakcija vratara. Istraživanje je provedeno na jednom vrataru prve lige. Izračunate su tri referentne točke (kuk, koljeno i ručni zglob) zajedno s brzinom distalnih dijelova te je izračunata prosječna brzina cijelog momenta. Rezultati kinematičke analize pokazali su da brzina momenta raste progresivno te da doseže maksimum u 9. segmentu, a poslije se smanjuje zbog otpora aduktora stajne noge i vezivnog tkiva u zglobovima. Maksimalna brzina dosegnuta je kod kuta od  $125^\circ$  između noge koja vrši odnoženje i stajne noge.

**Bayios** i suradnici (2001) za cilj svoga istraživanja postavljaju odnos između rotacijske snage ramena i brzine leta lopte kod rukometaša različitih kvalitativnih razina. Analiza je napravljena na tri različita uzorka. Jednu je grupu činilo 15 najboljih igrača prve lige, a drugu grupu 12 najboljih igrača druge lige, dok je treću grupu sačinjavao slučajan uzorak od 15 studenata kineziološkog fakulteta. Sva ispitivanja izvršena su na Cybex2 izokinetičkom dinamometru. Koncentrična akcija unutarnje i vanjske rotacije ramena bila je mjerena 60, 180 i 300 deg/sec. Utvrđena je statistički značajna razlika u brzini leta lopte između kvalitativnih grupa i to za sve vrste bacanja. Rezultati su pokazali da razlika u vrijednosti vršnog okretnog momenta unutarnjeg i vanjskog dijela ramena između grupa nije statistički značajna.

**Parraga** i suradnici (2002) provode ispitivanje na uzorku od 16 ispitanika. Cilj istraživanja bio je dokazati učinak na vrijeme prve reakcije na različite kinematičke faktore koji određuju element skok šut. Korištena je multivarijatna analiza unutar grupa (N = 16) koja je imala dvije nezavisne varijable. Prva varijabla je obuhvaćala vrijeme poticaja, dok je druga varijabla definirala poziciju vratara. Snimanje je obavljeno 2D fotogrametrijskom tehnikom. Dobiveni rezultati ukazuju na dvije vrlo važne činjenice. Brzina izbačaja lopte uvjetovana je poziciji vratara, te je veća kada se vratarska pozicija ne podudara s napadačkom rukom koja je u poziciji kad se vratar dijagonalno nalazi nasuprot šuterskoj napadajućoj ruci. Druga važna činjenica pokazuje da je vrijeme reakcije kod vratara značajno kraće ( $p < 0,001$ ) kad je stimulirano pojavljivanje vremena odgođeno. Radi se o vremenu koje je potrebno igraču da se prilagodi segmentalnoj poziciji kojom započinje kinetički lanac.

**Van den Tillar** i suradnici (2003) svojim su istraživanjima dali značajan doprinos analizi tehnike rukometne igre. U prvom su istraživanju proveli kinematičku analizu osnovnog udarca s tla. Ispitivanje je obuhvatilo devet igrača iz druge norveške rukometne lige koji su već biliiskusni rukometaši s dvanaest odrađenih seniorskih sezona. Ispitanici su imali zadatak da kroz pet različitih pozicija sedam puta šutiraju na gol naglašavajući svaki put točnost i brzinu. Udarac na gol bio je u metu veličine 0,5 X 0,5 m te je ispitivač uvijek birao način šutiranja odabirući brzinu ili preciznost. Rezultati su pokazali da je preciznost šuta na gol pri velikoj brzini bila iznimno mala (35 %) što je indikativno jer suiskusni igrači u rukometu trenirani da bacanje odrade točno i pri velikim brzinama. Isto tako, preciznost se nije poboljšavala kada se ispitanicima nalagalo da se fokusiraju na metu. Moguće je da je na ovakve rezultate utjecala heterogenost skupine ispitanika.

**Šibila** i suradnici (2003) na uzorku od 10 vrhunskih rukometaša napravili su istraživanje koje je za cilj imalo utvrditi razlike u nekim osnovnim kinematičkim parametrima između dviju različitih tehnika skok šuta u rukometu. Snimanje je obavljeno dvjema kamerama koje su imale mogućnost reprodukcije 25 slika u sekundi. Korišteno je 16 referentnih točaka, dok je napravljen petnaestsegmentalni model. Referentne točke zastupljene su na zajedničkim centrima udova na objema stranama tijela te dodatno na točkama atlasa, tjemena i lopte, dok je centar gravitacije izračunat preko Dempster-x. Prema osnovnoj je strukturi skok šut bio podijeljen u pet faza. Izabran je 31 parametar koji predstavlja osnovne kinematičke strukture skok šuta u svim fazama. Obrada podataka obavljena je APAS sustavom (Ariel Performanse Analyses System). Dobiveni rezultati pokazali su bolje rezultate kod ispitanika kada su skok šut izvodili na način gdje se u posljednjem koraku odrazna noga nalazila nasuprot izbačajnoj ruci. Centar gravitacije tijela u drugom slučaju (odrazna noga je na istoj strani kao izbačajna ruka) prije bacanja se znatno prebacio prema naprijed od tijela kao u prethodnom slučaju. Kut između ramene osi i vodoravne osi u sagitalnoj ravnini na kraju odraza bio je znatno veći u prvom slučaju skok šuta sa suprotne noge. Rezultati doskoka kao završne faze skok šuta pokazali su da ispitanici koji su napravili odraz s noge suprotne izbačajnoj ruci imaju doskok na odraznu nogu, dok su ispitanici koji su vršili odraz s noge sukladne izbačajnoj ruci imali doskok na nogu suprotnu izbačajnoj ruci. Istraživanje je uputilo trenere da u trenažnom procesu nauče svoje igrače različite tehnike šutiranja kako bi mogli reagirati u skladu sa situacijama na terenu.

**Fradet** i suradnici (2003) napravili su prijedlog modela rukometnog bacanja koji bi bio prilagodljiv maksimalnom broju kinematičkih parametara kao što su vrijeme izbačaja lopte, položaj ruke na lopti i izbačajni tip. Istraživanje je provedeno na uzorku od 12 rukometaša koji su aktivni igrači u drugoj francuskoj ligi. Igrači su testirani na način da je provedena analiza šuta s tla koji su ispitanici izvodili zadnjim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci i zadnjim korakom noge sukladne izbačajnoj ruci. Isto tako, analizirana su četiri skok šuta na način da je odraz bio s lijeve i desne noge. Snimanje je provedeno pomoću sedam kamera koje su smještene u krugu od devet metara. Prvi put je napravljen model virtualne stvarnosti za ove elemente gdje se mogla testirati i vratareva reakcija. Ovakva vrsta analize postavlja se kao alat za unapređenje znanja o ljudskom pokretu koje je kompleksno analizirati u stvarnim situacijama.

**Van den Tillar** i suradnici (2004a) na uzorku od 40 ispitanika, 20 iskusnih rukometaša i 20 iskusnih rukometašica, provode istraživanje koje je za cilj imalo utvrditi relaciju između maksimalne izometričke snage, antropometrije i maksimalne brzine u gornjem ramenom bacanju. Rezultati su pokazali da je brzina lopte kod muškaraca iznosila  $23,2 \text{ ms}^{-1}$ , a kod žena  $19,1 \text{ ms}^{-1}$ . Korelacija je pronađena između maksimalne izometričke snage i brzine bacanja (muškarci  $r = 0,43$ ,  $p = 0,056$ ; žene  $r = 0,49$ ,  $p = 0,027$ ). Upotrijebljena je univarijatna analiza varijance između izometričke snage i brzine bacanja te nije pronađena statistički značajna razlika između spolova. Dobiveni rezultati pokazali su da veličina tijela ima pozitivan efekt na bacačku tehniku i izometrijsku snagu.

**Van den Tillar** i suradnici (2004b) mjerili su odnos sile i brzine u gornjem bacanju kod rukometaša. Sedam iskusnih rukometaša druge norveške rukometne lige sudjelovalo je u istraživanju koje je provedeno pomoću kamera brzine 240 slika u sekundi i lopticama od 0,2 do 0,8 kg. Promatrani su brzina zglobova gornjih ekstremiteta i lopte, dok je snaga na loptu izvađena iz rezultata mjerenja. Rezultati su pokazali da se povećanjem težine lopte povećava ukupno vrijeme bacanja. Isto tako, nije bilo značajne promjene u tehnici izbačaja prilikom testiranja koje je provedeno s lopticama različite težine. Dobivenim modelom utvrđeno je da se lopta otpušta zbrajanjem učinaka brzine lakatne ekstenzije i unutarnje rotacije ramena. Svi dobiveni rezultati upućuju da je važnost unutarnje rotacije ramena i lakatne ekstenzije jedan od najvažnijih elemenata koji doprinose ukupnoj brzini lopte pri izbačaju.

**Fradet** i suradnici (2004) za cilj svoga rada postavili su analizu segmenta izbačajne ruke tijekom rukometnog bacanja. Rezultati prethodnih istraživanja pokazali su da je proksimalni slijed dosegao svoju linearnu brzinu prije distalnog. Potaknuti takvim istraživanjima, autori su u ovom radu dobili rezultate u kojima je maksimalna linearna brzina ramena došla nakon maksimalne linearne brzine lakta. Štoviše, maksimalna kutna brzina gornjeg torza dogodila se kasnije nego brzina lakta.

**Bideau** i suradnici (2004) koristili su virtualnu stvarnost kako bi analizirali kinematiku pokreta kod rukometaša i reakciju vratara. Uzorak je sačinjavalo osam vratara od kojih su trojica bila iz prve francuske lige, trojica iz druge lige i dvojica iz treće lige. Analiza je napravljena pomoću tri sinkronizirana video projektora koji su korišteni za stvaranje 3D slike. Virtualna stvarnost korištena je za dizajn i reprodukciju u kontroliranim uvjetima. Testiranje je obavljeno na način da je sniman pokret vratara kako bi se usporedila reakcija u dva

odvojena bacanja gdje je samo jedan element modificiran. Dobiveni rezultati ukazali su da postoji statistički značajna razlika ( $p < 0,003$ ) u reakciji vratara prilikom dvaju različitih modela šutiranja.

**Rogulj** i suradnici (2004) na jednom vrataru prve državne rukometne lige proučavaju dva osnovna pokreta koji dominantno participiraju kod obrane vratara, a to su ručna adukcija i ručna abdukcija. Kinematički parametri ručne abdukcije i adukcije pokazali su smanjenu brzinu u početnom momentu izvođenja tijekom opterećenja mišićne sile koji treba probuditi sistem i statičkog stanja u zadnje stanje zbog aktivacije mišića antagonista da zaustave pokret. Maksimalna brzina tijekom ručnog pokreta abdukcije dovedena je do segmenta koji je u korespondenciji s kutom od  $118^\circ$  između gornje ruke i trupa. Isto tako, prosječna brzina ručne adukcije prelazi ručnu abdukciju prosječnom brzinom od 6 %, a maksimalnom brzinom od 16 % što je posljedica utjecaja ponajviše sile teže.

**Pori** i suradnici (2005) provode istraživanje koje je metodološki najbližije ovoj doktorskoj disertaciji. Stručnjaci s Ljubljanskog fakulteta za sport proveli su istraživanje na uzorku od 10 rukometaša od kojih su šestorica bili vanjski napadači, dvojica krilni igrači te dvojica kružni napadači. Korišteno je sedamnaest varijabli koje su predstavljale pet faza skok šuta. APAS sustavom napravljena je kinematička analiza. Da bi se provjerila valjanost kinematičkog modela, izvedbu skok šuta također je procjenjivalo troje neovisnih sudaca. Podatak da se od ukupnog broja udaraca na gol više od polovice izvodi s pozicija vanjskih napadača, a od toga se 60 % izvede tehnikom skok šuta, dao je ekspertima polaznu točku u ovome radu. Cilj je bio usporediti ekspertne podatke o izvedbi skok šuta pojedinog igrača s postavljenim modelom. Razina pouzdanosti između eksperata bila je poprilično visoka ( $W = 0,875$ ), isto kao i koeficijent korelacije između aktualnog ranga i ranga sudaca koji je bio statistički značajan (0,91). Dobiveni rezultati upućuju na konstrukciju modela tehnike specifičnih za pojedinu igračku poziciju kao pouzdanog kriterija za procjenu kvalitete motoričkih znanja u rukometu.

**Šibila** i suradnici (2005) provode istraživanje na jednom ispitaniku, vrhunskom slovenskom rukometnom reprezentativcu. Ispitanik Aleš Pajović (197 cm, 100 kg, 26 godina) morao je napraviti tri skok šuta koji su snimljeni SVHS video kamerom reprodukcije 50 slika u sekundi. Analiza je napravljena pomoću APAS sustava. Petnaestosegmentalni model ljudskog tijela dijagnosticiran je u koordinatama referentnih točaka. Dodatna promatrana točka bila je

lopta. Dobiveni rezultati bili su u koliziji s prethodnim istraživanjima ovoga tipa drugih autora. Povećanje kutne brzine svakog pojedinog segmenta u kinematičkom lancu spojeno je sa zaustavljanjem proksimalnog dijela (kutna brzina lakta bila je veća nakon zaustavljanja pokreta ramena, ručni zglob nakon zaustavljanja lakta itd.).

**Rogulj** i suradnici (2005) analiziraju niski ispad kod vratara prve hrvatske rukometne lige. Ovaj element koristi se pri udarcima iz veće udaljenosti koji su upućeni u donje dijelove gola. Osobine su mu da pokazuje relativno nisku brzinu "donje" ispadne noge u početnoj i srednjoj fazi izvedbe pokreta. Završna faza je nešto brža, a razlog tome je ekstenzija donje noge „odrazno“ i kontrakcije mišića na prednjoj strani mišića natkoljenice. Doprinosa istraživanja odnosi se na mogućnost dijagnosticiranja pogreške u izvedbi gibanja vratara te optimiziranje pozicije tijela u osnovnoj vratarskoj pozi.

**Wagner** i suradnici (2006) proveli su istraživanje na 15 rukometaša podijeljenih u tri skupine s ciljem analize kinematičkih parametara vertikalnog skok šuta. U prvoj su skupini bili vrhunski austrijski igrači, u drugoj seniorski igrači regionalne razine, dok su treću skupinu sačinjavali juniori. Ispitanici su izvodili vertikalni skok šut gdje doskok nije smio biti duži od 1 metra od točke odraza. Snimanja su obavljena kamerama koje mogu reproducirati 250 slika u sekundi. Značajne razlike između grupa identificirane su za brzinu lopte, segment brzine prsta i ručnog zgloba, kut ramene fleksije i ekstenzije, maksimalnu brzinu rotacije te lakatno savijanje i lakatno odstupanje od ručnog zgloba.

**Gutierrez** i suradnici (2006) za cilj istraživanja postavljaju analizu prilagodbe tehnike šutiranja u odnosu na protivnika. Za analizu su uzete najčešće obrambene akcije na Svjetskom rukometnom prvenstvu u Portugalu 2003. godine. Analizirano je šutiranje protiv obrane i bez obrane na uzorku rukometaša koji igraju u drugoj španjolskoj ligi. Snimanje je obavljeno kamerama koje mogu reproducirati 50 slika u sekundi, dok je sinkronizacija u vremenu napravljena putem elektronskog slajda. Statistički značajne razlike ( $p < 0,001$ ) pronađene su u tzv. istiskivanju vremena (vrijeme bijega prije šuta) u situacijama kada se obrambeni igrač nalazi ispred napadača.

**Schrorer** i suradnici (2007a) ispituju uzorke pokreta kod petorice ljevorukih rukometaša koji su različitih kvalitativnih razina, u rasponu od početnika pa sve do igrača nacionalne razine. Zadatak ispitanicima bio je šutirati u tri označena sektora kao da su vratari prisutni. Autori su

koristili kontinuirano vrijeme te su upotrijebljeni 3D podatci za procjenu interindividualnih obrazaca pokreta. Klaster analizom dobiveni su rezultati koji ukazuju na visoku stopu učinkovitosti jer je 92 % pokušaja završilo uspješno. Naglašena je varijabilnost u rezultatima neiskusnih bacača dok su napredni bacači postigli konzistentne rezultate prilikom šutiranja u zadane sektore.

**Van den Tillar** i suradnici (2007) na uzorku od 11 rukometaša koji igraju u prvoj norveškoj rukometnoj ligi provode istraživanje s ciljem analize doprinosa gornjih ekstremiteta pokretu bacanja. Analiza je uključivala sljedeće kinematičke parametre: maksimalne kutove, kutove izbacivanja lopte, maksimalne kutne brzine zajedničkih pokreta i njihovo vrijeme tijekom bacanja. Dobiveni rezultati ukazali su na značajnu povezanost kuta lakta i razine unutarnje rotacije pri izbacivanju lopte s bacačkom izvedbom. Druga značajna korelacija je između maksimalnog kuta zdjelice i brzine lopte koja ukazuje da bolji pucači startaju ranije s rotacijom zdjelice prema naprijed tijekom bacanja. Konačni je zaključak istraživanja da su maksimalna interna brzina vrtnje, vrijeme nastanka ovog parametra te lakatna ekstenzija pri ispuštanju lopte važni parametri koji omogućavaju učinkovitu provedbu bacanja u rukometu.

**Rogulj** i suradnici (2007) na uzorku od 42 studenta prve godine studija kineziologije u Splitu analiziraju utjecaj bazičnih motoričkih sposobnosti na brzinu lopte kod udarca iz skoka i s podloge u rukometu. Prediktorski sustav sastojao se od osam varijabli namijenjenih za procjenu brzine, agilnosti, frekvencije pokreta, izdržljivosti te eksplozivne i repetitivne snage, dok je brzina kretanja lopte u svojstvu kriterijske varijable mjerena radarskim pištoljem. Rezultati regresijske analize ukazuju da motorička efikasnost u znatnoj mjeri determinira brzinu kretanja lopte. Pojedinačno, brzina kretanja lopte kod udarca iz skoka i s podloge na razini statističke značajnosti determinirana je samo eksplozivnom snagom u vidu izbačaja. To je razumljivo jer upravo ova sposobnost s kineziološkog i anatomskeg aspekta u najvećoj mjeri uvjetuje kinetičku (u smislu kinetičkog lanca i slijeda pokreta) učinkovitost izbačaja lopte u rukometu.

**Wagner** i suradnici (2008b) postavljaju u svom istraživanju cilj koji će osim znanstvenog istraživanja imati i praktičnu primjenu kod rukometaša. Naime, spomenuti cilj istraživanja očituje se u sveobuhvatnoj, učinkovitoj i praktičnoj studiji koja će ponuditi igračima mogućnost da povećaju kvalitetu svoje izvedbe u kojoj se analiziraju učinci mjerenjem kinematičkih parametara. Analiza je provedena na uzorku koji su činila dva rukometaša



različitih kvalitativnih sposobnosti. Ispitanici su mjereni kroz pet različitih ponavljanja (test i četiri ponavljanja testa) te su izmjereni kinematički podaci za svakog ispitanika kroz različite faze izvedbe. Rezultati istraživanja pokazuju porast u brzini izbačaja lopte, promjeni obrasca kretanja u fazi zaleta, kao i povećanje segmentalne brzine kod obojice ispitanika.

**Fábrica Gabriel** i suradnici (2008) promatraju utjecaj umora i igračev položaj u rukometnoj utakmici te kut lakta i brzinu izbačaja u ženskom rukometu pri udarcu sa sedam metara. Uzorak su bile igračice urugvajske ženske rukometne reprezentacije, dok je provedena 2D kinematička analiza u lateralnom planu. Brzina lopte i izlazni kut analizirani su uzimajući u obzir vrijeme igre i igračevu poziciju, vanjskog igrača ili krila, koristeći upareni uzorak t-testa ( $p < 0,005$ ). Dobiveni rezultati pokazali su da su znatno veće brzine izmjerene u prvom poluvremenu nego u drugom ( $p = 0,0006$ ). Bekovi su zabilježili znatno veće brzine izbačaja lopte u odnosu na krilne igrače.

Kut lakta izbačajne ruke pokazuje da nema razlika u tehnici izbačaja tijekom utakmice ( $p = 0,43$  i  $p = 0,63$ ) između ispitanika. Rezultati malih varijacija u kutovima šutiranja interpretirani su od autora kao pokazatelj da povećanjem umora mišića ne dolazi do većeg narušavanja tehnike izbačaja kod ispitanika.

**Ettema** i suradnici (2008) na uzorku od 13 rukometašica provode istraživanje kojemu je cilj usporediti specifični otpor u trenažnom procesu (moment bacanja s ramenicom - uređaj) s efektima regularnog treninga (bacanje s redovnim loptama) na brzinu gornjeg bacanja pod različitim uvjetima. Prva grupa ( $n = 7$ ) trenirala je s otporom tri puta tjedno, osam tjedana, gdje su uz svoje standardne rukometne treninge imali i treninge s opterećenjem. Druga grupa ( $n = 6$ ) trenirala je standardno samo rukometne treninge. Rezultati su pokazali da je postignuta veća brzina izbačaja s redovnim loptama nakon zadanog trenažnog procesa kod obje grupe ispitanika ( $p = 0,14$ ). Nadalje, grupa koja je trenirala samo rukometnim loptama poboljšala je brzinu bacanja za 6,1 %, dok je grupa koja je trenirala s težim loptama i s opterećenjem postigla napredak od 1,4 % što se pokazalo statistički značajnim. Rezultati su nedvojbeno ukazali da trening s vanjskim opterećenjem nije prouzročio značajnije unapređenje brzine bacanja za razliku od osnovnog treninga s loptama.

**Van den Tillar** i suradnici (2009) provode istraživanje nad rukometašima s ciljem komparacije gornjeg bacanja s dominantnom i nedominantnom rukom. U istraživanju je

sudjelovalo 11 rukometaša iz prve norveške lige. Pronađene su statistički značajne razlike u preciznosti bacanja i brzini lopte te je smanjena unutarnja rotacija ramena kod nedominatne ruke. Maksimalna brzina bila je statistički veća kod bacanja dominantnom rukom. Razlike u brzini bacanja između dominantne i nedominantne ruke generalno su uzrokovane smanjenjem maksimalne brzine glavnih zajedničkih pokreta te posebice smanjenjem unutarnje brzine rotacije ramena.

**Kozomara** i suradnici (2009) proučavaju razlike u rezultanti brzina CT potkoljenice kod skok šuta u rukometu pri odrazu i doskoku kao mogućnost prevencije povrede anterior cruciate ligamenta. Napravljena je trodimenzionalna kinematička analiza koja je omogućila neposredni izračun ukupne brzine CT potkoljenice u zglobu koljena odskočne/doskočne noge kod bacanja rukometne lopte skok šutom u dalj, s otklonom (eret) i skok šutom u vis. Rezultati upućuju da postoje razlike u mehaničkim karakteristikama pri odrazu i doskoku u zglobu koljena i rezultanti brzina CT potkoljenice između pojedinih vrsta udaraca. Statistički značajna razlika u ukupnoj brzini centara težišta potkoljenice utvrđena je pri bacanju rukometne lopte skok šutom u dalj i u vis, skok šutom s otklonom (eret) te kod odraza i doskoka, dok statistički značajne razlike u rezultanti brzina CT potkoljenice nije bilo pri izvođenju rukometnog skok šuta s otklonom (eret) i u vis.

**Triplett** i suradnici (2009) na uzorku od 12 rukometašica juniorki provode istraživanje na principu kinetičke i kinematičke razlike statičkog skoka s jednom nogom u vodenom okruženju u usporedbi s onim što se izvodi u stvarnim uvjetima na suhom. Zadatak ispitanicama bio je da naprave seriju skokova s jedne noge na suhom i u vodi, te su snimane s uređajem i bez njega. Posebice se pazilo na vrijeme oporavka kako umor ne bi utjecao na rezultate. Vrh koncentrične sile, stopa razvoja sile, udarci i vrijeme skokova određeni su pomoću ploče za mjerenje sile. Dobiveni rezultati upućuju da su vrh koncentrične sile i brzina razvoja sile statistički značajno veći kod skokova u vodu ( $p < 0,05$ ), dok je sila udarca statistički značajno manja ( $p < 0,05$ ) u odnosu na skokove na suhom. Skokovi u vodu rezultiraju većom proizvodnjom sile, te se na taj način mogu koristiti kao alternativa tradicionalnom skoku na suhome. U budućnosti prednosti ovakvog načina vježbanja mogu ponuditi trenerima ideje u trenažnom procesu koje će obogatiti njihov rad, pogotovo što se vježbe sa skokovima u vodu mogu koristiti bez ugrožavanja brzine, dok je potencijalno smanjena mogućnost ozljede.

**Wagner** i suradnici (2010a) na uzorku od 12 igrača koji nastupaju u austrijskoj prvoj, drugoj i trećoj ligi provode istraživanje koje za cilj ima usporediti razlike u brzini otpuštanja lopte i točnost bacanja između šuta s tla i šuta sa strane. Napravljena kinematička analiza ponudit će trenerima i rukometnim stručnjacima informacije koje mogu pomoći u trenažnom procesu. Dobiveni rezultati pokazali su da postoje statistički značajne razlike između ovih dvaju različitih udaraca na gol ( $p < 0,0073$ ) u kutovima i kutnoj brzini u trupu (fleksija, lijevi nagib i rotacija). Ramena fleksija i abdukcija izbačajne ruke rezultirala je značajnoj razlici u brzini otpuštanja lopte ( $1,4 \pm 0,8$  m/s;  $P < 0,001$ ). Krajnji zaključak pokazuje da je drukčiji položaj izbačajne ruke kod oba šuta uzrokovan različitom fleksijom i nagibom kutova koji vode do razlika u brzini ispuštanja lopte, ali ne i u preciznosti.

**Ohnjec** i suradnici (2010) na uzorku od četiri rukometašice, potencijalne kandidatkinje za juniorsku reprezentaciju, istražuju kinematičku analizu skok šuta. Igračice su imale zadatak da izvedu sedam skok šutova gdje su za analizu izabrani samo oni koji imaju najbrži let lopte. Set kinematičkih varijabli sastojao se od parametara koji čine određene faze skok šuta. Promatrani su pokret težišta tijela po horizontalnoj i vertikalnoj ravnini te maksimalna linearna brzina tijela u segmentima i njihova aktivacija u vremenu. Snimano je dvjema kamerama koje mogu projicirati 50 slika u sekundi, dok je brzina udarca na gol mjerena radarom (Stalker PRO). Svaki od segmenata gola bio je podijeljen u devet polja. Kinematički parametri izračunati su preko APAS sustava. Sama svrha rada bila je otkriti karakteristike skok šuta i onda na temelju dobivenih rezultata poboljšati igrače u njihovom tehničkom razvoju. Isto tako, autori predlažu da se u budućnosti ispita kriterij za uspješnost skok šuta u stvarnim (natjecateljskim) uvjetima te koliko ovaj element odstupa od idealne tehničke izvedbe – stvaranja stila u igri.

**Salah** i suradnici (2010) za cilj svoga istraživanja postavljaju biomehaničko modeliranje i evaluaciju razine vještine skoka kod mladih igrača. Uzorak je sačinjavalo šest rukometaša. Istraživanje je napravljeno pomoću deskriptivne metode koristeći kameru i kompjutorsku analizu programa K1-3D. Najvažniji je dobiveni rezultat da fizička sposobnost pridonosi 64,52 % u izvođenju skoka. Varijabla rukomet dodavanje o zid smatra se fizičkom varijablom koja se najviše odnosi na točnost izvođenja. Zaključak istraživanja je da postoji vrlo uska relacija između fizičkih i mehaničkih varijabli. Istraživanje je pokazalo da je sila karakteristična za brzinu, dok se krajnja sila smatra najvažnijom kinetičkom sposobnosti koja određuje točnost razine.

**Wagner** i suradnici (2010b) provode istraživanje na uzorku od 26 rukometaša različitih razina znanja, a srednje dobi ( $21,2 \pm 5,0$  godina). Zadatak ispitanicima bio je upućivanje lopte u metu koja je bila osam metara udaljena. Cilj je bio pogoditi kvadrat  $1 \times 1$  m veličine na visini od 1,75 m s maksimalnim otpuštanjem lopte. Proces istraživanja obuhvatio je dvije grupe u kojoj su se nalazili ispitanici s različitim stupnjem znanja te je napravljena analiza mjerenja otpuštanja brzine lopte u skok šutu. Snimanje je provedeno u 3D kinematici (fleksija, ekstenzija i rotacija) kako bi se utvrdile statistički značajne razlike između grupa. Dobiveni rezultati pokazali su da postoji statistički značajna razlika između elitnih i manje elitnih rukometaša. Razlika je pronađena u brzini otpuštanja lopte ( $p < 0,001$ ), tjelesnoj visini ( $p < 0,05$ ), tjelesnoj težini ( $p < 0,05$ ), maksimalnoj unutarnjoj rotaciji trupa ( $p < 0,05$ ), fleksiji trupa ( $p < 0,05$ ) i ramenoj unutarnjoj rotaciji ( $p < 0,001$ ). Rezultati ovoga istraživanja upućuju na to da su igrači koji su bili viši i teži postigli veću brzinu otpuštanja lopte u skok šutu što je povećalo fleksiju trupa i rotaciju kutne brzine.

**Van den Tillar** i suradnici (2011a) istražuju kinematičku komparaciju gornjeg bacanja s loptama različite težine. Lopte su bile različitih težinskih vrijednosti: 20 % lakša lopta, 20 % teža lopta i lopta stvarne težine. Uzorak istraživanja sačinjavale su 24 igračice druge i treće norveške lige koje su imale nekoliko godina staža u seniorskom rukometu. Analizirano je osam zajedničkih pokreta tijekom bacanja. Analiza je uključivala maksimalne kutove, kutove pri izbačaju lopte te maksimalne kutne brzine glavnih pokreta i njihovo vrijeme tijekom bacanja. Rezultati su pokazali da razlike u težini lopte utječu na maksimalnu brzinu lopte. Razlike u oslobađanju brzine vjerojatno su razlog značajnoj razlici kinematike glavnih pokreta u gornjem bacanju, a to su lakatna ekstenzija i unutarnja rotacija ramena. Konačni je zaključak provedenog istraživanja da promjena težine lopte u gornjem bacanju može utjecati na kinematiku bacanja u treningu što može imati utjecaja na same rezultate treninga.

**Wagner** i suradnici (2011) provode sveobuhvatno istraživanje koje za cilj ima utvrditi brzinu lopte i točnost bacanja, između bacanja iz skoka, bacanja iz mjesta i pivot bacanja. Drugi je postavljeni cilj istraživanja utvrditi postoje li razlike između ovih bacačkih tehnika u kinematici. Testiranje je provedeno na 14 elitnih rukometaša iz prve, druge i treće austrijske lige te prve njemačke i španjolske lige. Od testiranih igrača sedam je bilo vanjskih igrača, pet krilnih igrača i dva pivota. Snimanje je obavljeno pomoću osam kamera marke VICON MX13. Svi ispitanici su izvršili 10 bacanja za sve postavljene tehnike šuta. Nakon pet uspješnih bacanja igrači su šutirali drugom tehnikom kako umor ne bi utjecao na rezultat.

Drugi je postavljeni zadatak ispitanicima bio da se pogodi meta veličine 1 X 1 m koja se nalazila u razini očiju. Izračun podataka vršen je samo za šest bacanja koja su imala najveću brzinu izbačaja lopte. Statistički značajne razlike pronađene su kod utjecaja na zalet i zdjelicu, kao i pri pokretu trupa prilikom izbacivanja lopte.

**Gutierrez** i suradnici (2011) proučavaju varijabilnost smjera kinetičkog lanca u rukometnom bacanju. Istraživanju su pristupila četiri vanjska rukometna igrača i sedam rukometnih vratara iz prve španjolske lige. Cilj istraživanja bio je analizirati varijable bacanja, potpomognutog u realizaciji s devet metara uz prisutnost vratara. Istraživanje započinje od platforme gdje je zabilježen početak kretanja vratara, dok je za model bacanja korištena 3D snimka. Rezultati su ukazali da je kinetički lanac privremeno usmjeren na orijentaciju za smanjenje prekomjernog stresa u spoju ramena. Isto tako, inercija trupa smanjila je vrijeme izvršenja i odabir brzog bacanja ovisno o vrataru.

**Van den Tillar** i suradnici (2011b) provode istraživanje koje je obuhvatilo 20 rukometašica koje su nastupale u norveškom rukometnom prvenstvu na različitim razinama, od prve do četvrte lige. Cilj istraživanja bio je usporediti efekte različitih trenažnih programa na kinematiku i brzinu izbačaja lopte kod iskusnih ženskih rukometašica. Rezultati su pokazali da nema značajne promjene u brzini izbačaja lopte ( $p = 0,25$ ) nakon različitih trenažnih programa. Važna činjenica se pojavljuje kod izbačaja lopte koja je vjerojatno uzrokovana promjenama u maksimalnoj unutarnjoj rotaciji ramena nakon trenažnog perioda. Kod ostalih studija koje ispituju kinematiku gornjeg bacanja prije i nakon trenažnog perioda, iste moraju biti provedene na način da se istraže dokazi o tome da je maksimalna unutarnja rotacija ramena glavni parametar odgovoran u brzini izbačaja lopte nakon treninga.

**Bourne** i suradnici (2011) proučavaju dinamičku strukturu šutiranja sedmeraca u rukometnoj igri. Koristili su analizu glavnih komponenata za istraživanje varijacija u dinamičkoj strukturi šutiranja sedmeraca. Ispitanici su trebali izvršiti ukupno 10 uspješnih udaraca na gol u svaki od četiri sektora na rukometnom голу. Trodimenzionalni pokret analiziran je u vremenskom nizu. Isto tako, podatci su analizirani u tri različita vremenska prozora u skladu s razvojem kinematičkog lanca. Dobiveni rezultati pokazali su da nije bilo statistički značajne razlike između dinamičke strukture kao faktora cilja ili faze. Kad su udarci analizirani u tri različita vremenska prozora, samo niži evolucijski put kovarijance sugerira razlike između ciljeva u bilo kojem vremenskom razdoblju. Isto tako, ostali rezultati pokazuju da se dinamička

struktura na kojoj se temelji šutiranje penala u rukometu ne razlikuje značajno po mjestima šutiranja.

**Kristanslund** i suradnici (2011) svoj interes u kinematici pokreta usmjeravaju prema slučajevima slučajnog uganuća gležnja koji promatraju na kinematički i kinetički način. Proučavajući prijašnja istraživanja, uvidjeli su da su se samo dva istraživanja bavila sličnom tematikom te da nijedno istraživanje nije napravljeno na rukometašima kojima je ovo jedna od najčešćih ozljeda. U laboratorijskim uvjetima napravljena je simulacija uganuća gležnja na side stepu dok je sve snimano posebnim kamerama od 240 Hz za usporevanje pregleda cijelog pokreta. Pokušaj ozljede je uspoređen s dvama prethodnim pokušajima (bez ozljede). Situacija u kojoj se analizirao pokušaj ozljede pokazala je da je povećanje inverzije i unutarnje rotacije gležnja otpušteno između 130 i 180 ms nakon početnog kontakta. Napredovanjem inverzije i interne rotacije ubrzao se početak za ozljedu između 130 i 180 ms. Ponuđeni zaključci omogućavaju daljnja istraživanja koja bi ovakve rezultate iskoristila u prevenciji ozljede koja se kod skakačkih sportova učestalo događa.

**Wagner** i suradnici (2012a) za cilj svoga istraživanja utvrđuju razlike u performansama i pokretu varijabilnosti za nekoliko bacačkih tehnika u različitim fazama bacačkog momenta i različitim razina vještina kod rukometaša. Uzorak je napravljen na 24 rukometaša koji se izveli po 30 bacanja koristeći različite tehnike bacanja. Igrači su bili podijeljeni u tri kategorije i to osam igrača niskih vještina, osam igrača iz regionalnih liga (vješti igrači) i osam igrača iz austrijske nacionalne lige (visoko vješti). Kinetika gornjeg dijela pokreta mjerena je pomoću osam kamera. Rezultati istraživanja pokazali su povećanje momenta varijabilnosti u distalno zajedničkim pokretima tijekom akceleracijske faze. Smanjenje pokreta varijabilnosti u visoko vještih i vještih igrača u bacanju sa zaletom, ukazuje na povećanje u otpuštanju brzine lopte, koja je bila najveća kad se koristila ova tehnika bacanja. Autori zaključuju da igrači imaju sposobnost za kompenzaciju u pokretu varijabilnosti da izvrše točno bacanje u akceleracijskoj fazi te su vješti igrači bili u mogućnosti to kompenzirati u momentu za razliku od manje vještih igrača.

**Rojas** i suradnici (2012) na uzorku od 14 vratara koji su bili podijeljeni u dvije skupine, na iskusne i manje iskusne vratare, provode istraživanje koje za cilj ima istražiti vremensku anticipaciju i kinematičke faktore u pokretu vratara i promjeni težišta tijela prilikom udaraca s vanjskih pozicija u rukometu. Za potrebe istraživanja korištena je platforma za mjerenje sile

kako bi se mogla izmjeriti snaga koju napravi vratar prilikom reakcije, dok je pokret napadača sniman kamerom. Rezultati su pokazali da iskusni vratari rade pokret  $193 \pm 67$  ms prije nego što je lopta ispuštena iz ruke napadača i to sa 67 % uspješnosti u presretanju. Neiskusni vratari započinjali su svoj pokret  $209 \pm 127$  ms prije nego je lopta ispuštena iz ruke sa samo 24 % uspješnosti u obranama. Vrijeme koje je potrebno da iskusni vratari započnu vertikalni pokret u težištu tijela, relativno od momenta ispuštanja lopte, bilo je manje od vremena koje je potrebno neiskusnim vratarima ( $77 \pm 70$  ms naprema  $141 \pm 108$  ms) što je prilično respektabilno. Zaključak na kraju istraživanja pokazuje da iskusni vratari dulje čekaju prije nego što naprave pokret za razliku od neiskusnih vratara.

**Lindner** i suradnici (2012) na temelju prijašnjih istraživanja o ozljedi gležnja prihvaćaju teoriju kako je rukomet jedan od četiri momčadska sporta koji ima najveću mogućnost ozljede. Proučavanjem elementa skok šuta, koji je jedan od najčešćih načina za postizanje zgoditka pri doskoku, utvrđeno je da se učestalo događaju ozljede donjih ekstremiteta. Kao osnova za simulaciju ozljede gležnja, cilj ovog istraživanja bio je proširiti regiju gležnja na postojeće mišićno-koštano tijelo. Uključena su tri istaknuta bočna ligamenta gležnja: ligamentum fibulotalare anterius (LFTA), ligamentum fibulotalare posterius (LFTP) i ligamentum fibulocalcaneare (LFC). Poseban cilj koji su znanstvenici postavili jest istražiti i vizualizirati snagu ligamenta tijekom skoka u silaznoj (doskočnoj) fazi tijekom kontroliranog skok šuta. Snimljeni kinematički podatci provedenog skok šuta i pripadajuće reakcije snage podloge koristili su se za obavljanje inverzne dinamike. Izračunom dobivenih rezultata dobivena je vršna snaga 107.N za LFTA kod maksimalne plantarne fleksije te 150.N za LFTP pri maksimalnoj dorziefleksiji. Vrh snage kod LFC 190.N promatran je kod maksimalne dorziefleksije u suradnji s maksimalnom everzijom. Kada sagledamo izvođenje cijelog skok šuta, LFTA je pokazao vrh snage (59.N i 69.N) tijekom maksimalne plantarne fleksije u završnom trenutku polijetanja. Silazna faza skok šuta nudi maksimalnu vrijednost (LFTA 61.N do 70.N) u prvom kontaktu s podlogom. Nakon toga LFTP postiže najveću snagu (70.N do 118.N). Rezultati ovakvih istraživanja trebali bi biti smjernice u budućnosti da se ozljede gležnja sve više istražuju, kako bi prevencija bila na što većem nivou.

**Wagner** i suradnici (2012b) na uzorku od 24 rukometaša uspoređuju proksimalno-distalni slijed u rukometnom bacanju kod sportaša s različitim trenažnim iskustvom. Tri skupine (manje iskusni, iskusni i elitni rukometaši) podvrgnute su testiranju gdje su imale zadatak izvesti pet bacanja sa zaletom pri maksimalnoj brzini. Snimanje je obavljeno modernim

kamerama te je zabilježena kinematika pokreta i trajektorije lopte, dok su izračunati zajednički pokreti. Lakatna fleksija dogodila se prije unutarnje rotacije ramena kod sve tri grupe. Rezultati istraživanja sugeriraju da se u šutu sa zaletom povećanjem iskustva igrača povećava i preciznost lopte, kao i odgođen start fleksije trupa.

**Van den Tillar** i suradnici (2012) provode istraživanje na 22 igrača, 11 rukometaša i 11 rukometašica koji igraju u norveškoj rukometnoj ligi. Cilj istraživanja bio je otkriti brzinu bacanja i kinematiku gornjeg bacanja između muških i ženskih igrača. Analiza se sastoji od izračuna maksimalnih zajedničkih kutova, kutova na izbačaju lopte, maksimalne kutne brzine zajedničkih pokreta te maksimalne linearne brzine distalnih krajnjih segmenata i njihova vremena tijekom bacanja. Rezultati su pokazali da je brzina izbačaja lopte kod muškaraca bila statistički značajno veća nego kod žena ( $21,1$  naprema  $19,2 \text{ ms}^{-1}$ ,  $p < 0,05$ ). Nisu pronađene veće razlike u kinematici, osim za maksimalne ishode brzine ruke i segmente ručnog zgloba, što ukazuje da muški i ženski rukometni igrači bacaju istom tehnikom.

**Villeger** i suradnici (2013) na uzorku od 14 igrača (šest iskusnih i osam neiskusnih) provode istraživanje na 3D analizi šutiranja sedmeraca u rukometu. Zadatak ispitanicima bio je da naizmjenično šutiraju nisko i visoko na vrata, dok je gornji dio trupa sniman kamerama visoke rezolucije. Dobiveni rezultati pokazali su povećanu brzinu lopte pri šutiranjima u donji dio gola ( $18,6 \pm 0,7$  i  $18,4 \pm 0,8$  m/s naprema  $17 \pm 0,6$  i  $17,5 \pm 0,7$  m/s). Zajednički moment od inverzne dinamičnosti ručnog zgloba ( $1,1 \pm 0,6$  Nm naprema  $-0,4 \pm 0,3$  Nm) i lakta ( $7,9 \pm 5,9$  Nm naprema  $-10,5 \pm 7,3$  Nm) dopušta razlike između iskusnih rukometaša i početnika. Zaključak je stručnjaka da cijeli pokret ovisi o mjestu šutiranja, kao i o kvalitativnoj razini ispitanika.



### 2.1.2. Kinematička istraživanja u komparaciji rukometa s drugim sportovima

**Lafaye** i suradnici (2005) ispituju vertikalni skok na uzorku sportaša iz četiri različita sporta i sportske discipline. Košarkaši, rukometaši, odbojkaši i atletičari (skakači u vis) podvrgnuti su testiranju gdje je zadatak bio napraviti skok sa zaletom i dotaknuti loptu glavom. Napravljena je analiza između vrhunskih ispitanika i početnika te su uspoređene razlike.

Cilj istraživanja bio je ispitati:

- a) ponašanje skoka u jednonožnom vertikalnom skoku
- b) doprinos impulsnih parametara za takvo ponašanje
- c) učinak skakanja na krutost nogu.

Pet eksperimentalnih uvjeta testirano je na 55 - 95 % maksimalne visine skoka. Sva snimanja obavljena su pomoću šest kamera te je korištena ploča za izračun sile. Dobiveni rezultati pokazali su da mehaničko ponašanje mišićno-koštane komponente ljudskog tijela može biti modelirano kao jednostavan sustav mase od kojih se vrijednost ukočenosti nogu može izdvojiti kako bi se bolje razumjeli prijenosi energije tijekom rada ili skakanja. Krutost nogu ( $11,5 \text{ kNm}^{-1}$ ) pala je s visinom skoka. Skraćivanje noge pri uzletu također se povećalo s visinom skoka, dok se vrijeme skoka smanjilo za -18 %. Zaključeno je da postoje razlike u smislu ukočenosti skoka te, što je najvažnije, postoje jasne razlike između ispitanika u parametrima skoka te su one specifične za sportaše iz promatrane četiri sportske kategorije.

**Grezi** i suradnici (2006) na uzorku od 42 ispitanika provode istraživanje mišićne kontrakcije kod gornjeg bacanja. Ispitanici su bili podijeljeni u tri skupine: netrenirani ispitanici, snažno trenirani sportaši i rukometaši. Konstruiran je specijalni rukosnažni mjerni instrument kako bi se moglo imitirati gornje bacanje. Izmjereni su parametri koji uključuju inicijalni moment otpuštanje brzine, brzinu prvih 50 milisekunda koncentrične faze te silu vrijednosti u trenutku usporavanja inicijalnog momenta i impulsne vrijednosti tijekom ekscentrično-koncentrične faze u testiranom pokretu. Dobiveni rezultati pokazali su da su pronađene statistički značajne vrijednosti gornjih parametara ( $p < 0,05$ ) koje su utvrđene testom na kojem je početna brzina kretanja bila veća. Koeficijent korelacije u parametrima početne faze bacanja pokreta bio je velik ( $p < 0,0001$ ). Ostali rezultati istraživanja upućuju na tezu da se povećavanjem brzine bacanja, povećava i brzina inicijalnog momenta.

**Ivančević** i suradnici (2008) za cilj svoga istraživanja analiziraju biomehaniku udarca u tenisu i odgovarajuću dinamiku reketa i lopte, zajedno s analognim izbačajima u rukometu. Autori postavljaju kriterij usporedbe u kojem se ove dvije sportske igre razlikuju prije svega u rekvizitu, a to je reket (koji se smatra dodatnim segmentom tijela sa svojim inercijskim i elastičnim karakteristikama). U ovom znanstvenom radu prikazana je anatomska, fiziološka i biomehanička analiza servisa u tenisu, forhenda i bekenda, kao i 3D Newton-Eulerova dinamička analiza kretanja teniskog reketa tijekom ovih udaraca.

**Bergün** i suradnici (2009) na uzorku od 20 ispitanika, 11 elitnih rukometašica i 9 elitnih odbojkašica, provode istraživanje koje za cilj ima usporedbu kinematike gornjeg bacanja. Za kalibraciju sustava korištena je tehnika izravne linearne transformacije. Mjere kalibracijskog prostora bile su  $2 \times 2,5 \times 2$  m s osam kalibracijskih točaka. Svi su uzorci snimani dvjema kamerama od 50 Hz te je za analizu korišten SIMI MOTION program. Analiza je obuhvatila ruke i podlaktice u pokretu prilikom akceleracijske faze. Odbojkašice su izvodile skok sa smečom, dok su rukometašice prezentirale skok šut. Dobiveni rezultati pokazali su da u *backswing* fazi postoje statistički značajne razlike u kutu s brzinom i akceleracijom između odbojkašica i rukometašica na poprečnoj, vertikalnoj i sagitalnoj ravni pokreta ( $p < 0,01$ ). U akceleracijskoj fazi statistički značajna razlika pronađena je u kutnoj širini ramenog segmenta gibanja na poprečnoj ravni ( $p < 0,05$ ). Isto tako, u sagitalnoj ravni pronađena je statistički značajna razlika između rukometašica i odbojkašica ( $p < 0,05$ ). Svi ovi rezultati upućuju na činjenicu da odbojkašice u skoku koriste vertikalnu fleksiju puno više kako bi dobile vrijeme za brzinu. Kod rukometašica se prijenos brzine odvija u vodoravnom položaju fleksije na vertikalni položaj.

**Wagner** i suradnici (2014) provode istraživanje na uzorku od 30 ispitanika. Ispitanici su bili igrači iz tri različita sporta: rukometa, tenisa i odbojke. Cilj istraživanja bio je analizirati kinematiku gornjeg dijela tijela u rukometnom bacanju, teniskom servisu i odbojkaškom smeču te izračunati razlike u proksimalno-distalnoj sekvenciji i zajedničkim pokretima. Uzorak ispitanika sačinjavalo je po 10 ispitanika iz svakog sporta od čega je bilo šest vrhunskih rukometaša - reprezentativaca te četiri igrača iz druge i treće austrijske lige. Sedam tenisača u uzorku bili su bolji od 347. mjesta na ATP listi, dok su trojica bila slabije rangirana. Uzorak odbojkaša sačinjavala su dva reprezentativca i osam igrača iz austrijske lige. Sva snimanja obavljena su Vicon kamerama. Ispitanici su odradili testiranje s

maksimalnom brzinom izbačaja lopte i točnošću u metu. Rezultati su pokazali da je statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) pronađena između tri gornja pokreta u 17 od 24 varijable. Redoslijed od proksimalnog do distalnog segmenta jednak je u tri analizirana gornja ručna pokreta. Gornji pokreti ruke mijenjaju se u situacijama kao što su zabadanje ili udaranje lopte reketom ili bez njega zbog razlika u odrazu (s jednom ili dvjema nogama).

### 2.1.3. Kinematička istraživanja u drugim sportovima koji su po svojoj izvedbi slični promatranim elementima rukometne igre

**Whiting** i suradnici (1985) provode istraživanje u vaterpolu na uzorku od 13 igrača američke seniorske reprezentacije gdje promatraju parametre šutiranja na gol. Svi igrači snimani su dvjema kamerama, koje su bile usklađene, dok su igrači šutirali na gol. Izračunate su trodimenzionalne 3D koordinate bacačevog ramena, lakta, ručnog zgloba, dok se lopta koristila za procjenu kuta lakta, lakatne kutne brzine i brzine lopte pri izbačaju. Dobiveni rezultati pokazali su da se brzina izbačaja lopte kreće u rangu 14,5 – 25,8 m/sec s kutom vrha lakta prosječnog izračuna od 137°. Vrh kuta lakatne brzine postignut je prije ( $x = 28$  m/sec) i događa se kada lakat doseže punu ekstenziju. Autori u svome zaključku smatraju da ovakav način istraživanja može biti koristan u svrhu identificiranja obilježja vrhunskog izvođača, procjeni razlike u tehnici bacanja između ozlijeđenih i neozlijeđenih igrača te za bazu budućih istraživanja kinetike bacanja.

**Elliot** i suradnici (1988) provode istraživanje u vaterpolu na elementu šutiranja penala s pet metara preko 3D brzinske kinematografske analize. Uzorak ispitanika sačinjavalo je šest vrhunskih vaterpolistica i šest vrhunskih vaterpolista. Za potrebe analize korištena je metoda direktne linearne transformacije (DLT), koja je upotrijebljena u 3D prostoru, rekonstruiranom od 2D slika snimljenih preko bočno postavljenih kamera. Analiza je pokazala da je 5 od 12 ispitanika podiglo loptu odozdo na početku bacanja, dok su se ostali ispitanici opredijelili za „lift“ rotaciju. U poziciji kad se lopta nalazi iza glave, vaterpolistice koriste vrlo malu rotaciju kuka i ramena u odnosu na vaterpoliste. Završetak izbačaja kod fleksije ručnog zgloba pokazuje da muškarci i žene imaju slične rezultate (M - 162°, Ž - 158°), dok je kut lakta pokazao znatno veću fleksiju kod vaterpolistica (85°) nego kod vaterpolista (107°). Zaključak istraživanja potkrepljuje maksimalna krajnja linearna brzina za podlakticu i ruku u segmentima koji se događaju pri ispuštanju lopte. Rezultati su pokazali veću brzinu izbačaja lopte kod vaterpolista koja iznosi 19.1 ms<sup>-1</sup>, dok su vaterpolistice imale brzinu izbačaja 14.7 ms<sup>-1</sup>. Ovako dobiveni rezultati omogućuju igračima u muškom vaterpolu da lakše realiziraju penal s pet metara.

**Neal** i suradnici (1991) na uzorku od 12 atletičara bacača koplja istražuju individualne razlike i segmente interakcije u bacanjima. Bacači koplja imali su zadatak bacati tri različite težinske loptice koje su bile analizirane prema modelu glavnih komponenti. Koristeći tri individualne

razlike komponenti, tri brzine mjerenja komponenti i četiri vremenske faze komponenti, opisano je 75 % varijance. Tri su individualne razlike komponenti identificirane i odnose se na opći stil bacanja, utjecaj na razinu vještine, tehnike i diferencijalni učinak od različitih težina loptica. Rezultati istraživanja sugeriraju da se različiti principi mogu primijeniti na različite bacače i da zbir brzine ne bi trebao promijeniti opći segment pokreta i interakcije.

**Campos** i suradnici (2004) provode istraživanje na uzorku koji su činile dvije najbolje španjolske bacačice koplja. Istraživanje je napravljeno proučavanjem kinematičkih parametara u relaciji s izvedbom. Za potrebe istraživanja korištena je 3D tehnika s kamerama od 200 Hz te je upotrijebljena DLT metoda. Kinematički parametri dobiveni na koordinatama markera (x, y, z) pretvoreni su kao varijable studije (vrijeme, kut kuka, kut ramena, kut lijevog koljena tijekom finalne faze bacanja). Obrada podataka obuhvatila je izračun osnovnih deskriptivnih parametara, korelaciju i univarijatnu analizu varijance (ANOVA). Zaključak ukupnog istraživanja bio je da je pronađena statistički značajna razlika između dviju bacačica koplja samo za kuk na horizontalnom planu ( $p < 0,05$ ). Dobiveni rezultati sugeriraju na poteškoće u valorizaciji bacačke tehnike kroz izolirane kinematičke parametre.

**Fleisig** i suradnici (1995) kompariraju biomehaničke aspekte lakta kod nekoliko sportova. Uzorak je napravljen na igračima američkog nogometa, bejzbola, tenisa, softbola i bacača koplja. Kod bacanja u bejzbolu usmjerenost se proizvodi kad je ruka u vanjskoj rotaciji. Ovaj moment uključuje kompresiju na radiokapiterale zgloba i napetost u lakatno-kolateralnom ligamentu. Nakon ispuštanja lopte, kompresivna tlačna snaga približava se iznosu od 100 % tjelesne težine koja je producirana da bi se preveniralo pomicanje lakta. Komparacijom bacanja u bejzbolu s bacanjem u američkom nogometu, dobivene su razlike u rezultatima koje pokazuju da dodavanje u američkom nogometu proizvodi veću lakatnu fleksiju i medijalnu silu, a manje „varus“ usmjerenost okretnog momenta. Kod tenisača pri serviranju lakatna ekstenzija uglavnom se događa zbog tricepsa. Bacači koplja prilikom izbačaja prilično brzo imaju produženje lakta koje se ukida vrlo kratko u punoj ekstenziji. Bacanje u softbolu u laktu proizvodi tlačnu silu i prilično brzu fleksiju. Dobivene usporedbe u nekoliko sportova, gdje je bacanje projektila važan aspekt sportske igre ili discipline, pomogle su boljem razumijevanju kinematike i učinkovitosti samog gibanja.

**Miller** i suradnici (1996) na uzorku od 15 košarkaša provode 3D snimanje kamerama frekvencije od 100 Hz. Cilj istraživanja bio je uspostaviti odnos između udaljenosti i

kinematike šutiranja s obzirom na igračku poziciju u košarci. Igrači su bili podijeljeni u tri skupine po pet košarkaša i to na organizatore igre, napadače i centre. Zadatak ispitanicima bio je da izvode skok šut s tri različite udaljenosti: 2,74 m, 4,57 m, i 6,40 m od koša. Rezultati su pokazali da kut otpuštanja podlaktice s dvije kraće distance iznosi  $52^{\circ}$  -  $55^{\circ}$ , dok izračun kuta otpuštanja podlaktice s najduže udaljenosti iznosi  $48^{\circ}$  -  $50^{\circ}$ . Sve tri analizirane grupe košarkaša po dobivenim podacima pokazale su raniji tok izbacivanja lopte kako se udaljenost povećavala, što je dovelo da ranije kretnje u ramenoj osi. Isto tako, kod organizatora igre, u odnosu na igrače koji igraju na poziciji centra, dobiveni rezultati sugeriraju da je lakša prilagodba zbog redovitog šutiranja iz većih udaljenosti.

**Zmajić** i suradnici (1997) provode istraživanje na uzorku jednog sportaša - najboljeg hrvatskog teniskog juniora (17 godina, 205 cm). Napravljena je kinematička analiza servisa u tenisu. Prijašnja istraživanja koja su obrađivala temu teniskog servisa ustvrdila su da je tehniku servisa moguće podijeliti u nekoliko varijanti. Upravo na temeljima tih saznanja autori za cilj svoga istraživanja postavljaju komparativnu analizu triju najučestalijih tehnika serviranja: ravni servis, slajs i top-spin servis. Sva snimanja i svi podatci obrađeni su prema APAS standardima. Dobiveni rezultati upućuju na primarnu upotrebu top-spin servisa. Stoga, da bi igrač poboljšao koordinaciju pokreta lakta u odnosu na kretanje ramena, mora provesti vježbanje bacanja loptice. Kod top-spin servisa dolazi do povećanja brzine loptice, čime se povećava njegova efikasnost.

**Hraski** i suradnici (1999) uspoređuju bacanje koplja hrvatskog prvaka s modelom temeljenim na rezultatima dobivenim kod finalista bacača koplja na Olimpijskim igrama u Barceloni 1992. godine. Detaljna analiza pokazala je zamjetne razlike u mnogim parametrima. Dobiveni rezultati pokazali su da je premalen minimalni i završni kut koljena u fazi sunožnog oslonca kod hrvatskog prvaka. Druga pronađena greška bila je premalen kut izbačaja kao i prevelika udaljenost projekcije hvatišta od vrha stopala kod izbačaja (rani tip izbačaja). Još jedna u nizu grešaka bio je izostanak pravilnog redoslijeda progresije vršnih brzina centara relevantnih zglobova od proksimalnih do distalnih segmenata. Svi dobiveni rezultati smjer su mladome hrvatskom bacaču koplja da poradi na svojoj tehnici šuta kako bi u budućnosti njegovi rezultati bili kompatibilni s vrhunskim atletičarima.

**Antekolović** i suradnici (1999) provode kinematičku analizu bacanja kugle kod šesnaestogodišnjeg hrvatskog kadetskog rekordera. Analiza bacanja provedena je na

njegovom najboljem hicu od 16,53 m. Veliki broj sličnih istraživanja napravljen je upravo na rotacijskoj tehnici bacanja kugle kod vrhunskih atletičara. Cilj istraživanja bila je usporedba kinematičkih parametara bacanja kugle kod hrvatskog bacača s vrhunskim bacačima kugle. Dobiveni rezultati ukazuju na neispravnost kod hrvatskog bacača kugle pri izvođenju tehnike bacanja koja se očituje pri prevelikom kutu u koljenima i kukovima za vrijeme uzimanje početne pozicije, predugom trajanju prve jednopotporne faze te zakašnjelom postavljanju lijeve noge u fazi izbačaja, što je ukupno rezultiralo sporijim izbačajem, manjim kutom i visinom izbačaja.

**Campos** i suradnici (2004) provode kinematičku analizu na uzorku od sedam bacača koplja koji su nastupili na Svjetskom atletskom prvenstvu u Sevilji 1999. godine. Za analizu su korištene kamere marke Panasonic od 50 Hz. Rezultati pokazuju karakteristike bacača individualnog modela na natjecanju, koji zbog praktičnih razloga može biti uspoređen s izvedbom istih bacača na drugim natjecanjima. Statistički značajna razlika između obrasca korištenog kod bacača locirana je u kinematičkom lancu prilikom pripreme, u finalnoj fazi, brzini izbačaja koplja te u vertikalnoj horizontalnoj brzini pri bacanju koplja.

**Hore** i suradnici (2005) testiraju hipotezu da je vještina u brzini gornjeg bacanja kod igrača u bejzbolu pri uključivanju (kočenju) lakatne ekstenzije prije ispuštanja lopte aktivan mehanizam. Ručni segment kutne pozicije u 3D tehnici pri 1000 Hz sniman je *search-coil* tehnikom (snima kutne pokrete). Napravljen je komparacija između iskusnih i neiskusnih bacača te su dobiveni rezultati koji pokazuju da kod iskusnih bacača postoji razdoblje (17 ms) brze lakatne ekstenzije usporavanja prije ispuštanja lopte. Bilo je relativno malo biceps EMG aktivnosti povezane s vrlo velikom magnitudom lakatnog usporavanja. Ova i druga istraživanja koja su autori analizirali, sugeriraju da lakatna ekstenzija usporava rezultate u dijelu interakcije obrtne sile u suradnji s kasnim javljanjem ramene rotacije i to samo u dijelu kontrakcije lakta fleksora.

**Chiung-Yun** i suradnici (2005) na uzorku od šest vaterpolista provode istraživanje koje ima za svrhu ispitati parametre pomaka, brzine i akceleracije bacanja kod igrača u vaterpolu. Analiza je napravljena preko KWON 3D sustava te je obuhvatila pokret ruke pri udarcu. Uključivala je pomak, brzinu, akceleraciju zgloba, lakat, rame i loptu. Dobiveni rezultati ukazali su na dvije činjenice:

- a) prva promjena pokreta ruke je kvadratni polinom pri frekvenciji od 0,6 sekundi uz maksimalnu udaljenost 130,97 cm za loptu, 117,17 cm za zglob, 94,22 cm za ramena
- b) brzina pokreta ruke bila je kubični izračun s maksimalnom brzinom od 25,368 m/s za loptu, 20,092 m/s za ručni zglob, 19,732 m/s za lakat i 23,846 m/s za ramena.

Svi obrađeni podaci usmjerili su istraživanje k tome da je maksimalna brzine lopte i ručnog zgloba došla 1,5 sekundi brže, dok je brzina lakta i ramena smanjena za 0,5 sekundi.

**Van den Tillar** (2005) provodi istraživanje biomehanike lakta u bacačkim sportovima: bejzbolu, vaterpolu, bacanju koplja i kriketu te uspoređuje kinematiku i kinetiku između njih. Uzorak je napravljen na 27 radova koji su bili ove tematike te su izdani u poznatim časopisima. Usporedbom rezultata, uočeno je da su najveće vrijednosti u brzini lopte i maksimalnoj brzini lakatne ekstenzije u bejzbolu, a najmanje u vaterpolu. Nema razlika u kinetici između različitih sportskih disciplina, dok su razlike u kinematici tijekom bacanja uzrokovane težinom i veličinom bačenog objekta.

**Durković** i suradnici (2005) proučavaju biomehaničku analizu smeča iz prednje i stražnje zone u odbojci. Ispitanik je bio iskusni seniorski reprezentativac (198 cm, 98 kg). Snimanje je obavljeno kamerama koje mogu reproducirati 60 slika u sekundi, dok je procesuiranje podataka obavljeno preko APAS sustava. Od 20 izvedenih smečeva sa svake pozicije, ekspertna je skupina odabrala jedan smeč koji je bio najbolji reprezentant ove tehnike. Rezultati istraživanja pokazali su da postoje razlike između dužine leta igrača koji smečira iz druge linije u odnosu na prvu liniju. Takav let omogućuje znatno „probojniji“ smeč (veća je horizontalna i vertikalna komponenta brzine). Dobivene razlike u brzini smečirane lopte mogu opisati napadače koji sve više u svojim aktivnostima koriste ovaj način realizacije da poentiraju iz stražnje zone, ne samo iz zone 6 nego i iz zone 1.

**Antekolović** i suradnici (2005) na uzorku od pet ispitanika, skakača u dalj, provode istraživanje koje za cilj ima opis i standardiziranje postupka korištenja osnovnih biomehaničkih tehnika za istovremeno dobivanje kinematičkih, kinetičkih i EMG podataka kod vježbi dubinskih skokova. Prilikom testiranja korišteni su „Piezo“ električne platforme za mjerenje sile reakcije podloge te uređaj za mjerenje EMG aktivnosti mišićne mase gdje je



akvizicijom video signala kasnije učinjena kinematička analiza. Rezultati na kraju istraživanja ukazuju na veliku vertikalnu silu reakcije podloge na svim razinama opterećenja, te nas ovakvi rezultati usmjeravaju prema vježbama dubinskih skokova i skokova u dalj u kojima se vrijednost vertikalne sile reakcije podloge kreće između 3500 N i 6300 N. Najveće maksimalne vrijednosti EMG aktivnosti mišićne mase postizane su u trenutku kontakta s podlogom.

**Blažević** i suradnici (2006) provode longitudinalno istraživanje varijabiliteta kinematičkih parametara skoka u vis jedne hrvatske atletičarke. Subjekt ovog istraživanja bila je vrhunska hrvatska skakačica u vis te su napravljena snimanja u vremenskom periodu od tri godine. Za potrebe istraživanja analizirano je sedam skokova, a svi video zapisi snimljeni su dvjema kamerama tipa JVS DVL 9800, frekvencije 60 Hz. Kinematički su podatci prikupljeni i obrađeni prema APAS standardima. Kinematički parametri koji imaju najveći varijabilitet rezultata s obzirom na visinu skoka jesu: duljina drugog (pretposljednog) koraka zaleta ( $SD = 18,90$ ), udaljenost težišta tijela od ravnine letvice pri postavljanju odrazne noge ( $SD = 15,24$ ), udaljenost odraza (prstiju) od ravnine letvice ( $SD = 11,78$ ) i dužina posljednjeg koraka zaleta ( $SD = 11,11$ ). Najmanji varijabilitet rezultata ima kinematički parametar trajanje odraza, odnosno vrijeme kontakta odrazne noge s podlogom ( $SD = 0,007$ ). Ovako dobiveni parametri u budućim istraživanjima trebali bi biti na većem uzorku kako bi se još preciznije mogla istražiti kinematika samog procesa kod skakačica u vis.

**Hirashima** i suradnici (2007) napravili su studiju gdje istražuju kako centralni nervni sustav (CNS) organizira bacanje lopte u pokretu koji zahtijeva brzinu i točnost. Istraživanje je napravljeno na igračima bejzbola koji su imali zadatak da bacaju loptu u metu pri tri različite brzine. Napravljena je analiza suvremenom 3D *nonorthogonal torque decomposition* metodom koja može pojasniti kako je kutno ubrzanje zajedničke koordinatne osi (npr. ramena) generirano od strane mišića, gravitacije i interakcije obrtne sile momenta. Dobiveni rezultati pokazuju da su ispitanici koristili moment interakcije za generiranje veće kutne brzine kod ramene unutarnje rotacije, lakatne ekstenzije i fleksije ručnog zgloba. Svi ovi rezultati upućuju da se bacači lopte u bejzbolu mogu adaptirati na hijerarhijsku kontrolu u kojoj proksimalni mišić obrtne sile kreira dinamički temelj za cijelu strukturu pokreta.

**Dun** i suradnici (2007) na uzorku od 67 profesionalnih bacača u bejzbolu testiraju 3D analizu pokreta. Prosječna dob bacača bila je 23,77 godina (raspona 18,8 – 34,4 godina). Napravljene

su tri grupe ispitanika koji su preko standardne devijacije podijeljeni po dobi na stariju, srednju i mlađu grupu. Promatrano je 18 kinematičkih varijabli (14 pozicija i 4 brzine) koje su izračunate te je korišten t-test kako bi se usporedile varijable između grupa. Rezultati su pokazali kako starija grupa bacača pri dodiru stopala s podlogom ima kraći korak te zatvoreniju orijentaciju zdjelice i zatvoreni gornji dio trupa. Kod starije grupe pronađeni su rezultati koji projiciraju manju vanjsku ramenu rotaciju u fazi repetiranja ruke, veću fleksiju koljena pri ispuštanju lopte i manje namještanje tijela prema naprijed pri ispuštanju lopte. Konačni zaključak istraživanja upućuje da će se biološke promjene i tehnika prilagodbe dogoditi tijekom trajanje karijere profesionalnog bacača u bejzbolu.

**Maeda** (2008) proučava bacanje *turbo-java* koji se koristi u *javelic throwu* kao metodički postupak i alat za uvježbavanje bacanja koplja. Istraživanje je napravljeno na 14 studenata koji su mjereni na preko 260 bacanja. Svaki *turbo-jav* sniman je dvjema kamerama velike brzine reprodukcije te četirima standardnim kamerama. Svi uvjeti *turbo-jav* otpuštanja i leta izmjereni su korištenjem trodimenzionalne (DLT) metode. Rezultati ukazuju da postoji značajna pozitivna korelacija između početne brzine i udaljenosti bacanja koristeći *javelic throw* ( $r = 0,775$ ,  $p < 0,01$ ). *Turbo-jav* je bačen dalje kad je kut napada bio manji od  $25^\circ$ . Dobiveni rezultati ukazuju da se karakteristike leta *turbo-java* razlikuju od bačenog koplja.

**Tilp** i suradnici (2008) na uzorku od osam vrhunskih muških odbojkaša provode istraživanje na elementu smeča na dvije različite podloge, parketu i pijesku. Napravljena je 3D kinematička analiza cijelog pokreta koja je snimana pomoću osam kamera frekvencije 250 Hz. Usporedba je napravljena na varijablama: kinematički centar mase, prilazna faza, kutna amplituda te maksimalna brzina gornjih i donjih udova. Statistička razlika pronađena je u rezultatima centra mase ( $p < 0,05$ ), kinematički prilazne faze i u kutnoj amplitudi donjih udova. Kod svih ostalih parametara nije pronađena statistički značajna razlika. Ispitanici su pokazali značajnu adaptaciju na promjene uvjeta održavanja testiranja. Kao rezultat za propustljivost u podlozi na pijesku, ispitanici su pokazali svoj pokret, posebno tijekom faze tranzicije od nožne fleksije do ekstenzije, i tijekom faze ekstenzije. Štoviše, ispitanici su pokazali promjene u poziciji stopala kako bi dosegli veću moguću poziciju.

**Meyer** i suradnici (2008) provode istraživanje na uzorku od 10 muških i 10 ženskih bacača lopte u bejzbolu koji za cilj ima otkriti 3D skapularnu kinematiku tijekom pokreta bacanja. Elektromagnetski površinski senzori stavljeni su na sternum, akromium i humerus kako bi se

dobila 3D animacija tijekom tri pokušaja niske brzine bacanja. Skapularna kutna brzina bila je opisana za pet unaprijed određenih događaja tijekom bacanja te odgovara klasičnom opisu faze bacanja. Test pouzdanosti između bacanja pokazuje dobre rezultate (0,74 – 0,98). Lopatica je pokazala uzorak vanjske rotacije prema gore (vrh oko 40°) i stražnji nagib tijekom početne faze bacanja te napreduje nakon maksimalne nadlaktične abdukcije. Pri maksimalnoj nadlaktičnoj unutarnjoj rotaciji lopatica je završavala u internoj rotaciji od 55°, gornjoj rotaciji od 20° i prednjem nagibu od 3°. Svi ovi promatrani podatci identificiraju događaje u bacanju gibanja gdje bacači mogu biti osjetljivi na patologiju ramena koja se odnosi na abnormalnu kinematiku lopatice.

**Escamilla** i suradnici (2009) proučavaju udarac u bejzbolu s obzirom na razinu godina koje imaju igrači. Istraživanje je napravljeno na uzorku od 12 mladih i 12 iskusnih igrača. U usporedbi s mlađim udaračima, iskusni su igrači imali statistički značajnu razliku ( $p < 0,01$ ) i to:

1. vodeća nožna fleksija kad se ruke pokušavaju pomaknuti naprijed
2. savinuto vodeće koljeno tijekom većeg raspona pokreta tijekom tranzicijske faze (31° u odnosu na 13°)
3. izduženo vodeće koljeno tijekom većeg raspona pokreta pri udaranju palicom u akceleracijskoj fazi (59° naprema 32°)
4. otvorenija zdjelica kad vodeće stopalo napušta podlogu
5. otvoreniji gornji dio tijela kad se ruke počinju pomicati naprijed i zatvoreni gornji dio tijela pri udarcu palice s lopticom.

Svi promatrani podatci sugeriraju da je kinematika udarca u bejzbolu između mladih i starijih igrača različita.

**Jones** i suradnici (2009) provode istraživanje na nogometnim travnjacima koje ima za cilj ispitati preciznost mjerenja kuta koljena te uvidjeti je li koljeno kinematički variralo kada slijeće iz skoka na nogometni travnjak i na umjetnu travu. Upravo je pojava novih tehnoloških dostignuća, koje omogućavaju igračima u nogometu da igraju na različitim podlogama, preduvjet kvalitetnim ispitivanjima o potencijalnim ozljedama. Svaki ispitanik napravio je 20 skok slijetanja na obje podloge te su svi podatci analizirani preko niza referentnih statičkih točaka. Napravljena je 3D analiza zgloba koljena. Za tu potrebu korištene su u travi montirane

ploče snage (KISTLER), dok su 3D kinematički podatci sakupljeni koristeći automatizirani sustav pokreta analiza (CODA MOTION). Rezultati ukazuju na važnost početne statičke pozicije pri pokušaju slijetanja na travu. Razlike su pronađene u fleksiji koljena, dok se veći pokret varijabilnosti pokazao u sva tri kuta koljena kod doskoka na travu u odnosu na doskok na umjetnu podlogu. Ovakvi rezultati upućuju na razlike među podlogama koje mogu imati veliki utjecaj pri formiranju ozljede na travnjacima s umjetnom podlogom.

**Ferdinands** i suradnici (2009) provode istraživanja na uzorku od 21 bacača u kriketu. Testiranje je obuhvatilo kinematiku bacanja s akcentom na lumbalni dio koji je pod velikim opterećenjem te je kao takav znatno više podložan ozljedama. Igrači su imali u prosjeku  $22.4 \pm 3.9$  godina, dok je analiza pokreta napravljena trodimenzionalnim sustavom. Kinematika i kinetika izračunate su za lumbalni dio kralježnice u bočnom izvijanju, rotaciji i fleksiji tijekom predaje kod izvršne faze bacanja. Dobiveni su rezultati u srednjoj brzini ispuštanja lopte  $31,9 \pm 2,8 \text{ ms}^{-1}$  te se lopta kretala brzinom od  $27,0 \text{ ms}^{-1}$  do  $35,6 \text{ ms}^{-1}$ . Istraživanje je dokazalo da su opterećenja kralježnice najveća tijekom završetka izbačajne faze kada su reakcije podlogom najviše. Stoga, kako bi se smanjila mogućnost ozljede, treba uzeti u obzir mehaniku cijelog tijela kako bi se potencijalna ozljeda lumbalnog dijela kod bacača svela na minimum.

**MacKenzie** i suradnici (2009) za svoj rad uvode i ocjenjuju valjanost 3D šestsegmentalnog naprednog dinamičkog modela za igrače golfa. Model uključuje fleksibilnu palicu i varijabilnu *swing* fazu. Genetski algoritam razvijen je kako bi se optimizirala koordinacija modela matematički zastupljenih mišića (generator momenta) kako bi se povećala brzina udarca palicom. Dobiveni kinematički i kinetički rezultati potvrđuju prijašnje rezultate na proksimalno do distalnom nizanju zglobova i mišića koji pokreću te zglobove. Formiranje idealnog modela udarca kod golfera daje mogućnost usporedbe za igrače niže kvalitete kako bi se mogli usporediti s uzorkom.

**Michaud-Paquette** i suradnici (2009) na uzorku od 25 hokejaša za cilj svoga istraživanja postavljaju utvrđivanje stacionarnog „šuta iz zgloba“ (kretanje uzorka) palice hokeja na ledu koji odgovara za točnost putanje paka. Zadatak ispitanicima bio je da naprave deset uspješnih šutova iz zgloba na četiri mete (dva u vrh gola i dva u donji kut gola). Prilikom testiranja sniman je „vrat“ palice i pak kamerama od 240 Hz u 3D tehnici. Kinematika vratila palice i oštrica ispitanici su pomoću višestruke regresijske analize. Rezultati pokazuju da se preciznost

u otpuštajućim parametrima (oba otpuštanja paka i brzine) i savijanju vratila palice značajno razlikuju za vrh gornje mete. Prijedlog je kanadskih stručnjaka da se u budućnosti istraži kinematika cijelog tijela kako bi se dobio kvalitetniji kinematički obrazac za analizu.

**Uygur** (2010) u svojoj magistarskoj temi postavlja pitanje umora na kinematiku izvođenja slobodnog bacanja u košarci. Testiranju je pristupilo 10 sveučilišnih košarkaša. Protokol istraživanja bio je da se nakon petnaestminutnog zagrijavanja sudionici testiraju prije umora i to na način da šutiraju na koš sve dok ne pogode dva slobodna bacanja. U analizu za svakog ispitanika ulaze dva pogodoena i dva promašena bacanja. Nakon toga slijedi protokol koji je uključivao trčanje i čučnjeve do postizanja iscrpljenosti po volji, koje bi se nastavilo sa šutiranjem na koš po istom principu kao i bez opterećenja. Snimanje je obavljeno dvjema kamerama brzine 60 slika u sekundi, dok su markeri stavljeni na sedam lokacija, na zglobovima donjih i gornjih ekstremiteta. Analiza je obuhvatila zglobove lakta, trupa, koljena i skočnog zgloba. Dobiveni rezultati pokazali su da umor nije utjecao na izvedbu slobodnih bacanja te da nije bilo statistički značajne razlike zajedničkih kutova ( $p > 0,05$ ) između uspješnih i neuspješnih bacanja ( $p > 0,05$ ).

**Horan** i suradnici (2010) na uzorku od 38 igrača i igračica golfa istražuju detaljan 3D kinematički profil za prsa i zdjelicu u pokretu tijekom donjeg udarca te analiziraju postoji li kinematička razlika između muških i ženskih golfera (hendikep 4). Uzorak je sačinjavalo 19 igrača golfa ( $26 \pm 7$  godina) i 19 igračica golfa ( $25 \pm 7$  godina). Izračunat je 3D segmentalni stav, orijentacija i kutna brzina, zajedno s planom faza trajektorija za prsni koš i zdjelicu. Dobiveni su rezultati u kojima je kod muškaraca pri udaranju lopte pronađen veći stražnji nagib zdjelice te povišenje zdjelice i prsnog koša bočno udesno. Isto tako, muškarci postižu veći kut prsnog koša i kutne brzine zdjelice te kutne brzine pri udaranju loptice. Dobivenim podacima se kao zaključak postavlja tvrdnja u kojoj se optimalne udaračke karakteristike ne mogu generalizirati za oba spola identično. Stoga pri trenažnom procesu u obuci treba pripaziti na tehniku izvođenja golf udarca kod žena.

**Tinmark** i suradnici (2010) provode veliko istraživanje na uzorku od 45 golfera koje za cilj ima istražiti je li kinematički proksimalno-distalni dio i ukupna brzina učestala karakteristika u oba parcijalna i *full-swing* udarca u golfu za ispitanike različite razine znanja i spola. Uzorak ispitanika sačinjavalo je 11 muških golfera profesionalaca te 21 muški i 13 ženskih golfera amatera. Zadatak ispitanicima bio je da izvedu parcijalne udarce na 40, 55 i 70 metara

te *full-swing* udarce palicom br. 5 na maksimalnu udaljenost. Sve je snimano kamarama visoke frekvencije od 240 H. Analizirani su karlica, gornji torzo i pokreti ruke. Rezultati su pokazali značajni proksimalno-distalni vremenski odnos i uspješno povećanje kutne brzine u svakom udarcu za oba spola i razine znanja.

**Harasin** i suradnici (2010) provode istraživanje na osam iskusnih bacača kugle tijekom četiri međunarodna mitinga. Cilj istraživanja bio je utvrditi razlike između aritmetičkih sredina kutnog pomaka i kutne brzine u zglobu ramena zamašne ruke u drugoj dvopotpornoj fazi kvalitetnih bacača, te kutnog pomaka i kutne brzine u istom zglobu vrhunskih bacača kugle. Ispitanici su snimani dvjema kamerama marke Panasonic koje mogu reproducirati 50 slika u sekundi. Bacanja su svrstana u dva poduzorka, i to na ona između 16 i 17,25 m i ona između 19 i 20,44 m. Analizirano je po 10 hitaca za svaku podskupinu. Razlika u rezultatima između kvalitetnih i vrhunskih bacača utvrđena je u kutnom pomaku ramena zamašne ruke. Dobiveni rezultat koji najbolje opisuje ovo istraživanje jest da zamah zamašnom rukom mora biti izveden amplitudom koja će osigurati predistezanje struktura koje su aktivne u fazi potiskivanja kugle ili amplitudom koja neće dopustiti povećanje radijusa kojim se kugla giba u završnoj fazi bacanja.

**Liu** i suradnici (2010) provode istraživanje na 62 bacača koplja koje ima za cilj napraviti kinematičku analizu gornjih i donjih ekstremiteta. Uzorak ispitanika sačinjavale su 32 bacačice koplja i 30 bacača koplja. Testiranje je izvršeno dvjema kamerama visoke rezolucije, dok je vrijeme snimanja započelo od trenutka posljednjeg križnog koraka pa sve do trenutka izbačaja koplja. Dvosmjerna analiza varijance (ANOVA) korištena je za utvrđivanje gibanja i za početak slijeda odabranog gornjeg ekstremiteta zgloba s kutnim segmentima kretanjima. Isto tako, napravljen je post-hoc Newman-Keul test kako bi se pronašle razlike između dvaju susjednih pokreta. Rezultati su pokazali da muški i ženski bacači koplja slijede različite sekvence pokreta donjeg i gornjeg dijela tijela ( $P < 0,001$ ) prilikom izbačaja.

**Sayers** (2011) na uzorku od tri elitna internacionalna ragbi igrača provodi istraživanje koje za cilj ima kinematičku analizu elementa tehnike ubačaja lopte sidraša u skup-autu s dvjema rukama. Ispitanici su imali zadatak da obave 30 bacanja s tri različite udaljenosti (6 m, 10 m i 15 m). Bacanja su snimana kamerama od 50 Hz te je napravljena kinematička analiza cijelog pokreta. Dobiveni rezultati pokazali su razlike između ispitanika u mnogim varijablama u svakoj od glavnih faza bacanja. Rezultati frekvencije trupa na kraju *backswinga* i pri

ispuštanju lopte, zajedno s kutom lakatne fleksije pri ispuštanju lopte ostaju konstanta kako se povećava duljina bacanja. Istraživanje je pokazalo da visoke performanse sidraša koji ubacuju loptu dijele nekoliko korisnih obilježja te će biti smjernica u budućim istraživanjima u ragbiju.

**Zhang** i suradnici (2012) provode istraživanje na sedam iskusnih ragbi igrača koje za cilj ima ispitati sekvenciju i doprinos pokreta u individualnim segmentima u brzini stopala pri ispucavanju lopte nogom s postolja kod pretvaranja u ragbiju. Linearna brzina udaračkog stopala razlaže se na linearnu brzinu uzrokovanu apsolutnom linearnom brzinom zdjelice, rotacijom zdjelice, rotacijom bedra i fleksijom koljena. Dobiveni rezultati ukazuju da je proksimalno-distalni uzorak segmenta gibanja i fleksija-ekstenzija koljena napravila veliki pomak ( $75 \pm 8 \%$ ) do konačne brzine tijekom ispucavane lopte. Autori predlažu da igrači u ragbiju trebaju raditi na jačanjima mišića koljenskog zgloba, ne samo radi jačine udarca nego kao prevenciju moguće ozljede.

#### 2.1.4. Ekspertna istraživanja u rukometu

U sljedećem će poglavlju biti prezentirano samo nekoliko radova iz područja ekspertnih istraživanja iz rukometne igre jer se radi o znanstvenom području koje nije dovoljno istraženo.

**Vuleta** (1997) na osnovi je analize ekspertnog znanja vrhunskih rukometnih stručnjaka izvršio faktorizaciju 134 tehničko-taktička elementa rukometne igre u odnosu na 26 varijabli u cilju njihove analize, razvrstavanja u homogene skupine te utvrđivanja razlika među dobivenim skupinama.

Faktorskom analizom izdvojeno je pet latentnih dimenzija od kojih se tri mogu kvalitetno interpretirati:

- ◆ faktor uspješnosti igre u fazi napada
- ◆ faktor uspješnosti igre u fazi obrane
- ◆ faktor efikasnosti vratara.

Primjenom hijerarhijske klaster analize izdvojene su četiri homogene grupacije tehničko-taktičkih elemenata u latentnom prostoru:

- ◆ skupina tehničko-taktičkih elemenata koje koristi vratar prilikom obrane vrata u prvoj fazi napada-protunapada te bazične strukture elemenata tehnike u fazi obrane i napada
- ◆ skupina tehničko-taktičkih elemenata koji čine široki spektar aktivnosti igrača u fazi obrane
- ◆ skupina tehničko-taktičkih elemenata koji prethode šutiranju te različite vrste šutiranja lopte
- ◆ skupina tehničko-taktičkih elemenata koji predstavljaju temelj prve faze pozicijskog napada, tj. priprema i postavljanje za organizaciju igre.

**Foretić** (2012) u svojoj doktorskoj disertaciji za glavni cilj istraživanja utvrđuje kvantitativne doprinose situacijske aktivnosti igrača, igračkih pozicija i faza igre rezultatskom uspjehu te na osnovi utvrđenih doprinosa konstruira dva zasebna modela vrednovanja situacijske učinkovitosti; temeljem zabilježenih parametara i temeljem subjektivne procjene eksperata. U



tu je svrhu analizirana 101 utakmica odigrana na Svjetskom rukometnom prvenstvu u Hrvatskoj 2009. godine i anketirano 19 rukometnih eksperata iz 12 europskih zemalja. Bilježenje događaja izvršeno je pomoću softverskog paketa *Match Analysis System*. Učinkovitost igrača analizirana je u odnosu na sljedeće kriterijske parametre: faze igre, igračke pozicije i rezultatsku uspješnost. Set predikcijskih varijabli predstavlja ukupno 48 varijabli od koji se 9 odnosi na pozicijsku obranu, 11 na vratara, 16 na pozicijski napad, 5 na tranzicijsku obranu te 7 na tranzicijski napad. Rezultati su pokazali statistički značajne razlike između pozicijskog i tranzicijskog napada te između pozicijske i tranzicijske obrane. Razlike su utvrđene između svih igračkih pozicija u napadu i u obrani zasebno. Dobiveni koeficijenti važnosti za pojedine igračke pozicije bili su osnova za postavljanje modela vrednovanja situacijske učinkovitosti utemeljene na procjeni eksperata i na zabilježenim parametrima. Modeli su pokazali značajnu povezanost koja je bila jače izražena pri usporedbi igračkih pozicija obrane. Prema postavljenim modelima, ukupna učinkovitost igrača izražava se kao relativna vrijednost zbroja ocjene učinka igrača u napadu i obrani, ponderiranih koeficijentom važnosti pojedine faze igre. Aplikativnost istraživanja potvrđena je evaluacijom postavljenih modela koji su pokazali visoku korelaciju s ocjenama nezavisnog rukometnog eksperta.

**Burger** i suradnici (2013) provode istraživanje koje ima za cilj rangirati važnost metodskih vježbi za usvajanje elementa tehnike skok šuta u rukometnoj igri. Rad je koncipiran na način da su poznatim i priznatim ekspertima iz rukometne igre postavljeni zadatci u vidu elementa tehnike igre u napadu (skok šut). Zadanim opisima situacija morali su poredati elemente po važnosti za učinkovito usvajanje elementa skok šuta, kao i za vremenski slijed učenja opisanog elemenata te ga rangirati po svojoj ekspertnoj procjeni. Upitnik je ispunilo deset rukometnih eksperata s dugogodišnjim radom u rukometu iz više zemalja (Hrvatska, Norveška, Srbija, Crna Gora i Njemačka) koji su odabrani po principu stručnosti, iskustva i poznavanja metodike rukometne igre. Metoda obrade podataka obuhvaćala je osnovne deskriptivne pokazatelje te su izračunati aritmetička sredina i medijan. Test Crombachove alfe korišten je kako bi se utvrdila kolika je prosječna pouzdanost između rukometnih eksperata.

Ovakva istraživanja dobar su temelj za postavljanje kvalitetne methodske strukture učenja rukometnih elemenata. Eksperti iz različitih rukometnih zemalja postavili su osnove za stvaranje kvalitetnog pravca učenja promatranih rukometnih elemenata te se ovakvim

istraživanjima stvaraju kvalitetne postavke za učenje pojedinih motoričkih zadataka koji čine rukometnu igru.

**Burger** i suradnici (2014) provode istraživanje na način da su poznatim i priznatim ekspertima iz rukometne igre postavljeni zadatci u vidu elementa taktike igre u napadu (zonska obrana 6:0). Zadanim opisima situacija morali su poredati elemente taktike po važnosti za učinkovito usvajanje elementa, kao i za vremenski slijed učenja svakog od opisanih elemenata te ih rangirati po svojoj ekspertnoj procjeni. Entiteti ovoga istraživanja su eksperti koji imaju formalnu naobrazbu iz područja sporta sa specijalnošću iz rukometa. Upitnik je ispunilo deset rukometnih eksperata s dugogodišnjim radom u rukometu iz više zemalja (Hrvatska, Norveška, Srbija, Crna Gora, Njemačka, Island, Španjolska) koji su odabrani po principu stručnosti, iskustva i poznavanja metodike rukometne igre. Svi rukometni eksperti završili su kineziološki fakultet te su priznati u znanstvenom radu na fakultetima u svojim zemljama. Metoda obrade podataka obuhvaćala je osnovne deskriptivne pokazatelje gdje se izračunala aritmetička sredina i medijan. Svaki element tehnike i taktike u opisanim situacijama rangiran je po medijanu. Korišten je neparametrijski postupak Spearmanove korelacije za svaki element tehnike koji je promatran prema važnosti za učinkovito usvajanje pojedinog elementa, kao i za vremenski slijed učenja istog elementa. Izračunom Crombachove alfe dobiveni su relativno visoki koeficijenti pouzdanosti između eksperata. Analizom po vremenskom slijedu učenja za zonsku obranu 6:0, dobiveni su izrazito visoki koeficijenti pouzdanosti koji odstupaju od idealne pouzdanosti (0,06). Taktičke postavke u metodici učenja zonske obrane 6:0 važan su indikator rukometnim ekspertima koji u ovome istraživanju imaju decidiran metodski postupak prilikom učenja ovog važnog taktičkog elementa.

## 2.2. Iskustva autora

Odabir teme doktorske disertacije prvenstveno je potaknut autorovom stručnom i znanstvenom znatiželjom za definiranjem što objektivnijih i sustavnijih postupaka za detekciju i valorizaciju kakvoće motoričkih znanja u rukometu. Važnost i nužnost konstruiranja inovativnih metodoloških pristupa analize motoričkih znanja prepoznata je kroz autorovo dugogodišnje stručno i znanstveno djelovanje. Ekspertne i znanstvene spoznaje autor je stjecao kroz višegodišnje aktivno bavljenje rukometom kao igrač, a nadasve kroz dugogodišnje bavljenje trenerskim pozivom sa svim uzrasnim i kvalitativnim kategorijama rukometaša i rukometašica. Autor je između ostalog višegodišnji stručni suradnik i regionalni instruktor Hrvatskog rukometnog saveza, suradnik u brojnim nacionalnim i međunarodnim rukometnim kampovima te trener u nacionalnoj selekciji (6. mjesto na Europskom prvenstvu u Makedoniji U17). Osim dugogodišnjeg stručnog rada s igračima i igračicama, autor ima i višegodišnje nastavno iskustvo kao profesor tjelesne i zdravstvene kulture u školi te kao nastavnik na rukometnim predmetima sveučilišnog i stručnog studija Kineziološkog fakulteta u Splitu. Osim institucionalnog i formalnog angažmana, autor se samostalno dodatno stručno i znanstveno usavršavao. Objavio je veći broj znanstvenih radova u znanstvenim časopisima te prisustvuje redovito na znanstvenim kongresima gdje izlaže radove s rukometnom tematikom. Sustavno prati stručnu i znanstvenu literaturu iz kineziologije, sporta i rukometa te se redovito usavršava na znanstvenom polju. Aktivno surađuje sa stručnjacima i znanstvenicima iz zemlje i inozemstva na znanstvenim radovima s tematikom rukometne igre. Iskustva, spoznaje i kompetencije stečene dugotrajnim igračkim, trenerskim, nastavnim, stručnim i znanstvenim angažmanom osiguravaju kvalitetnu osnovu za pouzdano prepoznavanje, definiranje, razradu i elaboraciju problematike iz domene motoričkih znanja u rukometu koja je predmetom ovog istraživanja.

### 3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Temeljni je cilj istraživanja definiranje optimalnih kinematičkih modela izvedbe elemenata tehnike skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja za vrhunske (reprezentativne) igrače u rukometu.

Optimalni model utvrdit će se kinematičkom analizom provedbe navedenih tehničkih elemenata kod vrhunskih (reprezentativnih) rukometaša, a usporedno će se utvrditi i kinematički modeli izvedbe elemenata kod kvalitetnih (prvoligaških) igrača. Parcijalni ciljevi istraživanja su izvršiti evaluaciju optimalnog modela u odnosu na tri različita kriterija:

- a) usporedba kinematičkih parametara provedbe elemenata kod vrhunskih s kinematičkim parametrima provedbe kod kvalitetnih (prvoligaških) rukometaša
- b) usporedba kinematičkih parametara provedbe elemenata kod vrhunskih (reprezentativnih) rukometaša s hipotetskim modelom optimalne izvedbe definiranim od strane eksperata
- c) usporedba kinematičkih parametara provedbe elemenata kod kvalitetnih (prvoligaških) rukometaša s hipotetskim modelom optimalne izvedbe definiranim od strane eksperata.

Konačni je cilj istraživanja temeljem definiranih i evaluiranih kinematičkih modela konstruirati matematički algoritam za valorizaciju motoričkih znanja skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja.

#### 4. OSNOVNE HIPOTEZE

Sukladno temeljnom i parcijalnim ciljevima istraživanja, definirano je šest parcijalnih multih hipoteza:

**H<sub>01</sub>:** neće se utvrditi značajna razlika u kinematičkim parametrima provedbe elementa tehnike skok šuta između vrhunskih i prvoligaških igrača

**H<sub>02</sub>:** neće se utvrditi značajna razlika u kinematičkim parametrima provedbe elementa tehnike varke promjene smjera kretanja između vrhunskih i prvoligaških igrača

**H<sub>03</sub>:** neće se utvrditi statistički značajna povezanost između kinematičkog modela izvedbe elementa tehnike skok šuta kod vrhunskih igrača i hipotetskog ekspertnog modela

**H<sub>04</sub>:** neće se utvrditi statistički značajna povezanost između kinematičkog modela izvedbe elementa tehnike varke jednostruke promjene smjera kretanja kod vrhunskih igrača i hipotetskog ekspertnog modela

**H<sub>05</sub>:** neće se utvrditi statistički značajna povezanost između kinematičkog modela izvedbe elementa tehnike skok šuta kod prvoligaških igrača i hipotetskog ekspertnog modela

**H<sub>06</sub>:** neće se utvrditi statistički značajna povezanost između kinematičkog modela izvedbe elementa tehnike varke jednostruke promjene smjera kretanja kod prvoligaških igrača i hipotetskog ekspertnog modela.

## **5. PLAN ISTRAŽIVANJA**

Istraživanje je provedeno sukcesivno u četiri faze.

### **1. faza**

U prvoj fazi provedena je kinematička analiza snimanjem izvedbe tehničkih elemenata odgovarajućim kamerama i korištenjem pripadajućeg softvera na jednom i drugom subuzorku ispitanika. Istraživanje je provedeno u laboratorijskim uvjetima. Ispitanici su imali zadatak izvesti element skok šut i varku jednostruke promjene smjera kretanja onako kako to izvode na utakmici u situacijskim uvjetima. Također, u okviru ove faze provedena je analiza ekspertnog znanja o pravilnosti i svrhovitosti analiziranih elemenata tehnike koja će služiti za konstrukciju ekspertnog i evaluaciju kinematičkog modela.

### **2. faza**

U drugoj fazi konstruiran je kinematički model izvedbe analiziranih elemenata tehnike rukometne igre dobiven na vrhunskim i kvalitetnim igračima. Također, u ovoj je fazi definiran optimalni model izvedbe tehničkih elemenata temeljen na ekspertnoj procjeni.

### **3. faza**

U okviru treće faze izvršena je evaluacija kinematičkog modela definiranog na uzorku vrhunskih igrača komparacijom s kinematičkim modelom zabilježenim na uzorku prvoligaških igrača. Također, u okviru ove faze izvršena je evaluacija kinematičkog modela definiranog na uzorku vrhunskih igrača komparacijom s modelom temeljenim na ekspertnoj procjeni.

### **4. faza**

U četvrtoj fazi temeljem definiranog i evaluiranog kinematičkog modela izrađen je matematički algoritam kao polazište za objektivnu valorizaciju motoričkih znanja skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja u rukometu.

## 6. ELEMENTI TEHNIKE

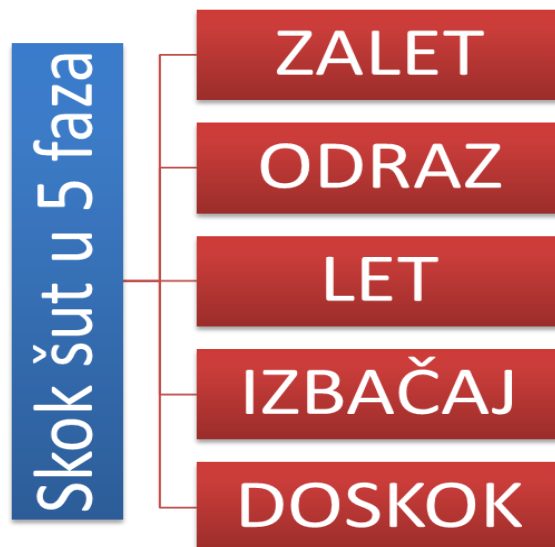
Predmet ovog istraživanja su dva elementa tehnike rukometne igre:

1. skok šut
2. varka jednostruke promjene smjera kretanja.

U okviru kinematičke analize varijable su predstavljale odgovarajući kinematički parametri koji su bili raspoređeni u 12 referentnih točaka. Referentne točke definirane su zglobovima, odnosno odgovarajućim distalnim točkama na polugama u okviru pripadajućeg kinematičkog lanca.

### 6.1. Skok šut

Skok šut se može podijeliti u nekoliko podfaza. Za potrebe ovog istraživanja podjela je napravljena u pet faza definiranih u prijašnjim istraživanjima (Zvonarek, 1997; Pori, 2005), što je vidljivo u shemi 1.



Shema 1. Skok šut u pet faza (Zvonarek, 1997)

### **6.1.1. Zalet**

Prva je faza skok šuta zalet koji predstavlja pripremnu radnju za kvalitetan dolazak na šut. Uspješnost zaleta očituje se u optimalnoj duljini zadnjeg koraka i simultanom spuštanjem centra gravitacije koje mora biti izvršeno tečno i ritmički. Zalet se može izvoditi na nekoliko načina: s loptom u ruci u rasponu od jednog do tri koraka, vođenjem lopte ili primanjem lopte od suigrača sa strane. Kinematički aspekt jednog koraka sagledava se na način da se računa podizanje stopala jedne noge od tla s ponovnim dodirivanjem iste noge s podlogom. Važni parametar sagleda se u promjeni horizontalne brzine do odraza koja se mjeri u m/s te ima izniman utjecaj u pripreмноj fazi. Spuštanje težišta tijela u zadnjem koraku ostvaruje preduvjet uspostavljanju vertikalne brzine u trenutku postavljanja odrazne noge. Ovako opisane faze zaleta stvaraju zaključak po kojem će igrači, kojima vertikalna brzina u trenutku postavljanja odrazne noge bude niža, imati veću dužinu skoka.

### **6.1.2. Odraz**

Odraz se vrši tzv. valjanjem počevši od pete preko stopala i prstiju te energičnim djelovanjem mišića opružaća u skočnom zglobu te zglobu koljena i kuka. Odrazna je noga blago zgrčena u koljenu, dok se slobodna noga, koja je zgrčena u koljenu pod kutom od  $90^\circ$ , zamahom odvodi naprijed i u stranu prema vani, pospješujući na taj način učinkovitost odraza. Položaj gornjeg dijela tijela donekle je sličan osnovnom bacanju s tla. Ruka s loptom i rame izbačajne ruke odvodi se u zaručenje, tako da je suprotno rame istureno prema naprijed, a trup je uspravan.

Drugu fazu skok šuta karakterizira znatno smanjenje horizontalne brzine te porast vertikalne brzine. Iznimno je važno trajanje odraznog kontakta s podlogom koje omogućava igraču brzi prelazak u vertikalni skok i odvajanje od podloge. Primjetno je podizanje težišta tijela za visinu podizanja pete od podloge odrazne noge, dok je sva težina tijela na plantarnom dijelu. Završna faza odraza završava trenutkom kada stopalo odrazne noge napušta podlogu.

### **6.1.3. Let**

Let započinje napuštanjem stopala (odrazne) noge od podloge te završava kada se igrač nađe u najvišoj točki (centar težišta tijela najviše udaljen od podloge). Za rukometnu igru let ima posebnu važnost jer se u ovoj fazi stvaraju preduvjeti u kojima igrač mora ocijeniti koliko treba ostati u fazi leta te koliko treba otići tijelom naprijed ovisno o situaciji koja se postavlja



pred igrača. Fazu leta karakteriziraju dvije komponente, a to su temporalna i spacijalna. Ruka s loptom i rame izbačajne ruke odvodi se u zaručenje, tako da je suprotno rame istureno prema naprijed, a trup je uspravan. Treća faza skok šuta naročito ovisi o prethodnim fazama te se greške koje mogu nastati u ovoj fazi naslanjaju na fazu zaleta i fazu odraza koje bitno mogu utjecati na maksimalnu visinu leta koja je od iznimne važnosti prilikom šutiranja s vanjskih pozicija. Vrijeme postizanja maksimalne visine leta i horizontalni pomak težišta tijela do trenutka izbačaja lopte stvaraju glavnu komponentu ove faze koja se u konačnici manifestira u samome trajanju leta. Tako igrači koji skoče više i duže, imaju više vremena do postizanja maksimalne visine te im se povećava ukupno vrijeme trajanja leta.

#### **6.1.4. Izbačaj**

Izbačaj započinje okretanjem, odnosno odsukom trupa oko uzdužne osovine i kretanjem ramena izbačajne ruke prema naprijed, a završava momentom napuštanja lopte iz izbačajne ruke. Ruka je tek blago zgrčena u laktu, tako da se lopta dovodi visoko iznad glave i sa strane, malo više od širine ramena. Kada izbačajno rame prijeđe poprečnu ravninu, bacanje se nastavlja kretanjem lakta i na kraju šake prema naprijed, popraćeno retroaktivnim kretanjem zamašne noge prema natrag i dolje, što pospješuje silu izbačaja.

Izbačajni impuls u skok šutu započinje aktivacijom mišićja stražnjeg skočnog zgloba, nakon čega se maksimalnom brzinom prenosi preko zgloba koljena, kuka, ramenog zgloba, lakta i šake, a na kraju ga završavaju prsti koji konačno izbacuju loptu i daju joj željeni smjer te tako čine završnicu kinetičkog lanca.

Važni parametri koje bi trebalo sagledati jesu visina i brzina izbačaja, a za cilj imaju efikasnost u realizaciji kod rukometnih igrača. Uspješnost izbačaja uvjetovana je razinom eksplozivne snage ruku i ramenog pojasa te pravilnom biomehaničkom strukturom cijelog kinematičkog lanca.

#### **6.1.5. Doskok**

Doskok započinje u trenutku kada lopta napusti izbačajnu ruku i traje do dodira jednog ili obaju stopala s podlogom. Važnost doskoka očituje se u amortizaciji cijelog tijela s podlogom koje za cilj ima uključivanje mišićno-vezivnog tkiva donjih ekstremiteta kako bi faza prizemljenja cijelog tijela prošla bez ozljede. Prvi kontakt s podlogom kod doskoka ostvaruje se odraznom nogom, nakon čega slijedi spuštanje stopala zamašne noge. U fazi amortizacije nakon kontakta s podlogom nisu prisutne značajnije oscilacije promjene visine težišta tijela.

## 6.2. Varka jednostruke promjene smjera kretanja

Varka jednostruke promjene smjera kretanja sastoji od dvije faze:

- a) lažne (prividne) faze
- b) stvarne (izvršne) faze.

Lažni dio varke je onaj kojim se protivnika nastoji obrambeno angažirati lažnim kretanjem te je u pravilu naglašen, uvjerljiv, jasno izražen i vremenski duži. Uvjerljivost lažnog dijela varke pospješuje se kretanjem cjelokupnog tijela s obveznim pomicanjem središta težišta u lažnom smjeru te usmjerenošću glave i pogleda u istom pravcu. Zadaća lažnog dijela varke je da navede obrambenog igrača na izbacivanje težišta tijela iz ravnotežnog položaja ili na kretanje braniča u željenom pravcu.

Stvarna (izvršna) faza mora za protivnika biti iznenadna, dakle munjevita i energična, s optimalnom amplitudom kretanja, kako protivnički branič koji je reagirao na lažnu fazu ne bi sustigao i zaustavio igrača u prodoru. Ova faza također mora biti tehnički besprijekorna, racionalna, precizna te optimalno prostorno-vremenski usklađena.

Ono što karakterizira varku jednostruke promjene smjera kretanja je da mora sadržavati esencijalna obilježja kako bi bila uspješna, a to su pravilno odabrani pravac djelovanja i optimalni trenutak izvođenja. Pravac djelovanja obilježen je sadržajem varke, dok je trenutak započinjanja izvršne faze izvođenja uvjetovan prostorno-vremenskom komponentom aktivnosti obrambenog igrača.

Pripremna faza u svrsi zauzimanja što boljeg položaja od iznimne je važnosti te treneri često u svom radu nedovoljno pažnje pridodaju ispravci grešaka koje se pojavljuju u samome startu izvođenja. Varka se provodi na udaljenosti od 1,5 m od braniča, po mogućnosti u prvom koraku nakon primanja lopte. Iznimno je važno da kad napadač napada braniča, lažnu fazu finte ne izvodi u tijelo braniča, već je mora izvesti pokraj njega za širinu tijela kako bi izazvao bočni korak kod braniča. Pomicanjem braničeva koraka u stranu, ostvaruje se prvi preduvjet u kojem napadač može napraviti bočni korak suprotnog smjera od braničeva te time dobiti otvoreni put prema голу.

## **7. METODE RADA**

### **7.1. Uzorak ispitanika**

#### **7.1.1. Uzorak rukometaša**

Uzorak ispitanika sačinjavalo je 10 rukometaša podijeljenih u dva subuzorka na vrhunske (reprezentativne) i kvalitetne (prvoligaške) igrače. Vrhunske rukometaše (reprezentativni uzorak) predstavljalo je pet igrača koji su u svojoj rukometnoj karijeri odigrali minimalno pet sezona za Hrvatsku rukometnu reprezentaciju te su osvajači medalja s Olimpijskih igara, svjetskih i europskih rukometnih prvenstava. Kvalitetne rukometaše (prvoligaški uzorak) predstavljalo je pet igrača koji u svojoj rukometnoj karijeri imaju minimalno tri sezone igranja u Prvoj hrvatskoj rukometnoj ligi.

### 7.1.2. Uzorak eksperata

Za potrebe ekspertne evaluacije, uzorak je predstavljalo 10 referentnih i kompetentnih eksperata s dugogodišnjim stručnim i znanstvenim radom u rukometu.

Znanstvenik-ekspert morao je zadovoljavati sljedeće kriterije:

1. posjeduje akademsko zvanje magistra struke ili doktora znanosti sa specijalizacijom iz rukometa ili doktora znanosti iz područja rukometa
2. predavač je na predmetu rukomet na fakultetima, ostalim institucionalnim oblicima školovanja i na usavršavanju rukometnih trenera ili međunarodnim rukometnim seminarima
3. radi aktivno u praksi kao rukometni trener minimalno 10 godina s referentnim rezultatima.

Tehnikom anketiranja provedena je analiza ekspertnog znanja o tehničkoj kvaliteti i svrhovitosti različitih varijanti izvedbe elemenata skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja kao osnova za kreiranje ekspertnog modela.

Ekspertima je bilo ponuđeno šest različitih varijanti izvedbe svake faze analiziranih elemenata tehnike. Sve varijante su prethodno empirijski detektirane i zabilježene u situacijsko-natjecateljskim uvjetima na utakmicama. Eksperti su imali zadatak ocijeniti tehničku pravilnost, svrhovitost i racionalnost svake od ponuđenih varijantni izvedbe pojedine faze analiziranih elemenata tehnike. Ocjene su izražene na Likertovoj skali od 1 do 5 pri čemu je važnost ocjene određena na sljedeći način:

- 1 – krajnje nepravilna, nesvrhovita i neracionalna izvedba
- 2 – nedovoljno pravilna, svrhovita i racionalna izvedba
- 3 – prosječno pravilna, svrhovita i racionalna izvedba
- 4 – u velikoj mjeri pravilna, svrhovita i racionalna izvedba
- 5 – tehnički najpravilnija, najsvrhovitija i najracionalnija izvedba.

## 7.2. Uzorak varijabli

### 7.2.1. Varijable kinematičke analize

U okviru kinematičke analize ciljano su odabrani i analizirani samo kinematički parametri koji su komparabilni s varijablama ekspertne procjene.

#### 7.2.1.1. Varijable kinematičke analize skok šuta

U tablici 1 prezentirane su varijable kinematičke analize skok šuta.

Tablica 1. Varijable kinematičke analize skok šuta:

<b>FAZA ZALETA</b>
1. Broj koraka
2. Dužina 1. koraka
3. Dužina 2. koraka
4. Dužina 3. koraka
5. Ukupna dužina koraka
6. Prosječna dužina koraka
7. Brzina zaleta
8. Kinetička energija tijekom zaleta
9. Trajanje faze zaleta
<b>FAZA ODRAZA</b>
10. Nagib potkoljenice odrazne noge
11. Položaj najnižeg težišta tijela za vrijeme faze odraza
12. Trajanje faze odraza
<b>FAZA LETA</b>
13. Visina leta

14. Kretanje tijela u daljinu
15. Brzina postizanja maksimalne visine tijela
16. Kut trupa
17. Kut ramena
18. Trajanje faze leta
<b>FAZA IZBAČAJA</b>
19. Visina izbačaja
20. Kut nadlaktice 1
21. Brzina šake
22. Kut nadlaktice 2
23. Trajanje faze izbačaja
<b>FAZA DOSKOKA</b>
24. Kretanje tijela u daljinu
25. Trajanje faze doskoka

### 7.2.1.2. Varijable kinematičke analize varke jednostruke promjene smjera kretanja

U tablici 2 prezentirane su varijable kinematičke analize varke jednostruke promjene smjera kretanja.

Tablica 2. Varijable kinematičke analize varke jednostruke promjene smjera kretanja:

<b>LAŽNA FAZA</b>
26. Duljina koraka iskoračne noge
27. Brzina lažnog dijela faze
28. Kut trupa u odnosu s podlogom
29. Pomicanje centra težišta tijela
30. Iskorak u prostor iskoračnom nogom
31. Trajanje lažnog dijela faze
<b>STVARNA (IZVRŠNA) FAZA</b>
32. Ukupna dužina svih koraka
33. Dužina 1. koraka
34. Dužina 2. koraka
35. Brzina 1. koraka
36. Brzina 2. koraka
37. Smjer 2. koraka
38. Položaj stopala stajne noge
39. Trajanje stvarne (izvršne) faze

### 7.2.2. Opis referentnih točaka za kinematičku analizu

Za potrebe kinematičke analize definirano je dvanaest, odnosno šest simetričnih referentnih točaka i to:

#### *SKOČNI ZGLOB LIJEVE (SKZGLIJ) I DESNE NOGE (SKZGDES)*

Referentna točka postavljena je na donjem kraju vanjskog gležnja (maleol), slika 1.

#### *KOLJENSKI ZGLOB LIJEVE (KZLINOG) I DESNE NOGE (KZDENOG)*

Referentna točka postavljena je na sredini zgloba koljena s prednje strane na poziciji ivera (patele).

#### *ZGLOB KUKA LIJEVE (ZGKUKLIJ) I DESNE NOGE (ZGKUKDES)*

Referentna točka postavljena je na vrhu zdjelice kosti u točki Cresta iliaca.

#### *ZGLOB RAMENA LIJEVE (ZGRAMLIJ) I DESNE RUKE (ZGRAMDES)*

Referentna točka postavljena je na akromionu.

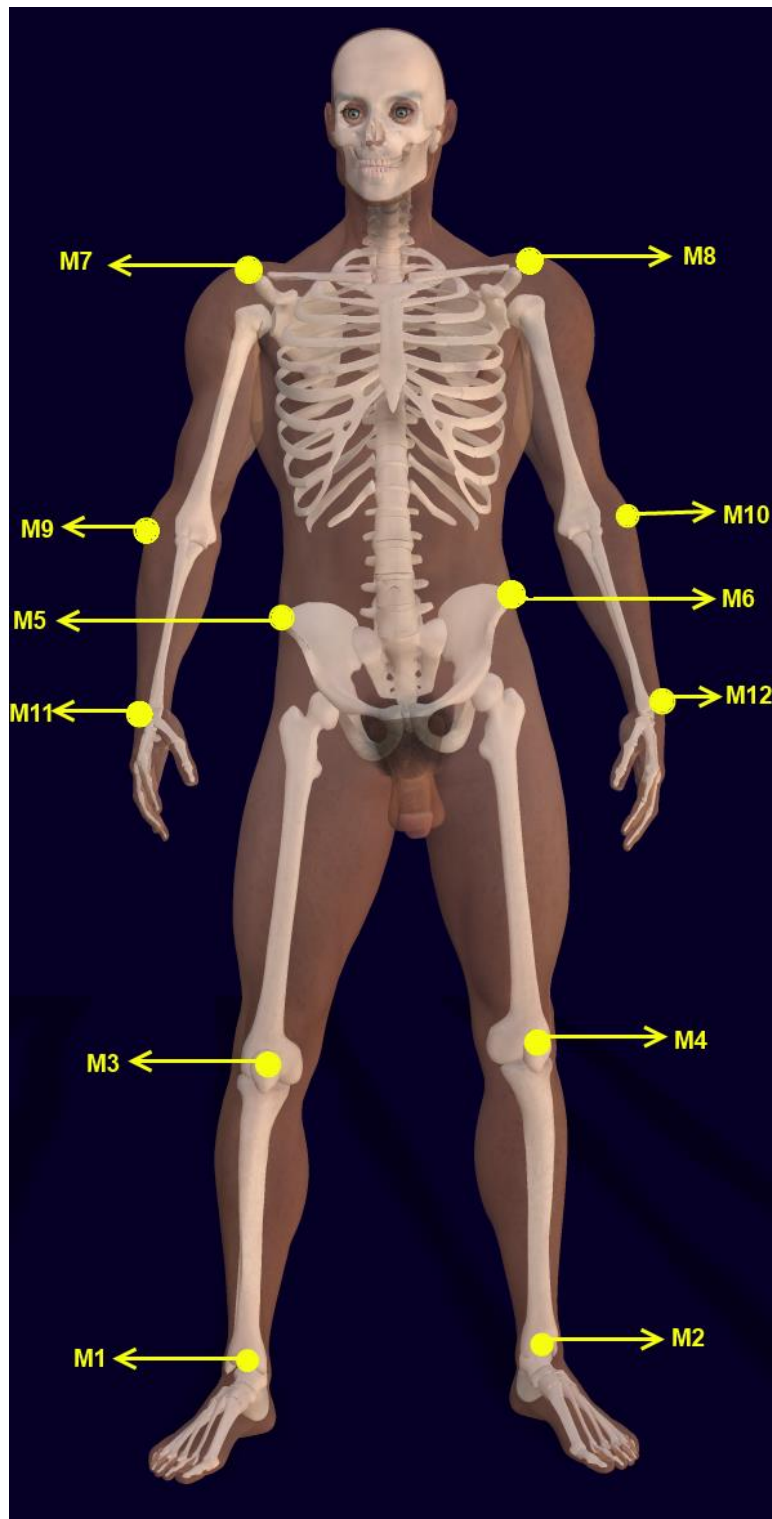
#### *LAKATNI ZGLOB LIJEVE (ZGLAKLIJ) I DESNE RUKE (ZGLAKDES)*

Referentna točka postavljena je na kraju ulnarne kosti (Olecranonu).

#### *ZGLOB ŠAKE LIJEVE (ZGŠAKLIJ) I DESNE RUKE (ZGŠAKDES)*

Referentna točka postavljena je na krajevima ulnarne i radijalne kosti s prednje strane.





*Slika 1. Raspored markera na tijelu ispitanika*

### 7.2.3. Opis varijabli kinematičke analize

1. BROJ KORAKA (BRKORAK) - Varijabla opisuje koliko su ispitanici napravili koraka u fazi zaleta. Korak je definiran kao zabilježena promjena visine referentne točke skočnog zgloba iskoračne noge na koordinati y, od napuštanja početnog nultog položaja stopala na tlu do ponovnog dolaska u nulti položaj, odnosno ponovnog spuštanja stopala iskoračne noge na tlo.
2. DUŽINA 1. KORAKA (DUŽ1KOR) - Dužina prvog koraka izražena je kao dužina između referentne točke skočnog zgloba iskoračne noge kod nultog položaja stopala na početku i završnog položaja nakon spuštanja stopala na tlo. Dužina prvog koraka za element skok šut izražena je u centimetrima (cm).
3. DUŽINA 2. KORAKA (DUŽ2KOR) - Dužina drugog koraka izražena je kao dužina između referentne točke skočnog zgloba iskoračne noge kod nultog položaja stopala na početku i završnog položaja nakon spuštanja stopala na tlo. Dužina drugog koraka za element skok šut izražena je u centimetrima (cm).
4. DUŽINA 3. KORAKA (DUŽ3KOR) - Dužina trećeg koraka izražena je kao dužina između referentne točke skočnog zgloba iskoračne noge kod nultog položaja stopala na početku i završnog položaja nakon spuštanja stopala na tlo. Dužina trećeg koraka za element skok šut izražena je u centimetrima (cm).
5. UKUPNA DUŽINA ZALETA (UKPDUŽZA) - Ukupna dužina zaleta izračunata je zbrojem dužina svakog od izvedenih koraka u fazi zaleta. Ukupna dužina zaleta za element skok šut izražena je u centimetrima (cm).
6. PROSJEČNA DUŽINA KORAKA (PRSDUŽK) - Prosječna dužina koraka izračunata je na način da je ukupna dužina svih koraka u fazi zaleta podijeljena brojem izvedenih koraka. Prosječna dužina koraka izražena je u centimetrima (cm).
7. BRZINA ZALETA (BRZINAZAL) - Srednja ili prosječna brzina izračunata je kao omjer ukupne dužine zaleta i vremena potrebnih za njegovu provedbu preko formule. Brzina zaleta izračunata je u metrima po sekundi (m/s).
8. KINETIČKA ENERGIJA (KINEENE) - Kinetička energija za fazu zaleta izračunata je preko formule  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  gdje je m oznaka za masu tijela, a v za brzinu. Kinetička energija izračunata je u džulima (J), službenoj mjernoj jedinici SI sustava.

9. TRAJANJE FAZE ZALETA (TRAJZAL) – Vrijeme potrebno za provedbu ukupne dužine zaleta izraženo je u sekundama (s).
10. NAGIB POTKOLJENICE (NAGPOT) - Nagib potkoljenice predstavlja kut koji potkoljenica odrazne noge zatvara s podlogom u fazi odraza, a izračunat je preko referentnih točaka skočnog zgloba i koljena odrazne noge te je izražen u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
11. NAJNIŽI POLOŽAJ TEŽIŠTA TIJELA TIJEKOM FAZE ODRAZA (NAJNTEZ) – Položaj težišta izračunat je preko dviju referentnih točaka *zgloba kuka lijeve (ZGKUKLIJ)* i *zgloba kuka desne noge (ZGKUKDES)*. Visina najnižeg težišta izražena je u centimetrima (cm).
12. TRAJANJE FAZE ODRAZA (TRAJODR) - Vrijeme potrebno za provedbu odraza od trenutka kontakta do napuštanja podloge stopala odrazne noge izraženo je u sekundama (s).
13. VISINA LETA (VISLET) – Visina leta izračunata je kao razlika visine centra težišta tijela na početku faze leta i najviše točke težišta tijela u fazi leta. Položaj težište tijela u najvišoj točki leta izračunat je preko dviju referentnih točaka *zgloba kuka lijeve (ZGKUKLIJ)* i *zgloba kuka desne noge (ZGKUKDES)*. Visina leta izražena je u centimetrima (cm).
14. DUŽINA LETA (DULJODLET) - Izračunata je kao dužina između projekcije težišta tijela kod početne (točka odraza) i završne točke (točka izbačaja) faze leta. Dužina faze leta izražena je u centimetrima (cm).
15. BRZINA POSTIZANJA MAKSIMALNE VISINE LETA (BRZPOSMVL) - Srednja ili prosječna brzina izračunata je kao omjer visine leta i trajanja leta preko formule  $v = s/t$ . Brzina postizanja maksimalne visine leta izračunata je u metrima po sekundi (m/s).
16. KUT TRUPA U FAZI LETA (KUTTRUP) - Izražen je kao kut između dužine određene polovištima biakromijalnog i bikristalnog raspona opisanih pripadajućim referentnim točkama ramena i kukova s podlogom odnosno vodoravnom ravninom u najvišoj točki leta. Kut je izražen u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
17. KUT RAMENE OSOVINE U FAZI LETA (KUTRAM) - Izražen je kao kut između dužine određene akromionima, odnosno ramene osovine i frontalne ravnine u najvišoj točki leta. Kut je izražen u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
18. TRAJANJE FAZE LETA (TRAJLET) - Vrijeme potrebno za provedbu faze leta između točke odraza i dostizanja najviše točke leta izraženo je u sekundama (s).

19. VISINA IZBAČAJA (VISIZB) - Visina izbačaja definirana je kao udaljenost između referentne točke šake izbačajne ruke u trenutku izbačaja (napuštanje lopte iz zgloba šake) i podloge kao vodoravne ravnine. Visina izbačaja izražena je u centimetrima (cm).
20. KUT NADLAKTICE S HORIZONTALNOM RAVNINOM (KUTNAD1) – Izražen je kao kut između dužine određene referentnim točkama ramena i lakta izbačajne ruke i podloge kao vodoravne ravnine u trenutku izbačaja. Kut nadlaktice s podlogom izražen je u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
21. BRZINA ŠAKE U FAZI IZBAČAJA (BRŽŠAK) - Srednja ili prosječna brzina šake izračunata je kao omjer prijeđenog puta referentne točke zgloba izbačajne ruke tijekom izbačajnog pokreta od najviše točke leta do izbačaja potrebnog za njegovu provedbu preko formule  $v = s/t$ . Brzina šake izračunata je u metrima po sekundi (m/s).
22. KUT NADLAKTICE U ODNOSU NA SAGITALNU RAVAN (KUTNAD2) - Izračunat je preko triju referentnih točaka, a to su rame ruke suprotne izbačajnoj ruci, rame ruke sukladne izbačajnoj ruci i lakat izbačajne ruke, s tim da je visina izuzeta (y-os) kako bi se moglo usporediti dolazi li do pretjecanja lakta u fazi izbačaja. Kut nadlaktice izračunat je u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
23. TRAJANJE FAZE IZBAČAJA (TRAJIZB) - Vrijeme potrebno za provedbu izbačaja izraženo je u sekundama (s).
24. DUŽINA DOSKOKA (DUŽDOSK) - Dužina između projekcije težišta tijela u trenutku izbačaja lopte i završne točke doskoka izražena je u centimetrima (cm).
25. TRAJANJE FAZE DOSKOKA (TRAJDOS) - Vrijeme potrebno za provedbu doskoka izraženo je u sekundama (s).
26. DUŽINA KORAKA (VDUŽKOR) – Izražena je kao dužina između referentne točke skočnog zgloba noge suprotne izbačajnoj ruci na početku i na kraju koraka. Korak je definiran zabilježenom promjenom visine referentne točke skočnog zgloba na koordinati y od početnog (nultog) položaja do ponovnog dolaska u nulti položaj spuštanjem stopala na tlo na kraju koraka. Dužina koraka iskoračne noge u lažnoj fazi izračunata je u centimetrima (cm).
27. BRZINA LAŽNOG DIJELA FAZE (VBRZLAŽ) - Srednja ili prosječna brzina lažnog dijela faze varke jednostruke promjene smjera kretanja izračunata je kao omjer dužine koraka s vremenom potrebnim za njegovu provedbu, preko formule  $v = s/t$ . Brzina lažnog dijela faze izračunata je u metrima po sekundi (m/s).

28. KUT TRUPA U LAŽNOJ FAZI (VKUTRUPA) - Izražen je kao kut između dužine određene polovištima bikristalnog i biakromijalnog raspona i horizontalne ravnine. Kut je izračunat u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
29. POMICANJE CENTRA TEŽIŠTA (VCENTARTŽ) – Izraženo je kao dužina između projekcija centra težišta tijela na početku i na kraju lažne faze varke. Pomak centra težišta izražen je u centimetrima (cm).
30. KUT ISKORAČNE NOGE (VKUTISKN) – Izražen je kao kut između dužine određene skočnim zglobovom iskoračne noge na početku i na kraju koraka te frontalne ravnine. Kut je izračunat u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
31. POLOŽAJ STOPALA (VPOLSTOP) - Izražen je kao kut između dužine stopala iskoračne noge i sagitalne osi u trenutku završetka stvarne faze. Kut je izražen u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
32. TRAJANJE LAŽNE FAZE (VTRAJDOS) - Vrijeme potrebno za provedbu lažne faze varke jednostruke promjene smjera kretanja izraženo u sekundama (s).
33. DUŽINA 1. KORAKA U STVARNOJ (IZVRŠNOJ) FAZI (VDUŽ1KOR) - Izražena je kao dužina između referentne točke skočnog zgloba iskoračne noge kod početnog i završnog položaja stopala, odnosno ponovnog kontakta s podlogom nakon završetka prvog koraka izvršnog dijela varke. Dužina prvog koraka u izvršnoj fazi varke jednostruke promjene smjera kretanja izražena je u centimetrima (cm).
34. DUŽINA 2. KORAKA U STVARNOJ (IZVRŠNOJ) FAZI (VDUŽ2KOR) - Izražena je kao dužina između referentne točke skočnog zgloba iskoračne noge kod početnog i završnog položaja stopala, odnosno ponovnog kontakta s podlogom nakon završetka drugog koraka izvršnog dijela varke. Dužina drugog koraka u izvršnoj fazi varke jednostruke promjene smjera kretanja izražena je u centimetrima (cm).
35. UKUPNA DUŽINA KORAKA U STVARNOJ (IZVRŠNOJ) FAZI (VUKPDUŽ) - Izražena je kao zbroj dužina svih koraka provedenih u izvršnom dijelu varke. Ukupna dužina koraka izražena je u centimetrima (cm).
36. BRZINA 1. KORAKA U IZVRŠNOJ FAZI (VBRZ1KOR) - Srednja ili prosječna brzina izračunata je kao omjer dužine prvog koraka izvršnog dijela varke i vremena potrebnog za njegovu provedbu preko formule  $v = s/t$ . Brzina prvog koraka izvršne faze izražena je u metrima po sekundi (m/s).
37. BRZINA 2. KORAKA U IZVRŠNOJ FAZI (VBRZ2KOR) - Srednja ili prosječna brzina izračunata je kao omjer dužine drugog koraka izvršnog dijela varke i

vremena potrebnog za njegovu provedbu preko formule  $v = s/t$ . Brzina drugog koraka izvršne faze izražena je u metrima po sekundi (m/s).

38. SMJER 2. KORAKA (VSMJER2KOR) – Izražen je kao kut između dužine određene projekcijama referentnih točaka skočnih zglobova obiju nogu nakon završenog drugog koraka izvršne faze i sagitalne osi. Kut je izračunat u stupnjevima ( $^{\circ}$ ).
39. TRAJANJE IZVRŠNE FAZE (VTRAJIZV) - Vrijeme potrebno za provedbu ukupne dužine koraka u izvršnom dijelu varke izraženo je u sekundama (s). Izvršni dio faze započinje pomicanjem stopala jedne ili druge noge nakon lažne faze, a završava odrazom noge suprotne izbačajnoj ruci.

### 7.3. Varijable ekspertne procjene

Eksperti su putem upitnika valorizirali pravilnost i svrhovitost pojedine varijante elemenata skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja. Osim tekstualnog opisa, u upitnicima su i slikovno prikazane sve varijante izvedbe elemenata u pojedinim fazama, a eksperti su ocjenama na Likertovoj skali od 1 do 5 ocjenjivali njihovu tehničku pravilnost.

#### 7.3.1. Skok šut

##### 7.3.1.1. Zalet

###### 1.1. *ZALET KORAKOM NOGE SUPROTNE IZBAČAJNOJ RUCI (ZKNSIR)*

Igrač vrši zalet s loptom u ruci korakom noge suprotne izbačajnoj ruci. Kretanje se vrši pravocrtno s kontroliranim ubrzanjem.

###### 1.2. *ZALET KORAKOM NOGE SUKLADNE IZBAČAJNOJ RUCI (ZKNSUIR)*

Igrač vrši zalet s loptom u ruci korakom noge sukladne izbačajnoj ruci. Kretanje se vrši pravocrtno s kontroliranim ubrzanjem.

###### 1.3. *ZALET DVOKORAKOM SA ZAVRŠNIM KORAKOM NOGE SUPROTNE IZBAČAJNOJ RUCI (ZDZKNSIR)*

Igrač vrši zalet s loptom dvokoračnim kretanjem tako da je završni korak nogom suprotnom izbačajnoj ruci. Kretanje se vrši pravocrtno s kontroliranim ubrzanjem.

###### 1.4. *ZALET DVOKORAKOM SA ZAVRŠNIM KORAKOM NOGE SUKLADNE IZBAČAJNOJ RUCI (ZDZKNUIR)*

Igrač vrši zalet s loptom dvokoračnim kretanjem tako da je završni korak nogom sukladnom izbačajnoj ruci. Kretanje se vrši pravocrtno s kontroliranim ubrzanjem.

###### 1.5. *ZALET TROKORAKOM SA ZAVRŠNIM KORAKOM NOGE SUPROTNE IZBAČAJNOJ RUCI (ZTZKNSIR)*

Igrač vrši zalet s loptom trokoračnim kretanjem tako da je završni korak nogom suprotnom izbačajnoj ruci. Kretanje se vrši pravocrtno s kontroliranim ubrzanjem.

*1.6. ZALET TROKORAKOM SA ZAVRŠNIM KORAKOM NOGE SUKLADNE IZBAČAJNOJ RUCI (ZTZKNSUIR)*

Igrač vrši zalet s loptom trokoračnim kretanjem tako da je završni korak nogom sukladnom izbačajnoj ruci. Kretanje se vrši pravocrtno s kontroliranim ubrzanjem.

**7.3.1.2. Odraz**

*2.1. ODRAZ S PRSTIJU NOGE SUPROTNE IZBAČAJNOJ RUCI (OPNSIR)*

Odraz se vrši isključivo s prednjeg dijela stopala i prstiju noge suprotne izbačajnoj ruci.

*2.2. ODRAZ S PRSTIJU NOGE SUKLADNE IZBAČAJNOJ RUCI (OPNSKIR)*

Odraz se vrši isključivo s prednjeg dijela stopala i prstiju noge sukladne izbačajnoj ruci.

*2.3. ODRAZ VALJANJEM OD PETE PREMA PRSTIMA NOGE SUPROTNE IZBAČAJNOJ RUCI (OVPSNIR)*

Odraz se vrši isključivo valjanjem od pete prema prstima noge suprotne izbačajnoj ruci, odnosno prenošenjem težine od kraja stopala (peta) prema vrhu stopala (prsti).

*2.4. ODRAZ VALJANJEM OD PETE PREMA PRSTIMA NOGE SUKLADNE IZBAČAJNOJ RUCI (OVPSKIR)*

Odraz se vrši isključivo valjanjem od pete prema prstima noge sukladne izbačajnoj ruci, odnosno prenošenjem težine od kraja stopala (peta) prema vrhu stopala (prsti).

*2.5. SUNOŽNI ODRAZ S PRSTIJU IZ PARALELNOG STAVA (SOPPS)*

Odraz se vrši sunožno iz paralelnog stava sa stopalima razmaknutim za širinu kukova, isključivo s prednjeg dijela stopala i prstiju obiju nogu.

*2.6. SUNOŽNI ODRAZ S VALJANJEM STOPALA IZ PARALELNOG STAVA (SOVSPS)*

Odraz se vrši sunožno iz paralelnog stava sa stopalima razmaknutim za širinu kukova, isključivo valjanjem od pete prema prstima.



### **7.3.1.3. Let**

#### *3.1. TRUP NAGNUT PREMA NAPRIJED S PARALELNO POSTAVLJANIM RAMENIMA (KTNA PR)*

U fazi leta trup je nagnut prema naprijed s paralelno postavljanim ramenima tako da ramena osovina leži u sagitalnoj ravnini. Lakat izbačajne ruke je iznad razine ramena, dok se zamašna ruka nalazi ispred tijela s podlakticom okomitom na podlogu.

#### *3.2. TRUP NAGNUT PREMA NAPRIJED S DIJAGONALNO POSTAVLJENIM RAMENIMA (KTND PR)*

U fazi leta trup je nagnut prema naprijed s dijagonalno postavljenim ramenima tako da se akromijalna točka zamašne ruke nalazi ispred akromijalne točke izbačajne ruke. Lakat izbačajne ruke je iznad razine ramena, dok se zamašna ruka nalazi ispred tijela s podlakticom okomitom na podlogu.

#### *3.3. TRUP USPRAVAN S PARALELNO POSTAVLJANIM RAMENIMA (KTUP PR)*

U fazi leta trup je uspravan s paralelno postavljanim ramenima tako da ramena osovina leži u sagitalnoj ravnini. Lakat izbačajne ruke je iznad razine ramena, dok se zamašna ruka nalazi ispred tijela s podlakticom okomitom na podlogu.

#### *3.4. TRUP USPRAVAN S DIJAGONALNO POSTAVLJENIM RAMENIMA (KTUD PR)*

U fazi leta trup je uspravan s dijagonalno postavljenim ramenima tako da se akromijalna točka zamašne ruke nalazi ispred akromijalne točke izbačajne ruke. Lakat izbačajne ruke je iznad razine ramena, dok se zamašna ruka nalazi ispred tijela s podlakticom okomitom na podlogu.

#### *3.5 TRUP NAGNUT PREMA NATRAG S PARALELNO POSTAVLJENIM RAMENIMA (KTNR PR)*

U fazi leta trup je nagnut prema natrag s paralelno postavljanim ramenima tako da ramena osovina leži u sagitalnoj ravnini. Lakat izbačajne ruke je iznad razine ramena, dok se zamašna ruka nalazi ispred tijela s podlakticom okomitom na podlogu.

### *3.6 TRUP NAGNUT PREMA NATRAG S DIJAGONALNO POSTAVLJENIM RAMENIMA (NPNDPR)*

U fazi leta trup je nagnut prema natrag s dijagonalno postavljenim ramenima tako da se akromijalna točka zamašne ruke nalazi ispred akromijalne točke izbačajne ruke. Lakat izbačajne ruke je iznad razine ramena, dok se zamašna ruka nalazi ispred tijela s podlakticom okomitom na podlogu.

#### **7.3.1.4. Izbačaj**

##### *4.1. LAKAT IZBAČAJNE RUKE IZNAD RAZINE RAMENA S PRETJECANJEM LAKTA (LIRIRPL)*

U fazi izbačaja lakat izbačajne ruke nalazi se iznad razine ramena, s tim da dolazi do pretjecanja lakta koji je u trenutku izbačaja pozicioniran ispred ramena.

##### *4.2. LAKAT IZBAČAJNE RUKE IZNAD RAZINE RAMENA BEZ PRETJECANJA LAKTA (LIRIBPL)*

U fazi izbačaja lakat izbačajne ruke nalazi se iznad razine ramena, s tim da ne dolazi do pretjecanja lakta koji je u trenutku izbačaja pozicioniran iza ramena.

##### *4.3. LAKAT IZBAČAJNE RUKE U RAZINI RAMENA S PRETJECANJEM LAKTA (LIRURPL)*

U fazi izbačaja lakat izbačajne ruke nalazi se u razini s ramenom, s tim da dolazi do pretjecanja lakta koji je u trenutku izbačaja pozicioniran ispred ramena.

##### *4.4. LAKAT IZBAČAJNE RUKE U RAZINI RAMENA BEZ PRETJECANJA LAKTA (LIRURBPL)*

U fazi izbačaja lakat izbačajne ruke nalazi se u razini ramena, s tim da ne dolazi do pretjecanja lakta koji je u trenutku izbačaja pozicioniran iza ramena.

##### *4.5. LAKAT IZBAČAJNE RUKE ISPOD RAZINE RAMENA S PRETJECANJEM LAKTA (LIRIRPPL)*

U fazi izbačaja lakat izbačajne ruke nalazi se ispod razine ramena, s tim da dolazi do pretjecanja lakta koji je u trenutku izbačaja pozicioniran ispred ramena.

#### *4.6. LAKAT IZBAČAJNE RUKE ISPOD RAZINE RAMENA BEZ PRETJECANJA LAKTA (LIRIRBPL)*

U fazi izbačaja lakat izbačajne ruke nalazi se ispod razine ramena, s tim da ne dolazi do pretjecanja lakta koji je u trenutku izbačaja pozicioniran iza ramena.

### **7.3.1.5. Doskok**

#### *5.1. DOSKOK NA ODRAZNU NOGU (DNON)*

U fazi doskoka igrač ostvaruje kontakt s podlogom isključivo odraznom nogom na koju prebacuje čitavu težinu dok se zamašna noga nalazi u zraku.

#### *5.2. DOSKOK NA ZAMAŠNU NOGU (DNZN)*

U fazi doskoka igrač ostvaruje kontakt s podlogom isključivo zamašnom nogom na koju prebacuje čitavu težinu dok se odrazna noga nalazi u zraku.

#### *5.3. DOSKOK ISTOVREMENO NA OBJE NOGE U PARALELAN STAV (DOBNIPS)*

U fazi doskoka igrač ostvaruje kontakt isključivo istovremeno objema nogama u paralelnom stavu, ravnomjerno raspoređujući težinu tijela na oba stopala koja su razmaknuta u širini ramena.

#### *5.4. DOSKOK U DIJAGONALNI STAV S ODRAZNOM NOGOM NAPRIJED TE ZAMAŠNOM NOGOM NATRAG (DDNNZNN)*

U fazi doskoka igrač ostvaruje kontakt isključivo istovremeno objema nogama u dijagonalnom stavu, ravnomjerno raspoređujući težinu tijela na oba stopala tako da je stopalo odrazne noge pozicionirano naprijed, a zamašne natrag.

#### *5.5. DOSKOK U DIJAGONALNI STAV SA ZAMAŠNOM NOGOM NAPRIJED TE ODRAZNOM NOGOM NATRA (DDZNONZ)*

U fazi doskoka igrač ostvaruje kontakt isključivo istovremeno objema nogama u dijagonalnom stavu, ravnomjerno raspoređujući težinu tijela na oba stopala tako da je stopalo zamašne noge pozicionirano naprijed, a odrazne natrag.

*5.6. DOSKOK ISTOVREMENO NA OBJE NOGE U ŠIROKI PARALELNI STAV (DONIŠPS)*

U fazi doskoka igrač ostvaruje kontakt isključivo istovremeno objema nogama u paralelnom stavu, ravnomjerno raspoređujući težinu tijela na oba stopala koja su razmaknuta šire od ramena.

## **7.4.1. Varka jednostruke promjene smjera kretanja**

### **7.4.1.1. Lažna faza**

#### *6.1. ISKORAK U STRANU, TEŽIŠTE NA STRANU ISKORAČNE NOGE (TNSINIS)*

Igrač izvodi iskorak u stranu tako da kretanjem trupa prenosi težište tijela na stranu iskoračne noge koja se postavlja paralelno sa stajnom nogom.

#### *6.2. DIJAGONALNI ISKORAK, TEŽIŠTE NA STRANU ISKORAČNE NOGE (TNSINDI)*

Igrač izvodi iskorak dijagonalno naprijed u odnosu na stajnu nogu tako da kretanjem trupa prenosi težište tijela na stranu iskoračne noge.

#### *6.3. ISKORAK U STRANU BEZ PRIJENOSA TEŽIŠTA (TUSIISTR)*

Igrač izvodi iskorak u stranu bez kretanja trupom tako da je iskoračna noga u paralelnoj liniji sa stajnom nogom, dok je težište tijela ravnomjerno raspoređeno.

#### *6.4. DIJAGONALNI ISKORAK BEZ PRIJENOSA TEŽIŠTA (TUSDIIS)*

Igrač izvodi iskorak u stranu bez kretanja trupom tako da se iskoračna noga postavlja dijagonalno naprijed u odnosu na stajnu nogu, dok je težište tijela ravnomjerno raspoređeno.

#### *6.5. ISKORAK U STRANU, TEŽIŠTE U STRANU SUPROTNU ISKORAČNOJ NOZI (TMSTNIUS)*

Igrač izvodi iskorak u stranu tako da kretanjem trupa prenosi težište tijela na stranu suprotnu iskoračnoj nozi koja se postavlja paralelno sa stajnom nogom.

#### *6.6. DIJAGONALNI ISKORAK, TEŽIŠTE U SUPROTNU STRANU (TNSSNDI)*

Igrač izvodi iskorak dijagonalno naprijed u odnosu na stajnu nogu tako da kretanjem trupa prenosi težište tijela na stranu suprotnu iskoračnoj nozi.

#### **7.4.1.2. Stvarna (izvršna) faza**

##### *7.1. NOGA SUPROTNA IZBAČAJNOJ RUCI VRŠI KRETNJU DIJAGONALNO NAPRIJED (KSIDMN)*

Igrač vrši iskorak nogom suprotnom izbačajnoj ruci dijagonalno naprijed, dok druga noga miruje.

##### *7.2. NOGA SUPROTNA IZBAČAJNOJ RUCI VRŠI ROTACIJU STOPALA I DIJAGONALNI ISKORAK NAPRIJED (KSIRSN)*

Igrač vrši preliminarnu rotaciju stopala i iskorak nogom suprotnom izbačajnoj ruci dijagonalno naprijed, dok druga noga miruje.

##### *7.3. NOGA SUPROTNA IZBAČAJNOJ RUCI VRŠI PARALELNI ISKORAK U STRANU, A DRUGA NOGA DIJAGONALNI ISKORAK NAPRIJED (KSIZDI)*

Igrač najprije nogom suprotnom izbačajnoj ruci vrši kratki paralelni iskorak u stranu, a zatim nogom sukladnom izbačajnoj ruci dijagonalni iskorak naprijed.

##### *7.4. NOGA SUKLADNA IZBAČAJNOJ RUCI VRŠI DIJAGONALNI ISKORAK NAPRIJED, KAO I DRUGA NOGA NAKON TOGA (KISISIN)*

Igrač najprije nogom sukladnom izbačajnoj ruci vrši iskorak dijagonalno naprijed, a zatim i nogom suprotnom izbačajnoj ruci na isti način.

##### *7.5. SUNOŽNI ODRAZ U STRANU I ISKORAK NOGOM SUPROTNOM IZBAČAJNOJ RUCI RAVNO NAPRIJED (KSUSIR)*

Igrač najprije vrši sunožni odraz i doskok u paralelni stav u stranu, nakon čega nogom suprotnom izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed.

##### *7.6. NOGA SUKLADNA IZBAČAJNOJ RUCI VRŠI KORAK DIJAGONALNO UNATRAG, A DRUGA NOGA ISKORAK RAVNO NAPRIJED (KSIDNP)*

Igrač najprije nogom sukladnom izbačajnoj ruci vrši korak dijagonalno unatrag, nakon čega nogom suprotnom izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed.

## 8. OPIS KINEMATIKČKE ANALIZE

Snimanje elemenata tehnike skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja obavljeno je dvjema kamerama marke BASLER-402-FC koja može reproducirati 100 slika u sekundi te jednom pomoćnom kamerom marke PANASONIC koja ima reprodukciju 50 slika u sekundi. Analiza prikupljenih podataka obavljena je preko softverskog sustava GAIT - LABACS koji je konstruiran i evaluiran na FESB-u u Splitu. Prilikom pregleda video snimaka podatci su direktno ubacivani u prethodno pripremljene tablice programskog paketa Excel kako bi zabilježene pozicije referentnih točaka bilo jednostavnije i brže pripremiti za statističku obradu podataka.

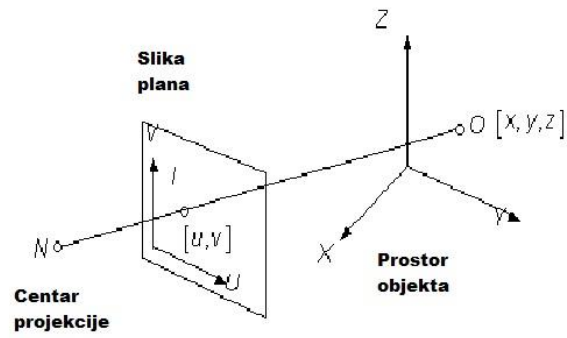
Snimanje je obavljeno u sportskoj dvorani, s prethodnom kalibracijom mjernog sustava, dok je raspored kamera bio takav da je svih dvanaest referentnih točaka na tijelu ispitanika bilo vidljivo.

Zadatak kalibracije kamere je određivanje seta parametara koji opisuju mapiranje između 3D koordinata prostora i 2D ravnine kamere. U literaturi se može pronaći više metoda kalibracije, međutim teško je pronaći opisane postupke potpune kalibracije kamere koji uključuju ispravljanje distorzije slike te izračun svih parametara kamere (Tsai, 1987; Heikkila i sur., 1997).

Kalibracija kamere, u kontekstu trodimenzionalnog strojnog vida, proces je određivanja unutarnjih geometrijskih i optičkih parametara poznatih kao intrinzični parametri (Stančić, 2012). Osnovni parametri su  $s$  (faktor omjera slike koji kod digitalnih kamera iznosi 1),  $f$  (fokus) te  $u_0$  i  $v_0$  (lokacija centra slike). Određivanje 3D položaja i orijentacije kamere u odnosu na koordinatni sustav naziva se ekstrinzičnom kalibracijom kamere. Parametri koji se pri tome određuju jesu  $tx$ ,  $ty$ ,  $tz$  (translacija kamere),  $w$  i  $f$  (rotacija kamere u koordinatnom sustavu) - slika 2.

Prije svega trebalo je kalibrirati mjerni prostor. Kalibracija se provodila postavljanjem objekta poznatih dimenzija u prostor mjerenja. Nakon toga su se očitavale XY vrijednosti referentnih točaka na tom objektu (sa slika kamera). Unošenjem očitanih vrijednosti sa slika, kao i prostornih koordinata referentnih točaka, moguće je primjenom metode DLT (direktne linearne transformacije) formirati matricu koja je korištena za izračunavanje prostornih

koordinata za svaku drugu točku u mjernom prostoru temeljem informacije o njenoj očitanoj XY vrijednosti sa slika prikupljenih kamerama (minimalno dvije).



*Slika 2. Kalibracija kamere*



*Slika 3. Kalibracija prostora*



3D kalibracija prostora obavljena je na način da je bilo postavljeno osam statičkih oznaka „markera“ gdje su četiri pozicionirana u vertikalnom smjeru na metalnom štapu s definiranom visinom te četiri pozicionirana na tlu, raspoređena na dnu metalnog štapa u razmjernom kvadratnom razmaku (slika 3).

Dvanaest referentnih točaka nalazilo se simetrično na skočnom zglobu, zglobu koljena, zglobu kuka, zglobu ramena, zglobu lakta i ručnom zglobu. Sve referentne točke bile su opisane tako što su obuhvaćale dva zgloba zajedno (slika 1).

Video sekvence bile su pregledane te su očitane i zapisane pozicije referentnih točaka sa svake pojedine kamere. Primjenom DLT metode izračunat je prostorni položaj referentnih točaka u svakom vremenskom trenutku izvedbe elementa. Za svaki analizirani element snimanje je bilo ponovljeno tri puta. Analiza kvalitete snimki napravljena je odmah nakon testiranja kako bi se eventualne pogreške prilikom video zapisa mogle korigirati ili ponoviti novim testiranjem (slika 4).

Temeljem poznatih koordinata referentnih točaka izračunati su kutovi među segmentima tijela (kut lakta, kut ramena, težište, nagib potkoljenice, kut trupa) tijekom izvedbe tehničkog elementa.



*Slika 4. Analiza kvalitete snimke odmah nakon testiranja*

## 9. METODE OBRADE PODATAKA

U cilju utvrđivanja znanstvenih nalaza, a sukladno ciljevima istraživanja, primijenjene su metode obrade podataka koje se smatraju adekvatnima za rješavanje problema ovog istraživanja. Podatci su bili obrađeni statističkim paketom *Statistica for Windows* ver. 11.0, dok je obrada podataka napravljena u četiri dijela:

*1. izračunavanje deskriptivnih i distribucijskih parametara kinematičkih varijabli:*

- aritmetička sredina (AS)
- standardna devijacija (SD)
- najmanji (MIN) i najveći (MAX) rezultati
- koeficijent asimetrije distribucije (Skewness)
- koeficijent zakrivljenosti distribucije (Kurtosis)
- testiranje normaliteta distribucije izvršeno je Kolmogorov-Smirnovljenim testom

*2. razlike u kinematičkim parametrima između vrhunskih i kvalitetnih rukometaša izvršene su multivarijatom analizom varijance (MANOVA) i univarijatom analizom varijance (ANOVA)*

*3. za potrebe analize varijabli koje se odnose na ekspertnu procjenu izračunali su se sljedeći parametri:*

- aritmetička sredina
- Spearman-Brownov koeficijent korelacije ranga

*4. relacije između zabilježenih i ekspertnih rezultata analizirane su sljedećim postupkom:*

Određeni su granični kinematički parametri za klasificiranje svake varijante izvedbe pojedine faze elementa tehnike. Tako su određeni parametri koji definiraju šest varijanti za svaku fazu izvođenja promatranih elemenata tehnike. Utvrđena je frekventnost pripadnosti ovako kinematički definiranim varijantama kod izvedbe vrhunskih i kvalitetnih rukometaša. Frekvencije zastupljenosti pojedinih varijabli normirane su na ordinalnoj skali od 1 do 5 kako bi se mogle komparirati s ocjenama eksperata. U tu je svrhu korišten Spearman-Brownov koeficijent rang korelacije.

## 10. REZULTATI I RASPRAVA

### 10.1. Rezultati kinematičke analize

Prije same kinematičke analize, a u cilju što boljeg razumijevanja kinematičkih parametara, izvršena su antropometrijska mjerenja tjelesne težine i visine reprezentativnih i prvoligaških rukometaša koja su prezentirana u tablici 3.

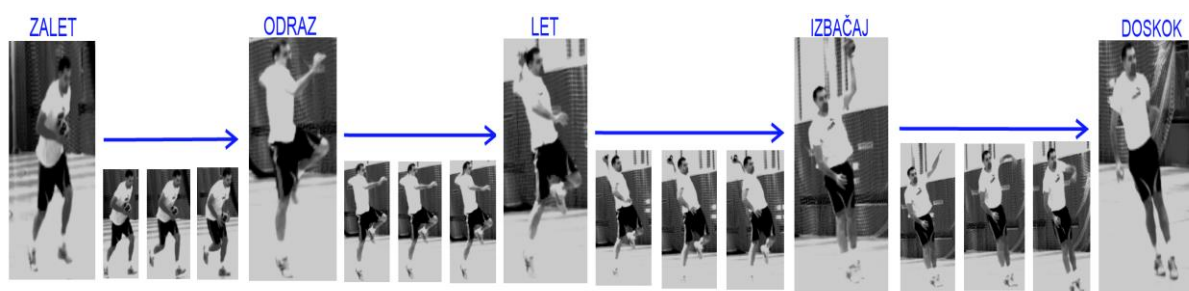
Tablica 3. Deskriptivni i distribucijski parametri za tjelesnu visinu i težinu na uzorku vrhunskih i prvoligaških rukometaša

	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX d	K-S p
ATV (VRHUNSKI)	196,00	191,00	203,00	4,64	0,88	0,31	0,29	p > .20
ATV (PRVOLIGAŠI)	192,40	185,00	202,00	7,30	0,52	-2,12	0,23	p > .20
ATT (VRHUNSKI)	100,00	92,00	112,00	8,00	0,94	-0,19	0,27	p > .20
ATT (PRVOLIGAŠI)	91,20	88,00	96,00	3,42	0,53	-1,14	0,23	p > .20

ATV - tjelesna visina, ATT - tjelesna težina, AS - aritmetička sredina, MIN - minimalna vrijednost rezultata, MAX - maksimalna vrijednost rezultata, SD - standardna devijacija, SKEW - koeficijent asimetrije, KURT - koeficijent zakrivljenosti, MAX D - odstupanja između kumulativnih i teorijskih proporcija, K-S p - značajnost Kolmogorov-Smirnovljevog testa normaliteta distribucije, MAX d test = 0,81

Dobro je poznato da visina tijela utječe na fizičku izvedbu. Provedena istraživanja (Sidhu i sur., 1975; Housh i sur., 1984; Doodum, 2000) kao i skalarna teorija Schmidt-Nielsen (1984) indiciraju da će više osobe imati bolju izvedbu u aktivnostima gdje je prisutna eksplozivno-snažna komponenta prilikom odraza. Evidentno je da prosječna visina za vrhunske rukometaše iznosi 196 cm, dok je izračun prosječne težine 100 kg. Prosječna visina za prvoligaške rukometaše iznosi 192,40 cm, a prosječna težina 91,20 kg. Zabilježeni rezultati u velikoj su mjeri sukladni rezultatima dobivenima na drugim uzorcima kvalitetnih i vrhunskih igrača u Hrvatskoj i u svijetu (Ghermanescu i sur., 1993; Šibila i sur., 2004; Gorostiaga i sur., 2005; Zapartidis i sur., 2009; Karišić i sur., 2009; Karišić i sur., 2011).

Kako je već navedeno, element skok šut podijeljen je u pet faza, dok je varka promjene smjera kretanja podijeljena u dvije faze (slika 5 i 6).



Slika 5. Shematski prikaz elementa skok šuta kroz pet promatranih faza (Ispitanik P. M.)



Slika 6. Shematski prikaz varke jednostruke promjene smjera kretanja kroz dvije promatrane faze (Ispitanik D. V.)

U cilju precizne diferencijacije pojedinih faza analiziranih elemenata tehnike, definirane su vremenske točke i karakteristične kretne strukture kojima započinju i završavaju faze što je vidljivo u tablici 4 elementa skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja.

Tablica 4. Definiranje početka i završetka svake od faza elementa skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja

<b>ELEMENT SKOK ŠUTA</b>
<b>1. FAZA - Zalet</b>
Zalet započinje pomicanjem bilo kojeg dijela tijela, a završava postavljanjem odrazne noge na podlogu zadnjeg koraka.
<b>2. FAZA - Odras</b>
Odras započinje kontaktom odrazne noge s podlogom, a završava kada odrazna noga napusti podlogu.
<b>3. FAZA - Let</b>
Faza leta započinje napuštanjem odrazne noge od podloge do točke kada je težište tijela vertikalno najudaljenije od podloge.

<b>4. FAZA - Izbačaj</b>
Izbačaj započinje od točke kada je težište tijela vertikalno najudaljenije od podloge do trenutka kada lopta napušta izbačajnu ruku.
<b>5. FAZA - Doskok</b>
Doskok započinje od trenutka kada lopta napušta izbačajnu ruku, a završava dodiranjem jedne od nogu s podlogom.
<b>ELEMENT: VARKA JEDNOSTRUKI PROMJENE SMJERA KRETANJA</b>
<b>1. FAZA - Lažna faza</b>
Lažna faza započinje početnim položajem kada stopalo noge suprotne izbačajnoj ruci napušta podlogu do momenta dodira stopala iste noge s podlogom.
<b>2. FAZA - Izvršna faza</b>
Izvršna faza započinje napuštanjem stopala noge sukladne izbačajnoj ruci ili stopala noge suprotne izbačajnoj ruci od podloge, a završava odvajanjem stopala noge suprotne izbačajnoj ruci od podloge.

U tablici 5 prezentirani su osnovni deskriptivski i distribucijski parametri kinematičke analize za element skok šut kod vrhunskih rukometaša. Odabrane su varijable koje se mogu komparirati s ekspertnom procjenom te su one i predmet deskriptivske analize.

Tablica 5. Osnovni deskriptivski i distribucijski parametri kinematičke analize skok šuta za vrhunske rukometaše

1. FAZA - ZALET								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
BRKORAK	1,80	1,00	2,00	0,41	-1,67	0,90	0,49	p < ,01
DUŽ1KOR	131,54(cm)	49,86(cm)	176,43(cm)	33,42	-0,83	1,18	0,11	p > ,20
DUŽ2KOR	129,20(cm)	0,00(cm)	180,43(cm)	67,7	-1,57	0,73	0,39	p < ,05
DUŽ3KOR	0,00(cm)	0,00(cm)	0,00(cm)	0		0	1	p < ,01
UKPDUŽZA	260,74(cm)	164,35(cm)	353,14(cm)	56,61	-0,62	-0,38	0,21	p > ,20
PRSDUŽK	146,74(cm)	103,67(cm)	176,57(cm)	19,24	-0,47	0,43	0,13	p > ,20
BRZINAZAL	6,48(m/s)	2,95(m/s)	11,26(m/s)	2,32	0,51	0,08	0,15	p > ,20
KINEENE	2323,05(J)	452,53(J)	6592,95(J)	1669,53	1,35	1,79	0,23	p > ,20
TRAJZAL	0,45(ms)	0,15(ms)	0,90(ms)	0,2	0,59	0,14	0,1	p > ,20
2. FAZA - ODRAZ								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
NAGPOT	75,98(°)	66,53(°)	82,96(°)	4,54	-0,3	-0,19	0,12	p > ,20
NAJNTEZ	5,54(cm)	0,44(cm)	14,46(cm)	4,69	0,88	-0,47	0,15	p > ,20
TRAJODR	0,23(ms)	0,19(ms)	0,26(ms)	0,03	-0,26	-1,68	0,2	p > ,20
3. FAZA - LET								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
VISLET	46,26(cm)	34,05(cm)	56,65(cm)	7,32	-0,233	-1,4	0,17	p > ,20
DULJODLET	77,01(cm)	45,16(cm)	106,15(cm)	17,06	0,461	-0,17	0,29	p < ,15
BRZOSMVL	1,75(m/s)	1,26(m/s)	2,36(m/s)	0,3	0,474	-0,13	0,17	p > ,20

<b>KUTTRUP</b>	68,32 <sup>(0)</sup>	65,42 <sup>(0)</sup>	73,25 <sup>(0)</sup>	2	0,85	1,4	0,15	p > .20
<b>KUTRAM</b>	160,95 <sup>(0)</sup>	125,94 <sup>(0)</sup>	179,37 <sup>(0)</sup>	14,53	-0,994	0,84	0,21	p > .20
<b>TRAJLET</b>	0,27(ms)	0,20(ms)	0,30(ms)	0,03	-0,976	1,51	0,16	p > .20
<b>4.FAZA - IZBAČAJ</b>								
<b>Varijable</b>	<b>AS</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>SD</b>	<b>SKEW</b>	<b>KURT</b>	<b>MAX D</b>	<b>K-S p</b>
<b>VISIZB</b>	354,99(cm)	345,07(cm)	368,44(cm)	7,36	0,44	-0,96	0,16	p > .20
<b>KUTNAD1</b>	13,72 <sup>(0)</sup>	0,63 <sup>(0)</sup>	24,87 <sup>(0)</sup>	7,43	-0,31	-0,94	0,14	p > .20
<b>BRZŠAK</b>	1,87(m/s)	0,70(m/s)	3,09(m/s)	0,74	-0,11	-0,84	0,1	p > .20
<b>KUTNAD2</b>	164,98 <sup>(0)</sup>	154,04 <sup>(0)</sup>	177,13 <sup>(0)</sup>	6,45	0,23	-0,18	0,12	p > .20
<b>TRAJIZB</b>	0,08(ms)	0,02(ms)	0,16(ms)	0,05	0,46	-1,05	0,16	p > .20
<b>5.FAZA - DOSKOK</b>								
<b>Varijable</b>	<b>AS</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>SD</b>	<b>SKEW</b>	<b>KURT</b>	<b>MAX D</b>	<b>K-S p</b>
<b>DUŽDOSK</b>	53,56(cm)	4,93(cm)	96,42(cm)	28,13	-0,05	-0,98	0,09	p > .20
<b>TRAJDOS</b>	0,17(ms)	0,09(ms)	0,27(ms)	0,06	0,32	-1,09	0,17	p > .20

MaxD test = 0,32

**BRKOR** - broj koraka, **DUŽIKOR** - dužina 1. koraka, **DUŽ2KOR** - dužina 2. koraka, **DUŽ3KOR** - dužina 3. koraka, **UKPDUŽZA** - ukupna dužina koraka, **PRSDUŽK** - prosječna dužina koraka, **BRZINAZAL** - brzina zaleta, **KINEENE** - kinetička energija, **TRAJZAL** - trajanje faze zalet, **NAGPOT** - nagib potkoljenice, **NAJNTEZ** - najniže težište, **TRAJODR** - trajanje faze odraz, **VISLET** - visina leta, **DULJODLET** - duljina u ravninu tijela, **BRZPOSMVL** - brzina postizanja maksimalne visine tijela, **KUTTRUP** - kut trupa, **KUTRAM** - kut ramena, **TRAJLET** - trajanje faze leta, **VISIZB** - visina izbačaja, **KUTNAD1** - kut nadlaktice s trupom, **BRZŠAK** - brzina šake, **KUTNAD2** - kut nadlaktice u prostoru, **TRAJIZB** - trajanje faze izbačaj, **DUŽDOSK** - kretanje tijela u daljinu, **TRAJDOS** - trajanje faze doskok, **ATV** - tjelesna visina, **ATT** - tjelesna težina, **AS** - aritmetička sredina, **MIN** - minimalna vrijednost rezultata, **MAX** - maksimalna vrijednost rezultata, **SD** - standardna devijacija, **SKEW** - koeficijent asimetrije, **KURT** - koeficijent zakrivljenosti, **MAX D** - odstupanja između kumulativnih i teorijskih proporcija, **K-S p** - značajnost Kolmogorov-Smirnovljevog testa normaliteta distribucije

Normalitet distribucije izračunat je za sve faze elementa skok šuta preko Kolmogorov-Smirnovljeva testa. Specifičnost uzorka je da se radi o pet ispitanika s po tri čestice. Izračun u tablici pokazuje da u prvoj fazi zaleta prevladava blaga negativna asimetričnost varijabli, odnosno tendiranje višim vrijednostima rezultata. Dobivene distribucijske značajke posljedica su nedostatne frekventnosti pojedinih varijabli, kao npr. **DUŽ3KOR**. Rezultati ukazuju da je distribucija rezultata kod većine varijabli pravilna osim kod varijabli **BRKORAK** (broj koraka prilikom zaleta), **DUŽ2KOR** (dužina 2. koraka) i **DUŽ3KOR** (dužina 3. koraka) gdje je nepravilna distribucija. Ovako dobiveni rezultati očekivani su za varijable **BRKORAK** i **DUŽ2KOR** s obzirom da su ispitanici izvodili kretanje na način kako zalet izvode u stvarnim (natjecateljskim) uvjetima gdje dolazi do individualne procjene u dužini zaleta i broju koraka koje treba napraviti za kvalitetnu pripremu odraza. Distribucija rezultata kod varijable **DUŽ3KOR** u korelaciji je s načinom izvedbe zaleta kod vrhunskih rukometaša jer niti jedan od ispitanika nije izveo zalet iz tri koraka.

Zalet kao prva i najduža faza skok šuta definirana je s devet varijabli. Iz dobivenih je rezultata vidljivo da prosječna dužina koraka u zaletu (**PRSDUŽK**) iznosi 146,74 cm, dok je ukupna

dužina zaleta (**UKPDUŽZA**) 260,74 cm. Evidentno je da su igrači primjenjivali zalet s jednim i dva koraka, dok trokoračni zalet nije zabilježen. Prvi je korak neznatno duži od drugog što je u korelaciji s parametrima koje su postavili Šibila i sur. (2005) po čijoj ekspertnoj procjeni skok šuta zadnji odrazni korak mora biti optimalan, ritmičan i sinkroniziran sa spuštanjem centra težišta tijela. Faza odraza je promatrana putem tri varijable: nagib potkoljenice s tlom, trajanje faze te razlika visine težišta tijela. Prosječan kut potkoljenice u odnosu na podlogu (**NAGPOT**) kod vrhunskih rukometaša iznosi  $75,98^{\circ}$ , dok se težište spustilo prema podlozi u odnosu na stvarno težište (**NAJNTEZ**) za 5,54 cm. U okviru treće faze, koja je opisana sa šest varijabli, zabilježena je prosječna visina leta (**VISLET**) u rasponu od 34,1 cm do najviših 56,65 cm. Relevantne studije na uzorcima vrhunskih rukometaša provedene krajem 20. stoljeća (Hermansen i sur., 1973; Mikkelsen, 1976; Bartosiewicz, 1986; Fleck i sur., 1992) pokazale su gotovo identične rezultate za visinu leta na različitim kvalitativnim skupinama ispitanika. Također je zabilježen prosječni pomak težišta tijela prema naprijed (**DULJODLET**) od 77,01 cm što je očekivano s obzirom na stručnu literaturu. Četvrta faza - izbačaj po trajanju je najkraća faza. Promatrano je pet kinematičkih parametara, odnosno visina izbačaja, kut nadlaktice u odnosu na horizontalnu ravninu, kut nadlaktice u odnosu na sagitalnu ravan, brzina šake i trajanje faze. Zabilježeno je da prosječna brzina šake (**BRŽŠAK**) za vrhunske rukometaše iznosi 1,87 m/s. Kut nadlaktice s horizontalnom ravninom (**KUTNAD1**) u prosjeku iznosi  $13,72^{\circ}$  što znači da je u trenutku izbačaja lakat bio pozicioniran nešto iznad ramena. Dobiveni rezultati su u korelaciji s provedenim istraživanjima (Zvonarek i sur., 1996, Šibila i sur., 1999). Kako bi se mogla napraviti usporedba s ekspertnom procjenom, izračunat je i drugi kut nadlaktice u odnosu na sagitalnu ravan (**KUTNAD2**) gdje se htjelo vidjeti dolazi li do pretjecanja ramena u fazi izbačaja te je dobiven prosječni rezultat od  $164,98^{\circ}$  za promatranu varijablu. Doskok kao vjerojatno najmanje važna faza, opisan je s dva parametra: dužina od trenutka izbačaja do trenutka doskoka i trajanje faze. Zabilježeno je prosječno vrijeme provedbe za varijablu trajanje faze doskoka (**TRAJDOSK**) od 0,17 ms, dok je longitudinalni pomak tijela od trenutka izbačaja do trenutka dodira jednog od ekstremiteta s podlogom (**DUŽDOSK**) prosječno iznosio 53,56 cm, što se može usporediti s već poznatim rezultatom (Pori i sur., 2005).

U tablici 6 izračunati su osnovni deskriptivski i distribucijski parametri kinematičke analize skok šuta na uzorku prvoligaških rukometaša.

Tablica 6. Osnovni deskriptivski i distribucijski parametri kinematičke analize skok šuta za prvoligaške rukometaše

1. FAZA - ZALET								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
BRKORAK	2,60	1	3	0,63	-1,41	1,26	0,4	p < .05
DUŽIKOR	124,08(cm)	38,57(cm)	234,34(cm)	54,75	-0,08	0,06	0,14	p > .20
DUŽ2KOR	143,09(cm)	0,00(cm)	228,25(cm)	60,94	-0,96	0,74	0,16	p > .20
DUŽ3KOR	96,46(cm)	0,00(cm)	181,88(cm)	79,83	-0,24	-1,94	0,22	p > .20
UKPDUŽZA	364,79(cm)	164,60(cm)	518,73(cm)	110,37	-0,45	-0,77	0,18	p > .20
PRSDUŽK	141,98(cm)	82,30(cm)	181,16(cm)	32,38	-0,82	-0,55	0,24	p > .20
BRZINAZAL	5,44(m/s)	2,65(m/s)	8,94(m/s)	1,83	-0,05	-0,61	0,17	p > .20
KINEENE	1582,33(J)	326,54(J)	3836,33(J)	1023,05	0,67	0,13	0,17	p > .20
TRAJZAL	0,72(ms)	0,14(ms)	1,10(ms)	0,25	-0,52	0,64	0,11	p > .20
2. FAZA - ODRAZ								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
NAGPOT	71,68(°)	63,56(°)	86,86(°)	7,52	1,12	0,25	0,25	p > .20
NAJNTEZ	3,72(cm)	0,83(cm)	8,37(cm)	2,19	0,47	-0,32	0,15	p > .20
TRAJODR	0,21(ms)	0,18(ms)	0,28(ms)	0,03	1,26	2,16	0,21	p > .20
3. FAZA - LET								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
VISLET	55,12(cm)	37,93(cm)	75,61(cm)	10,08	0,32	0,46	0,15	p > .20
DULJODLET	111,55(cm)	85,10(cm)	199,29(cm)	25,91	3,08	10,84	0,33	p < .10
BRZPOSMVL	1,81(m/s)	1,02(m/s)	2,75(m/s)	0,49	0,47	-0,25	0,16	p > .20
KUTTRUPA	64,35(°)	55,21(°)	70,25(°)	4,36	-0,53	-0,02	0,12	p > .20
KUTRAM	153,20(°)	100,11(°)	179,12(°)	22,71	-1,07	0,6	0,18	p > .20
TRAJLET	0,32(ms)	0,24(ms)	0,58(ms)	0,08	2,74	9,18	0,28	p < .20
4. FAZA - IZBAČAJ								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
VISIZB	349,44(cm)	302,85(cm)	375,33(cm)	22,49	-1,14	0,6	0,24	p > .20
KUTNAD1	21,08(°)	0,77(°)	42,14(°)	10,82	0,26	0,14	0,15	p > .20
BRZŠAK	2,13(m/s)	0,19(m/s)	5,98(m/s)	1,79	1,17	0,51	0,22	p > .20
KUTNAD2	163,53(°)	140,47(°)	175,08(°)	9,92	-1,03	0,44	0,21	p > .20
TRAJIZB	0,09(ms)	0,02(ms)	0,20(ms)	0,06	0,45	-0,59	0,12	p > .20
5. FAZA - DOSKOK								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
DUŽDOSK	52,5(cm)	14,2(cm)	123(cm)	39,6	0,57	-1,57	0,31	p < .10
TRAJDOS	0,14(ms)	0,04(ms)	0,31(ms)	0,1	0,59	-1,19	0,2	p > .20

MaxD test = 0,32, BRKOR - broj koraka, DUŽIKOR - dužina 1. koraka, DUŽ2KOR - dužina 2. koraka, DUŽ3KOR - dužina 3. koraka, UKPDUŽZA - ukupna dužina koraka, PRSDUŽK - prosječna dužina koraka, BRZINAZAL - brzina zaleta, KINEENE - kinetička energija, TRAJZAL - trajanje faze zalet, NAGPOT - nagib potkoljenice, NAJNTEZ - najniže težište, TRAJODR - trajanje faze odraz, VISLET - visina leta, DULJODLET - duljina u ravni tijela, BRZPOSMVL - brzina postizanja maksimalne visine tijela, KUTTRUPA - kut trupa, KUTRAM - kut ramena, TRAJLET - trajanje faze leta, VISIZB - visina izbačaja, KUTNAD1 - kut nadlaktice s trupom, BRZŠAK - brzina šake, KUTNAD2 - kut nadlaktice u prostoru, TRAJIZB - trajanje faze izbačaj, DUŽDOSK - kretanje tijela u daljinu, TRAJDOS - trajanje faze doskok, ATV - tjelesna visina, ATT - tjelesna težina, AS - aritmetička sredina, MIN - minimalna vrijednost



rezultata, **MAX** - maksimalna vrijednost rezultata, **SD** - standardna devijacija, **SKEW** - koeficijent asimetrije, **KURT** - koeficijent zakrivljenosti, **MAX D** - odstupanja između kumulativnih i teorijskih proporcija, **K-S p** - značajnost Kolmogorov-Smirnovljevog testa normaliteta distribucije

Kao i na subuzorku vrhunskih igrača, nisu prisutna statistički značajna odstupanja varijabli od uobičajene raspodjele te su varijable stoga pogodne za predstojeću multivarijatnu obradu. Specifičnost uzorka varijabli je kao i kod elementa skok šuta jer su rađene na 15 entiteta odnosno pet igrača s po tri čestice mjerenja. Uočene su određene razlike u matematičkim parametrima u odnosu na vrhunske igrače te će iste biti interpretirane u predstojećem poglavlju. U tablici 6 prezentirani rezultati ukazuju da ukupna dužina svih koraka (**UKPDUŽZA**) kod prvoligaških igrača iznosi 364,79 cm, dok je prosječna dužina koraka (**PRSDUZK**) 124,08 cm. Prosječna brzina zaleta (**BRZINAZAL**) iznosi 5,44 m/s, dok je kinematička energija (**KINEENE**) 1582,33 J u prvoj fazi zaleta. Prosječna vrijednost nagiba potkoljenice (**NAGPOT**) u odnosu na podlogu iznosi  $71,68^{\circ}$  u fazi odraza, dok je najniže težište (**NAJNTEZ**) kod jednog od prvoligaških igrača iznosilo 8,4 cm u odnosu na stvarno težište. Treća faza elementa skok šuta obuhvaćala je šest kinematičkih parametara, a iz rezultata je razvidna prosječna visina leta (**VISLET**) za prvoligaške igrače od 55,12 cm, dok je prosječna brzina postizanja maksimalne visine odraza (**BRZPOSMVL**) kod prvoligaških igrača 1,81 m/s. Faza izbačaja iznimno je važna, posebice zbog dostizanja najviše točke izbačaja (**VISIZB**) koja za prvoligaške igrače iznosi prosječno 349,44 cm. Kut nadlaktice s horizontalnom ravninom (**KUTNAD1**) za prvoligaške rukometaše u prosjeku iznosi  $21,08^{\circ}$ . Zabilježena brzina šake (**BRZSAK**) prosječno iznosi 2,13 m/s, dok kut nadlaktice kojim se opisuje pretjecanje ramena u fazi izbačaja (**KUTNAD2**) u odnosu na sagitalnu ravan iznosi  $163,53^{\circ}$ . Prvoligaški igrači u fazi doskoka prosječno se kreću u daljinu (**DUZDOSK**) 52,5 cm, a trajanje ove faze (**TRAJDOSK**) u prosjeku iznosi 10 ms. Rezultati deskriptivne statistike za prvoligaške igrače mogu se komparirati s istraživanjima (Kuster, 1973; Kastner i sur., 1978; Zvonarak i sur., 1996; Zahalka i sur., 1997; Šibila i sur., 1999a; Šibila i sur., 1999b; Taborsky i sur., 1999). U svim ovim istraživanjima utvrđena je struktura kinematičkog lanca koja ide od proksimalnih dijelova gdje započinje izbačajna kretanja pa sve do distalnih dijelova tijela gdje završava pokret. Isto tako, brzina pokreta manjih i lakših dijelova tijela s manjom inercijom dodaje se brzini većih dijelova tijela, postižući tako najveću moguću brzinu na kraju kinetičkog lanca.

Kinematička analiza za varku jednostruke promjene smjera kretanja provedena je po fazama, za lažnu i izvršnu. U tablici 7 prezentirani su osnovni deskriptivni i distribucijski parametri za element varku jednostruke promjene smjera kretanja kod vrhunskih rukometaša.

Tablica 7. Osnovni deskriptivski i distribucijski parametri kinematičke analize varke jednostruke promjene smjera kretanja za vrhunške rukometaše

1. FAZA - LAŽNA FAZA								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
<b>VDUŽKOR</b>	106,44(cm)	62,79(cm)	137,14(cm)	20,2	-0,525	0,07	0,1	p > .20
<b>VBRZLAŽ</b>	5,16(m/s)	2,90(m/s)	8,51(m/s)	1,63	0,414	-0,22	0,14	p > .20
<b>VKUTTRUP</b>	74,35( <sup>0</sup> )	62,81( <sup>0</sup> )	85,70( <sup>0</sup> )	7,48	-0,101	-1,43	0,18	p > .20
<b>VCENTARTŽ</b>	78,12(cm)	40,35(cm)	110,35(cm)	20,36	-0,147	-0,39	0,08	p > .20
<b>VTRAJLAZ</b>	0,21(ms)	0,06(ms)	0,37(ms)	0,09	0,526	-0,58	0,22	p > .20
<b>VKUTISKN</b>	17,70( <sup>0</sup> )	7,45( <sup>0</sup> )	32,21( <sup>0</sup> )	7,19	0,307	-0,33	0,13	p > .20
<b>VPOLSTOP</b>	95,00( <sup>0</sup> )	80,00( <sup>0</sup> )	110,00( <sup>0</sup> )	8,24	0,44	0,02	0,26	p > .20
2. FAZA - IZVRŠNA FAZA								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX d	K-S p
<b>VUKPDUŽ</b>	328,44(cm)	284,93(cm)	371,24(cm)	27,49	-0,17	-1,2	0,18	p > .20
<b>VDUŽIKOR</b>	150,95(cm)	109,39(cm)	194,48(cm)	28,42	0,11	-1,28	0,14	p > .20
<b>VDUŽ2KOR</b>	177,56(cm)	156,94(cm)	200,60(cm)	12,71	0,06	-0,49	0,11	p > .20
<b>VBRZIKOR</b>	5,41(m/s)	3,74(m/s)	7,40(m/s)	1,09	0,08	-0,25	0,15	p > .20
<b>VBRZ2KOR</b>	4,44(m/s)	3,46(m/s)	7,13(m/s)	0,97	1,48	3,21	0,19	p > .20
<b>VSMJER2KOR</b>	13,43( <sup>0</sup> )	2,85( <sup>0</sup> )	30,25( <sup>0</sup> )	8,2	0,83	-0,31	0,23	p > .20
<b>VTRAJIZV</b>	0,77(ms)	0,57(ms)	0,97(ms)	0,1	0,25	0,29	0,12	p > .20

MaxD test= 0,61

**VDUŽKOR** - duljina koraka, **VBRZLAZ** - brzina lažnog dijela varke, **VKUTTRUP** - kut trupa s podlogom, **VCENTARTZ** - pomicanje centra težišta, **VKUTISKN** - pomicanje noge suprotne izbačajnoj ruci u prostoru, **VPOLSTOP** - položaj stopala noge suprotne izbačajnoj ruci na završetku stvarne faze, **VTRAJLAZ** - trajanje lažne faze, **VUKPDUŽ** - ukupna dužina svih koraka, **VDUŽIKOR** - dužina 1. koraka, **VDUŽ2KOR** - dužina 2. koraka, **VBRZIKOR** - brzina 1. koraka, **VBRZ2KOR** - brzina 2. koraka, **VSMJER2KOR** - smjer 2. koraka u prostoru, **VTRAJIZV** - trajanje izvršne faze, **ATT** - tjelesna visina, **ATT** - tjelesna težina, **AS** - aritmetička sredina, **MIN** - minimalna vrijednost rezultata, **MAX** - maksimalna vrijednost rezultata, **SD** - standardna devijacija, **SKEW** - koeficijent asimetrije, **KURT** - koeficijent zakrivljenosti, **MAX d** - odstupanja između kumulativnih i teorijskih proporcija, **K-S p** - značajnost Kolmogorov-Smirnovljevog testa normaliteta distribucije

Pravilna distribucija podataka prisutna je kod svih četrnaest varijabli. Dobivene rezultate nemoguće je usporediti jer istraživanja ovakvog tipa za varku jednostruke promjene smjera kretanja do sada nisu rađena. Stoga se dobiveni rezultati mogu usporediti samo sa stručnom procjenom eksperata iz rukometne igre. Kod vrhunskih rukometaša evidentirana je prosječna dužina koraka (**VDUŽKOR**) od 106,44 cm te prosječna brzina lažnog dijela faze (**VBRZLAZ**) od 5,16 m/s. U prostoru se, u odnosu na početni položaj, centar težišta tijela (**VCENTARTZ**) pomiče u stranu za 78,12 cm. Izvršna faza prosječno traje duže od lažne (**VTRAJLAZ**) za 0,56 ms. Kut iskoraka noge suprotne izbačajnoj ruci (**VKUTISKN**) kod vrhunskih rukometaša prosječno iznosi 17,70<sup>0</sup>, dok kut trupa s podlogom (**VKUTTRUP**) u prosjeku iznosi 74,35<sup>0</sup>. Položaj stopala stajne noge (**VPOLSTOP**) na završetku lažne faze nalazi se prosječno pod kutom od 95<sup>0</sup>.

Kinematičkom analizom izvršne faze obuhvaćeno je sedam kinematičkih parametara. Analizom je utvrđeno da svi vrhunski igrači izvode ovaj dio faze varke jednostruke promjene smjera kretanja u dva koraka. Ovakav je rezultat očekivan jer se u praksi pokazalo da igrači koriste drugi korak kako bi se odmakli u stranu od obrambenog igrača. Korištenjem jednog koraka dobila bi se mogućnost nadogradnje varke koja bi bila od velike koristi napadačima. Prosječna brzina prvog koraka (**VBRZ1KOR**) u izvršnoj fazi veća je u odnosu na prosječnu brzinu drugog koraka (**VBRZ2KOR**) i iznosi 5,41 ms naprema 4,44 ms koliko iznosi brzina drugog koraka. Prosječni je smjer drugog koraka (**VSMJER2KOR**) pod kutom od  $13,43^{\circ}$ . Samo trajanje izvršne faze duže je u odnosu na lažnu fazu što je i logično zbog većeg puta koji igrač mora proći. Nakon izračuna osnovnih deskriptivskih i distribucijskih parametara kinematičke analize za varku jednostruke promjene smjera kretanja kod vrhunskih rukometaša, napravljena je ista analiza na prvoligaškom uzorku u tablici 8.

Tablica 8. Osnovni deskriptivski i distribucijski parametri kinematičke analize varke jednostruke promjene smjera kretanja za prvoligaške rukometaše

1. LAŽNA FAZA								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX D	K-S p
<b>VDUŽKOR</b>	133,55(cm)	78,93(cm)	186,12(cm)	38,59	-0,06	-1,69	0,17	p > .20
<b>VBRZLAŽ</b>	5,76(m/s)	3,77(m/s)	7,99(m/s)	1,47	-0,06	-1,58	0,17	p > .20
<b>VKUTTRUP</b>	75,41( $^{\circ}$ )	65,01( $^{\circ}$ )	87,51( $^{\circ}$ )	5,95	0,08	0,24	0,16	p > .20
<b>VCENTARTŽ</b>	93,17(cm)	50,71(cm)	123,81(cm)	23,01	-0,88	-0,33	0,21	p > .20
<b>VTRAJLAŽ</b>	0,25(ms)	0,12(ms)	0,39(ms)	0,08	0,14	-0,68	0,13	p > .20
<b>VKUTISKN</b>	31,42( $^{\circ}$ )	8,31( $^{\circ}$ )	47,18( $^{\circ}$ )	13,64	-0,6	-1,12	0,2	p > .20
<b>VPOLSTOP</b>	89,00( $^{\circ}$ )	70,00( $^{\circ}$ )	110,00( $^{\circ}$ )	10,56	-0,07	0,91	0,27	p < .20
2. IZVRŠNA FAZA								
Varijable	AS	MIN	MAX	SD	SKEW	KURT	MAX d	K-S p
<b>VUKPDUŽ</b>	342,78(cm)	304,19(cm)	392,07(cm)	27,85	0,29	-1,32	0,18	p > .20
<b>VDUŽ1KOR</b>	162,08(cm)	147,25(cm)	177,68(cm)	8,89	0,06	-0,69	0,13	p > .20
<b>VDUŽ2KOR</b>	180,51(cm)	142,37(cm)	219,06(cm)	27,16	0,15	-1,55	0,17	p > .20
<b>VBRZ1KOR</b>	5,41(m/s)	3,86(m/s)	7,08(m/s)	0,82	0,12	0,31	0,1	p > .20
<b>VBRZ2KOR</b>	4,11(m/s)	3,31(m/s)	5,04(m/s)	0,53	-0,06	-1,16	0,16	p > .20
<b>VSMJER2KOR</b>	17,64( $^{\circ}$ )	7,81( $^{\circ}$ )	27,14( $^{\circ}$ )	6,34	-0,08	-1,26	0,14	p > .20
<b>VTRAJIZV</b>	0,80(ms)	0,70(ms)	0,93(ms)	0,06	0,51	0,25	0,22	p > .20

MaxD test = 0,61

**VDUŽKOR** - duljina koraka, **VBRZLAŽ** - brzina lažnog dijela varke, **VKUTTRUP** - kut trupa s podlogom, **VCENTARTŽ** - pomicanje centra težišta, **VKUTISKN** - pomicanje noge suprotne izbačajnoj ruci u prostoru, **VPOLSTOP** - položaj stopala noge suprotne izbačajnoj ruci na završetku stvarne faze, **VTRAJLAŽ** - trajanje lažne faze, **VUKPDUŽ** - ukupna dužina svih koraka, **VDUŽ1KOR** - dužina 1. koraka, **VDUŽ2KOR** - dužina 2. koraka, **VBRZ1KOR** - brzina 1. koraka, **VBRZ2KOR** - brzina 2. koraka, **VSMJER2KOR** - smjer 2. koraka u prostoru, **VTRAJIZV** - trajanje izvršne faze, **ATV** - tjelesna visina, **ATT**

- tjelesna težina, **AS** - aritmetička sredina, **MIN** - minimalna vrijednost rezultata, **MAX** - maksimalna vrijednost rezultata, **SD** - standardna devijacija, **SKEW** - koeficijent asimetrije, **KURT** - koeficijent zakrivljenosti, **MAX d** - odstupanja između kumulativnih i teorijskih proporcija, **K-S p** - značajnost Kolmogorov-Smirnovljevog testa normaliteta distribucije

Deskriptivna statistika za prvoligaške igrače ukazuje da u prvoj, lažnoj fazi za element varku jednostruke promjene smjera kretanja prosječna duljina koraka (**VDUŽKOR**) iznosi 133,55 cm, dok se položaj centra težišta tijela (**VCENTARTŽ**) pomakne za 93,17 cm u stranu prilikom izvedbe ovog tehničkog elementa. Kut iskoraka noge suprotne izbačajnoj ruci (**VKUTISKN**) kod prvoligaških igrača prosječno iznosi  $31,42^{\circ}$ , dok je trajanje lažne faze (**VTRAJLAŽ**) za prvoligaške igrače 0,25 ms. Stopalo noge suprotne izbačajnoj ruci na završetku lažne faze u prosjeku je pod kutom od  $89,00^{\circ}$  kod prvoligaških rukometaša.

Rezultati u tablici pokazuju da ukupna dužina obaju koraka (**VUKPDUŽ**) u izvršnoj fazi prosječno iznosi 342,78 cm. Dužina prvog koraka (**VDUŽ1KOR**) nešto je kraća te iznosi 162,08 cm, dok je dužina drugog koraka (**VDUŽ2KOR**) prosječno 180,51 cm. Brzina prvog koraka (**VBRZ1KOR**) iznosi 5,41 m/s, dok je brzina drugog koraka (**VBRZ2KOR**) manja te iznosi 4,11 m/s. Trajanje ove faze (**VTRAJIZV**) kreće se u parametrima od 0,70 ms do 0,90 ms. Smjer drugog koraka (**VSMJER2KOR**) nalazi se prosječno pod kutom od  $17,64^{\circ}$ .

Kako bi se utvrdilo postojanje statistički značajnih razlika između vrhunskih i prvoligaških rukometaša u kinematičkim parametrima za element skok šut, potrebno je napraviti izračun multivarijatne analize varijance (MANOVA) između dviju različitih kvalitativnih skupina ispitanika (tablica 9).

Tablica 9. Multivarijatna analiza varijance (MANOVA) između vrhunskih i prvoligaških igrača u kinematičkim parametrima skok šuta

Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,01	10,92	0,02

$\lambda$  - Wilksova lambda, F - F test, p - Koeficijent razine značajnosti

Rezultati u tablici 9 pokazuju da postoji statistički značajna razlika ( $p = 0,02$ ) u kinematičkim parametrima između vrhunskih i prvoligaških rukometaša promatrano za sve faze zajedno. Ovako dobiveni rezultati očekivani su te su u visokom suglasju s već provedenim istraživanjima na sličnom uzorku ispitanika (Wagner i sur., 2006; Wagner i sur., 2010b; Van den Tillar i sur., 2011b; Wagner i sur., 2012a; Wagner i sur., 2012b). U promatranim istraživanjima uočene su razlike u kinematičkom lancu između različitih kvalitativnih skupina. S obzirom da dobiveni rezultati nedvojbeno upućuju na postojanje razlika između

dviju različitih kvalitativnih skupina ispitanika, pristupilo se izračunu multivarijantne analize varijance za pojedine faze (tablica 10).

Tablica 10. Multivarijantna analiza varijance (MANOVA) između vrhunskih i prvoligaških igrača u kinematičkim parametrima za element skok šut po fazama

1. FAZA SKOK ŠUTA - ZALET			
Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,43	2,83	0,03
2. FAZA SKOK ŠUTA - ODRAZ			
Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,83	1,8	0,17
3. FAZA SKOK ŠUTA - LET			
Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,34	8,1	0,00
4. FAZA SKOK ŠUTA - IZBAČAJ			
Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,76	1,6	0,21
5. FAZA SKOK ŠUTA - DOSKOK			
Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,95	0,71	0,50

$\lambda$  - Wilksova lambda, F - F test, p - Koeficijent razine značajnosti

U tablici 10 pronađene su statistički značajne razlike u fazi zaleta ( $p = 0,03$ ) i u fazi leta ( $p = 0,00$ ) između vrhunskih i prvoligaških rukometaša. Kod ostalih triju faza nisu pronađene statističke značajne razlike između ovih dviju grupa ispitanika. Detaljni uvid u prirodu ovih razlika utvrdit će se univarijantnom analizom varijance za svaku pojedinu varijablu što je prezentirano u tablici 11.

Tablica 11. Analiza varijance (ANOVA) između vrhunskih i prvoligaških igrača u kinematičkim parametrima za element skok šut

1. FAZA - ZALET				
Varijable	AS VRHUNSKI	AS PRVOLIG	F	p
<b>BRKORAK</b>	1,80	2,60	16,8	0,00
<b>DUŽ1KOR</b>	131,54(cm)	124,08(cm)	0,2	0,66
<b>DUŽ2KOR</b>	129,20(cm)	143,09(cm)	0,3	0,56
<b>DUŽ3KOR</b>	0,00(cm)	96,46(cm)	21,9	0,00
<b>UKPDUŽZA</b>	260,74(cm)	364,79(cm)	10,6	0,00
<b>PRSDUŽK</b>	146,74(cm)	141,98(cm)	0,2	0,63

<b>BRZINAZAL</b>	6,44(m/s)	5,44(m/s)	1,7	0,20
<b>KINEENE</b>	2323,05	1582,33	2,1	0,15
<b>TRAJZAL</b>	0,45(ms)	0,72(ms)	10,6	0,00
<b>2. FAZA - ODRAZ</b>				
<b>Varijable</b>	<b>AS VRHUNSKI</b>	<b>AS PRVOLIG</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>NAGPOT</b>	75,98( <sup>0</sup> )	71,68( <sup>0</sup> )	3,58	0,07
<b>NAJNTEZ</b>	5,54(cm)	3,72(cm)	1,85	0,18
<b>TRAJODR</b>	0,23(ms)	0,21(ms)	2,08	0,16
<b>3. FAZA - LET</b>				
<b>Varijable</b>	<b>AS VRHUNSKI</b>	<b>AS PRVOLIG</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>VISLET</b>	46,26(cm)	55,12(cm)	7,59	0,01
<b>DULJODLET</b>	77,01(cm)	111,55(cm)	18,6	0,00
<b>BRZPOSMVL</b>	1,75(m/s)	1,81(m/s)	0,16	0,69
<b>KUTTRUP</b>	68,32( <sup>0</sup> )	64,35( <sup>0</sup> )	10,24	0,00
<b>KUTRAM</b>	160,95( <sup>0</sup> )	153,20( <sup>0</sup> )	1,24	0,27
<b>TRAJLET</b>	0,27(ms)	0,32(ms)	5,74	0,02
<b>4. FAZA - IZBAČAJ</b>				
<b>Varijable</b>	<b>AS VRHUNSKI</b>	<b>AS PRVOLIG</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>VISIZB</b>	354,99(cm)	349,44(cm)	0,82	0,37
<b>KUTNAD1</b>	13,72( <sup>0</sup> )	21,08( <sup>0</sup> )	4,72	0,04
<b>BRZŠAK</b>	1,87(m/s)	2,13(m/s)	0,28	0,60
<b>KUTNAD2</b>	164,98( <sup>0</sup> )	163,53( <sup>0</sup> )	0,22	0,64
<b>TRAJIZB</b>	0,08(ms)	0,09(ms)	0,8	0,38
<b>5. FAZA - DOSKOK</b>				
<b>Varijable</b>	<b>AS VRHUNSKI</b>	<b>AS PRVOLIG</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>DUŽDOSK</b>	53,56(cm)	52,5(cm)	0,01	0,93
<b>TRAJDOS</b>	0,17(ms)	0,14(ms)	0,79	0,38

**BRKORAK** - broj koraka, **DUZIKOR** - dužina 1. koraka, **DUZ2KOR** - dužina 2. koraka, **DUZ3KOR** - dužina 3. koraka, **UKPDUŽZA** - ukupna dužina koraka, **PRSDUZK** - prosječna dužina koraka, **BRZINAZAL** - brzina zaleta, **KINEENE** - kinetička energija, **TRAJZAL** - trajanje faze zalet, **NAGPOT** - nagib potkoljenice, **NAJNTEZ** - najniže težište, **TRAJODR** – trajanje faze odraz, **VISLET** - visina leta, **DULJODLET** - duljina u ravniu tijela, **BRZPOSMVL** - brzina postizanja maksimalne visine tijela, **KUTTRUP**- kut trupa, **KUTRAM** - kut ramena, **TRAJLET** - trajanje faze leta, **VISIZB** - visina izbačaja, **KUTNAD1** - kut nadlaktice s trupom, **BRZŠAK** - brzina šake, **KUTNAD2** - kut nadlaktice u prostoru, **TRAJIZB** - trajanje faze izbačaj, **DUŽDOSK** - kretanje tijela u daljinu, **TRAJDOS** - trajanje faze doskok, **AS VRHUNSKI** - aritmetička sredina vrhunski rukometaši, **AS PRVOLIG** - aritmetička sredina prvoliški rukometaši, **F**- F test, **p** – Koeficijent razine značajnosti

Rezultati za prvu fazu elementa skok šuta (faza zaleta) pokazali su da postoji statistički značajna razlika u broju koraka (**BRKORAK**) koje koriste igrači pri izvođenju ovog elementa, ukupnoj dužini svih koraka (**UKPDUŽZA**) koje koriste igrači prilikom zaleta te u samom trajanju zaleta (**TRAJZAL**) za ovu fazu kinematičke analize. Varijabla broj koraka u fazi zaleta (**BRKORAK**) posebice je zanimljiva jer se pokazalo da vrhunski rukometaši izvode prosječno samo dva koraka, u odnosu na prvoliškaške rukometaše koji zalet izvode iz tri koraka. Ovako dobiveni rezultat za fazu zaleta posljedica je tendencije igre na vrhunskoj

razini gdje igrači moraju reagirati i pripremiti se na zalet s manjim brojem koraka. Isto tako, obrana je u vrhunskom rukometu agresivnija te su dubinska kretanja obrambenih igrača učestalija što otvara mali prostor za pripremu šuta na gol. Moderni rukomet ponukao je vrhunske rukometaše da sve kretnje izvode brzo, energično i pravovremeno što je ova analiza i pokazala. Dokazano je da igrači u rukometnoj utakmici prosječno provedu 7 % kretanja u sprintu, te 25 % u brzom trčanju (Bon, 2001). Isto tako, provedeno je istraživanje o kretnjama igrača za vrijeme rukometne utakmice koja su usko povezana sa sve bržim i dinamičnijim pokretima koje igrači provode na terenu (Cardinale, 2000). Proučavaju se i relacije varijabli bazične motorike s uspješnošću u rukometnoj igri (Politeo, 2003) pri čemu je ustanovljeno da najveći pojedinačni utjecaj imaju testovi eksplozivne snage koja se manifestira u startnoj brzini i odrazu, te brzini uspostavljanja, provedbe i promjene osnovnog kretanja. Prvoligaški rukometaši u velikoj mjeri zaostaju za modernim parametrima rukometne igre te su na nižem stupnju brzinsko-eksplozivnih reakcija koje vladaju u današnjem rukometu. Varijabla broj koraka (**BRKORAK**) u visokoj je povezanosti s varijablom ukupnom dužinom zaleta (**UKPDUŽZA**) što je i logično jer su vrhunski igrači koristili manji broj koraka prilikom zaletne faze. Stoga, prvoligaškim igračima prosječno treba 364,79 cm za izvođenje zaleta, dok vrhunski rukometaši treba 260,74 cm.

Kod faze odraza nije pronađena nikakva statistički značajna razlika u rezultatima između promatranih kvalitativnim skupinama rukometaša za sva tri promatrana kinematička parametra. To su nagib potkoljenice (**NAGPOT**), najniže težište u odnosu na stvarno težište (**NAJNTEŽ**) i trajanje same faze odraza (**TRAJODR**). Ovako dobiveni rezultati za promatrane kinematičke parametre očekivani su s obzirom da su igrači iz obaju subuzoraka prošli osnovnu atletsku tehniku trčanja i skakanja. Nagib potkoljenice izračunat je preko dviju referentnih točaka, a to su marker koljena odrazne noge i marker skočni zglob odrazne noge koji su uspoređivani u odnosu na podlogu (slika 7).



*Slika 7. Nagib potkoljenice s podlogom izračunat preko dviju referentnih točaka  
(Ispitanik P. M.)*

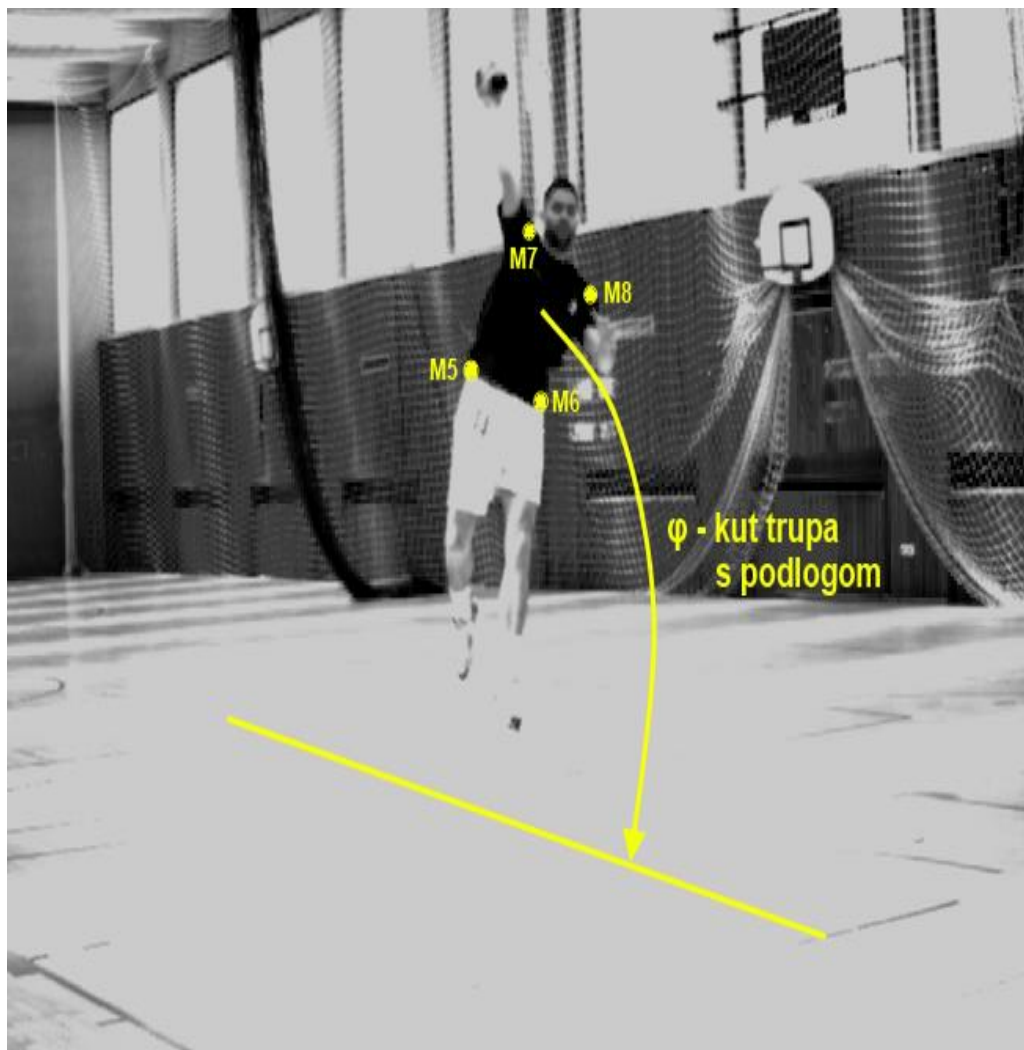
Univarijatna analiza (ANOVA) za varijablu nagib potkoljenice s podlogom (**NAGPOT**) pokazala je da ne postoji statistički značajna razlika između vrhunskih i prvoligaških rukometaša ( $p = 0,07$ ). U fazi odraza promatran je još jedan kinematički parametar, a to je najniži položaj težišta tijela koji je izračunat na način da je izračunato najniže težište (**NAJNTEŽ**) u odnosu na polazno težište. Rezultati za varijablu najniže težište tijela pokazali su da ne postoji statistički značajna razlika ( $p = 0,18$ ) između dviju kvalitativnih skupina ispitanika. Dobiveni su rezultati očekivani jer su prethodna istraživanja (Zahalka i sur., 1997; Taborsky i sur., 1999., Pori i sur., 2005) također dokazala da nema značajnijih razlika u razini spuštanja težišta tijela u fazi odraza između različitih kvalitativnih skupina ispitanika.

Parametri koji su promatrani u fazi leta bili su: visina leta, kretanje tijela u ravnini, brzina postizanja maksimalne visine tijela, kut trupa, kut ramena kao i samo trajanje ove promatrane faze. Visina leta (**VISLET**) dobivena je preko kinematičkog parametra centra težišta tijela koji je za ovu potrebu dobiven preko referentnih točaka lijevog kuka (ZGKUKLIJ) i desnog kuka (ZGKUKDES) gdje je izračunata sredina udaljenosti između ovih dviju točaka. Rukometaši koji nastupaju u prvoj ligi prema dobivenim podacima prosječno su imali odraz



za 8,86 cm viši u odnosu na vrhunske rukometaše. Ovako dobiveni rezultati nisu bili očekivani s obzirom da se pretpostavljala veća eksplozivna snaga nogu kod vrhunskih rukometaša (Vujić i sur., 1982; Delija i sur., 1994; Karišik i sur. 2009). Pretpostavlja se da je ovako dobiveni rezultat posljedica slabije situacijske motiviranosti vrhunskih rukometaša na izvedbu prilikom testiranja. Testiranje je obavljeno zajedno za dvije skupine ispitanika te su prvoligaški rukometaši dali svoj maksimum u izvedbi kako bi svoje mogućnosti komparirali s vrhunskim rukometašima. Kretanje prema naprijed u daljinu izračunato je preko centra težišta tijela. Zabilježeno je težište na početku faze i na kraju faze leta te je izračunata duljina između ovih dviju točaka. Dobiveni rezultat ukazuje na postojanje statistički značajnih razlika ( $p = 0,00$ ) za varijablu kretanje tijela u daljinu (**DULJRAV**) gdje se prvoligaški rukometaši kreću više prema naprijed, ali i u visinu, u odnosu na vrhunske rukometaše. Kretanje tijela prema naprijed kod prvoligaških je rukometaša očekivano jer je tendencija igre u prvoj ligi takva da se igrači više odlučuju šutirati iz prolaza sa šest metara nego s vanjskih pozicija. Let kod prvoligaških rukometaša (**VISLET**) viši je jer nedostatak visine kompenziraju snažnijim odrazom. Na vrhunskoj razini vanjski igrači sve više šutiraju izvan devet metara na postavljene zonske formacije. Istraživanja dokazuju (Skarbalius, 2011) da su pobjedničke momčadi pokazale veću rezultatsku uspješnost kada su imale kvalitetni timski protunapad, manji broj načinjenih isključenja i veću učinkovitost s vanjskih pozicija. Također je moguće da prvoligaški igrači naglašenijim odrazom u dalj nastoje kompenzirati nedostatak visine koji ih ograničava u šutiranju s većih daljina preko bloka. Završna analiza u ovoj fazi elementa skok šuta pokazala je da u odnosu na vrhunske rukometaše, prvoligaški igrači za prosječnih 0,06 m/s sporije izvode kretanje u fazi leta, što je i logično s obzirom da imaju viši odraz.

Kut trupa izračunat je preko referentnih točaka: dvije točke kuka (ZGKUKLIJ i ZGKUKDES - sredina između točaka) i dvije točke ramena (ZGRAMLIJ i ZGRAMDES - sredina između točaka) u odnosu na podlogu. Vrhunski rukometaši imaju veći prosječni kut trupa od  $68,32^{\circ}$  u odnosu na prvoligaške rukometaše koji imaju prosječan kut trupa od  $64,35^{\circ}$  s podlogom (slika 8).



*Slika 8. Kut trupa u odnosu na podlogu izračunat preko četiriju referentnih točaka  
(Ispitanik D. V.)*

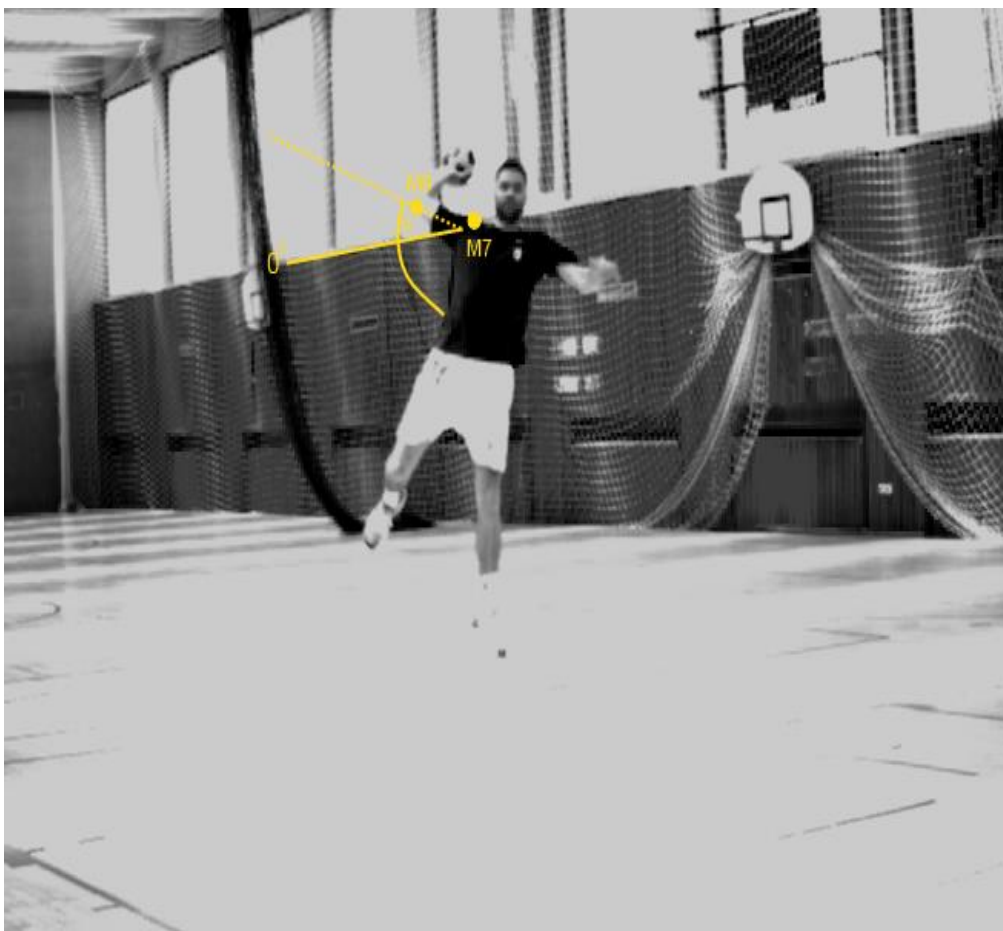
Dobiveni rezultati kuta trupa ukazuju da prvoligaški rukometaši imaju nagnutiji trup prema naprijed u odnosu na vrhunske rukometaše u fazi leta. Ovaj kinematički parametar sukladan je prethodno dobivenim rezultatima koji pokazuju da se vrhunski igrači u trenutku leta kreću manje prema naprijed u odnosu na prvoligaške rukometaše. S ciljem detektiranja pozicije ramena u ovoj fazi skok šuta, izračunat je i kut ramena izbačajne ruke. Kinematička analiza obuhvatila je referentne točke ramena ruke suprotne izbačajnoj ruci, ramena ruke sukladne izbačajnoj ruci te lakat ruke sukladne izbačajnoj ruci (slika 9). Rezultati su pokazali da ne postoji statistički značajna razlika između vrhunskih i prvoligaških rukometaša za varijablu kut ramena ( $p = 0,27$ ).



Slika 9. Kut ramena izbačajne ruke izračunat preko triju referentnih točaka

U četvrtoj analiziranoj fazi izbačaja promatrani su kinematički parametri: visina izbačaja, kut nadlaktice u odnosu na horizontalnu ravan, brzina šake, kut nadlaktice u odnosu na sagitalnu ravan i trajanje faze. Visina izbačaja (**VISIZB**) izračunata je na način da se analizirao položaj referentne točke zgloba izbačajne ruke u momentu napuštanja lopte iz zgloba šake. Vrhunski rukometaši imaju 5,55 cm viši izbačaj u odnosu na prvoligaške rukometaše što se nije pokazalo statistički značajno za ovo istraživanje ( $p = 0,37$ ). Rezultati za varijablu brzina šake (**BRZŠAK**) pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika u ovom parametru između vrhunskih i prvoligaških rukometaša ( $p = 0,60$ ). Ovakvi rezultati nisu bili očekivani s obzirom na prethodna istraživanja (Fradet i sur., 2004; Gorostiaga i sur., 2005; Joris i sur., 1985; Van den Tillar, 2004a, 2007; Wagner i sur., 2010a) u kojima su vrhunski igrači imali značajno bolje rezultate u ovom kinematičkom parametaru rukometne igre. Statistički značajna razlika pronađena je samo kod kuta nadlaktice izbačajne ruke s horizontalnom ravninom

**(KUTNAD1).** Kinematički izračun napravljen je preko referentnih točaka ramena i lakta izbačajne ruke. Rezultati pokazuju da vrhunski rukometaši imaju prosječan kut nadlaktice  $7,36^\circ$  manji u odnosu na prvoligaške rukometaše ( $p = 0,04$ ) - slika 10. Ovako dobiveni rezultati za varijablu **(KUTNAD1)** ukazuju da je položaj lakta izbačajne ruke u poziciji iznad točke acromion od iznimne važnosti za kvalitetan, učinkovit i precizan izbačaj. Osim položaja nadlaktice, od iznimne je važnosti za uspješnu realizaciju eksplozivna snaga ruku i ramenog pojasa koja pospješuje brzinu izbačajnog pokreta, što je potvrđeno u istraživanjima (Joris i sur., 1985; Fleck i sur., 1992; Marques i sur., 2006; Bayios i sur., 2006).



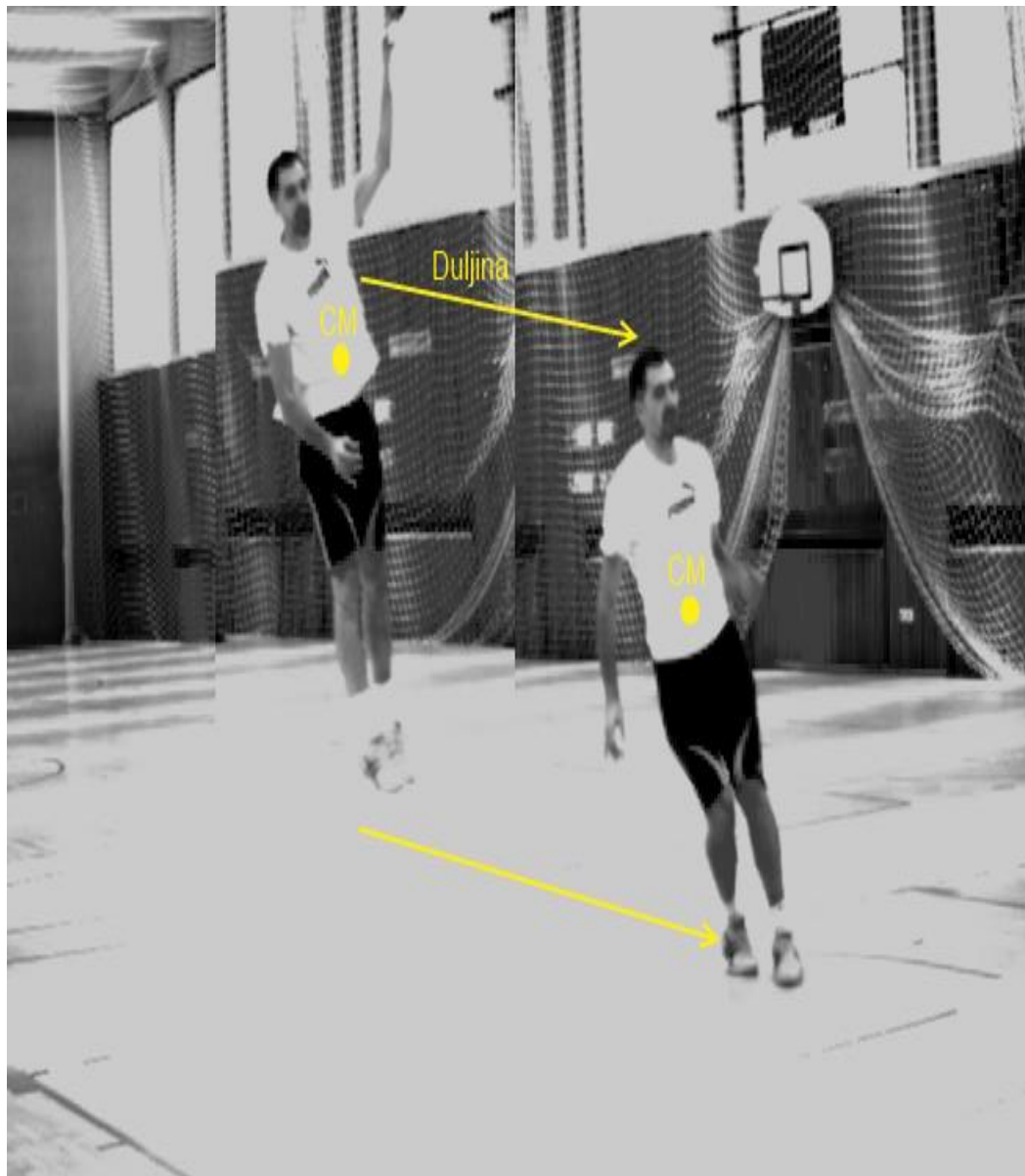
*Slika 10. Kut nadlaktice izbačajne ruke izračunat preko dviju referentnih točaka  
(Ispitanik D. V.)*

Isto tako, izračunat je kut nadlaktice u odnosu na sagitalnu ravan preko triju referentnih točaka, a to su: rame ruke suprotne izbačajnoj ruci, rame ruke sukkladne izbačajnoj ruci i lakat izbačajne ruke, kako bi se moglo utvrditi dolazili li do pretjecanja lakta u fazi izbačaja. Rezultat univarijatne analize varijance (ANOVA) pokazao je da ne postoji statistički značajna

razlika između vrhunskih i prvoligaških rukometaša ( $p = 0,64$ ) za varijablu **KUTNAD2**. Varijabla brzina šake izračunata je preko formule za brzinu  $v = s/t$  s tim da je promatran zglob izbačajne ruke. Dobiveni rezultati ukazuju da ne postoji statistički značajna razlika između vrhunskih i prvoligaških rukometaša ( $p = 0,60$ ) u brzini šake kod izbačaja. Indikativno je da prvoligaški rukometaši izvode izbačaj  $0,26$  m/s brže u odnosu na vrhunske rukometaše što nije sukladno rezultatima sličnih istraživanja (Hoff i sur., 1995; Foretić i sur., 2005; Gorostiaga i sur., 2005; Rogulj i sur., 2007b; Granados, 2007; Rogulj i sur., 2007; Granados i sur., 2010). Ovakav rezultat nije bio očekivan te je pretpostavka da su prvoligaški rukometaši pristupili testiranju s većim motivom u odnosu na vrhunske rukometaše.

Faza doskoka u ovom istraživanju analizirana je pomoću dvaju kinematičkih parametara, a to su put kretanja tijela od faze izbačaja do kontakta s podlogom (**DUŽDOSK**) te samo trajanje ove faze (**TRAJDOS**).

Put kretanja tijela u daljinu izračunat je preko težišta tijela gdje je uspoređen položaj težišta na završetku izbačajne faze u odnosu na položaj težišta tijela kada stopalo/stopala dodiruju podlogu (slika 11). Statistički značajna razlika nije utvrđena za varijablu kretanje tijela u daljinu (**DUŽDOSK**) između vrhunskih i prvoligaških rukometaša ( $p = 0,93$ ). Vrhunski rukometaši provedu u fazi doskoka (**TRAJDOS**) više vremena ( $0,17$  ms) u odnosu na prvoligaške rukometaše ( $0,14$  ms) što se može interpretirati nešto većim kretanjem tijela u daljinu čime se produljuje vrijeme dodira stopala s podlogom. Postavljaju se kriteriji za kvalitetan doskok koji mora biti takav da dodir stopala s podlogom treba biti optimalan na odraznu nogu ili na oba stopala istovremeno što omogućava brzo i eksplozivno kretanje prema naprijed (Pori i sur., 2005).



*Slika 11. Kretanje tijela u daljinu izračunato preko točke centar mase (Ispitanik P. M.)*

Sukladno rezultatima istraživanja, nije moguće prihvatiti hipotezu  $H_{01}$  što znači da je utvrđena statistički značajna razlika u kinematičkim parametrima provedbe elemenata tehnike skok šuta između vrhunskih i prvoligaških igrača.

U tablici 12 prezentirani su rezultati multivarijatne analize varijance (MANOVA) između vrhunskih i prvoligaških igrača u kinematičkim parametrima svih faza elementa varke jednostruke promjene smjera kretanja.

Tablica 12. Multivarijatna analiza varijance (MANOVA) između vrhunskih i prvoligaških igrača u kinematičkim parametrima svih faza varke jednostruke promjene smjera kretanja

Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,31	2,41	0,05

$\Lambda$  - Wilksova lambda, F - F test, p - Koeficijent razine značajnosti

Rezultati upućuju na postojanje statistički značajne razlike između dviju kvalitativnih skupina ispitanika ( $p = 0,05$ ) te je pristupljeno izračunu multivarijatne analize varijance (MANOVA) za pojedine faze ove varke. Ovako dobiveni rezultati ne mogu se komparirati s prethodnim istraživanjima jer je ovo prvo istraživanje ovakvog tipa koje se vrši za varku jednostruke promjene smjera kretanja.

Varka jednostruke promjene smjera kretanja sastoji se od dviju faza: lažne i izvršne faze. U odnosu na lažnu fazu egzistiraju statistički značajne razlike između vrhunskih i prvoligaških rukometaša (Wilksova lambda 0,44,  $p = 0,00$ ). Rezultati također upućuju da kod druge, izvršne faze (tablica 13) ne postoji statistički značajna razlika između vrhunskih i prvoligaških rukometaša (Wilksova lambda 0,64,  $p = 0,22$ ).

Tablica 13. Multivarijatna analiza varijance (MANOVA) između vrhunskih i prvoligaških igrača u kinematičkim parametrima za pojedine faze varke jednostruke promjene smjera kretanja

VARKA JEDNOSTRUKJE PROMJENE SMJERA KRETANJA			
1. FAZA - LAŽNA FAZA			
Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,44	4,64	0,00
2. FAZA - IZVRŠNA FAZA			
Test	Vrijednost $\lambda$	F	p
$\lambda$	0,64	1,50	0,22

$\Lambda$  - Wilksova lambda, F - F test, p - Koeficijent razine značajnosti

Evidentno je da razlike u izvedbi varke jednostruke promjene smjera kretanja prvenstveno proizlaze iz njenog lažnog dijela kojeg vrhunski rukometaši izvode znatno drugačije od prvoligaških rukometaša. Upravo je lažna faza varke ona koja po svojoj strukturi treba biti uvjerljiva, brza, izražajna i precizno usmjerena kako bi navela obrambenog igrača na pogrešno kretanje. S obzirom na postojanje statistički značajnih razlika na generalnoj razini, pristupilo se izračunu univarijatne analize varijance (ANOVA) u tablici 14.

Tablica 14. Analiza varijance (ANOVA) između vrhunskih i prvoligaških igrača u kinematičkim parametrima varke jednostruke promjene smjera kretanja

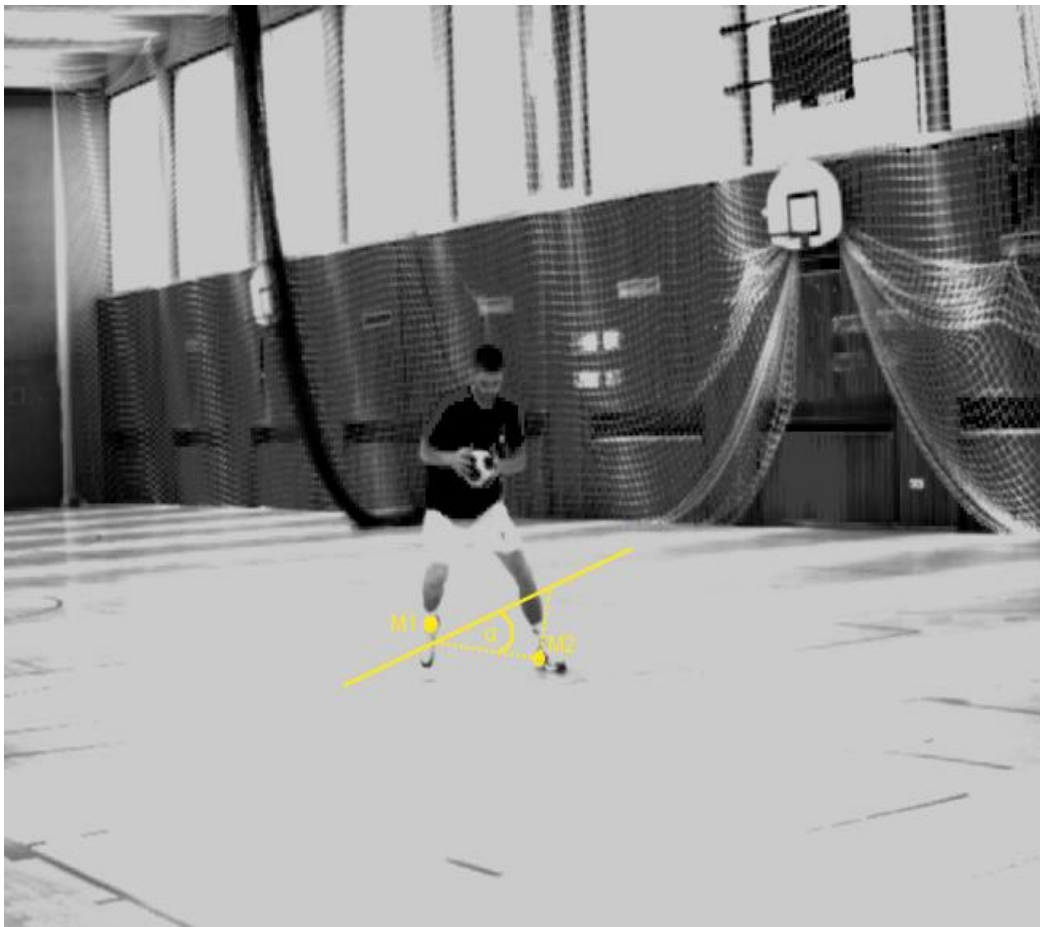
VARKA JEDNOSTRUKJE PROMJENE SMJERA KRETANJA				
1. FAZA - LAŽNA FAZA				
Varijable	AS VRHUNS	AS PRVOLI	F	p
<b>VDUŽKOR</b>	106,44(cm)	133,55(cm)	5,81	0,02
<b>VBRZLAŽ</b>	5,16(m/s)	5,76(m/s)	1,13	0,30
<b>VKUTTRUP</b>	74,35(°)	75,41(°)	0,18	0,67
<b>VCENTARTŽ</b>	78,12(cm)	93,17(cm)	3,6	0,07
<b>VTRAJLAŽ</b>	0,21(ms)	0,25(ms)	2,17	0,15
<b>VKUTISKN</b>	17,70(°)	31,42(°)	11,87	0,00
<b>VPOLSTOP</b>	95,00(°)	89,00(°)	3,33	0,07
2. FAZA - IZVRŠNA FAZA				
Varijable	AS VRHUNS	AS PRVOLI	F	p
<b>VUKPDUŽ</b>	328,44(cm)	342,78(cm)	0,54	0,46
<b>VDUŽ1KOR</b>	150,95(cm)	162,08(cm)	0,76	0,38
<b>VDUŽ2KOR</b>	177,56(cm)	180,51(cm)	0	0,95
<b>VBRZ1KOR</b>	5,41(m/s)	5,41(m/s)	0,01	0,91
<b>VBRZ2KOR</b>	4,44(m/s)	4,11(m/s)	1,96	0,17
<b>VSMJER2K</b>	13,43(°)	17,64(°)	2,48	0,13
<b>VTRAJIZV</b>	0,77(ms)	0,80(ms)	0,24	0,62

**DUŽKOR** - duljina koraka, **VBRZLAŽ** - brzina lažnog dijela varke, **VKUTTRUP** - kut trupa s podlogom, **VCENTARTZ** - pomicanje centra težišta, **VKUTISKN** - pomicanje noge suprotne izbačajnoj ruci u prostoru, **VPOLSTOP** - položaj stopala noge suprotne izbačajnoj ruci na završetku stvarne faze, **VTRAJLAŽ** - trajanje lažne faze, **VUKPDUŽ** - ukupna dužina svih koraka, **VDUŽ1KOR** - dužina 1. koraka, **VDUŽ2KOR** - dužina 2. koraka, **VBRZ1KOR** - brzina 1. koraka, **VBRZ2KOR** - brzina 2. koraka, **VSMJER2KOR** - smjer 2. koraka u prostoru, **VTRAJIZV** - trajanje izvršne faze, **AS VRHUNSKI** - aritmetička sredina vrhunski rukometaši, **AS PRVOLIG** - aritmetička sredina prvoligaški rukometaši, **F** - F test, **p** - Koefficient razine značajnosti

Dobiveni rezultati u tablici 14 ukazuju da postoji statistički značajna razlika u prvoj, lažnoj fazi između vrhunskih i prvoligaških rukometaša u kinematičkim parametrima dužine koraka (**VDUŽKOR**) i kutu iskoraka noge suprotne izbačajnoj ruci (**VKUTISKN**). Razlika u dužini



koraka iskazana je na razini statističke značajnosti ( $p = 0,02$ ). Rukometaši koji igraju u prvoj ligi izvode iskorak prosječne dužine od 133,5 cm u stranu iskoračne noge u lažnom dijelu, dok vrhunski rukometaši istu kretnju rade iskorakom od 106,4 cm. Ovaj pokazatelj sukladan je varijabli pomicanje centra težišta (**VCENTARTŽ**) jer se centar težišta prvoligaškim rukometašima pomiče za 93,17 cm, a vrhunskima za 78,12 cm. Ovako dobiveni rezultati jesu očekivani jer je bilo za pretpostaviti da će vrhunski rukometaši imati kraći, precizniji i uvjerljiviji iskorak u stranu. Inače, varijabla iskorak definirana je referentnim točkama skočni zglob noge sukladne izbačajnoj ruci i skočni zglob noge suprotne izbačajnoj ruci (slika 12).



*Slika 12. Varijabla iskorak izračunata preko dviju referentnih točaka (Ispitanik D. V.)*

Univarijatnom analizom varijance (ANOVA) utvrđena je statistički značajna razlika ( $p = 0,00$ ) i za varijablu iskorak noge suprotne izbačajnoj ruci (**VISKORAK**). Rezultati pokazuju da vrhunski rukometaši korak nogom suprotnom izbačajnoj ruci vrše prosječno pod kutom od  $17,70^{\circ}$  dok istu kretnju prvoligaški rukometaši izvode pod kutom od  $31,42^{\circ}$ . Evidentno je da vrhunski igrači više izvode iskorak u stranu, dok prvoligaški igrači više izvode iskorak dijagonalno naprijed. Rukometne publikacije (Pavlin, 1979; Pavlin, 1981; Tomljanović, 1982;

Arslanagić, 1997; Šimenc i sur., 1998; Malić, 1999) preporučuju da je svrhovitije pomicati nogu suprotnu izbačajnoj ruci u stranu jer dolazi do naglašenijeg pomicanja težišta protivničkog igrača u obrani. Provedba iskoraka pod kutom od blizu  $45^{\circ}$ , kojeg izvode prvoligaški rukometaši, i otvara mogućnost lakšeg zaustavljanja napadača koji je tijelom puno bliži obrambenom igraču čime se gubi na učinkovitosti izvedbe samog elementa. Kod ostalih analiziranih kinematičkih parametara brzine lažnog dijela (**VBRZLAŽ**), kuta trupa (**VKUTTRUP**) kao i trajanja lažne faze (**VTRAJLAŽ**) varke jednostruke promjene smjera kretanja, nisu evidentirane statistički značajne razlike između kvalitetnih i vrhunskih rukometaša. Iako ne na razini statističke značajnosti, osjetnije razlike evidentirane su u varijabli pomicanje centra težišta tijela. Tako se centar težišta vrhunskim rukometašima pomiče za 78,1 cm, dok se prvoligaškim rukometašima pomiče za 93,2 cm (slika 13). Također su razlike, iako ne na razini statističke značajnosti, prisutne i kod varijable kut, odnosno položaj stopala iskoračne noge (**VPOLSTOP**). Tako su vrhunski igrači u prosjeku stopalo iskoračne noge postavljali pod kutom od  $95^{\circ}$ , a prvoligaški pod kutom od  $89^{\circ}$ .



*Slika 13. Pomicanje centra težišta tijela u lažnoj fazi varke jednostruke promjene smjera kretanja izračunato preko točke centra mase tijela*

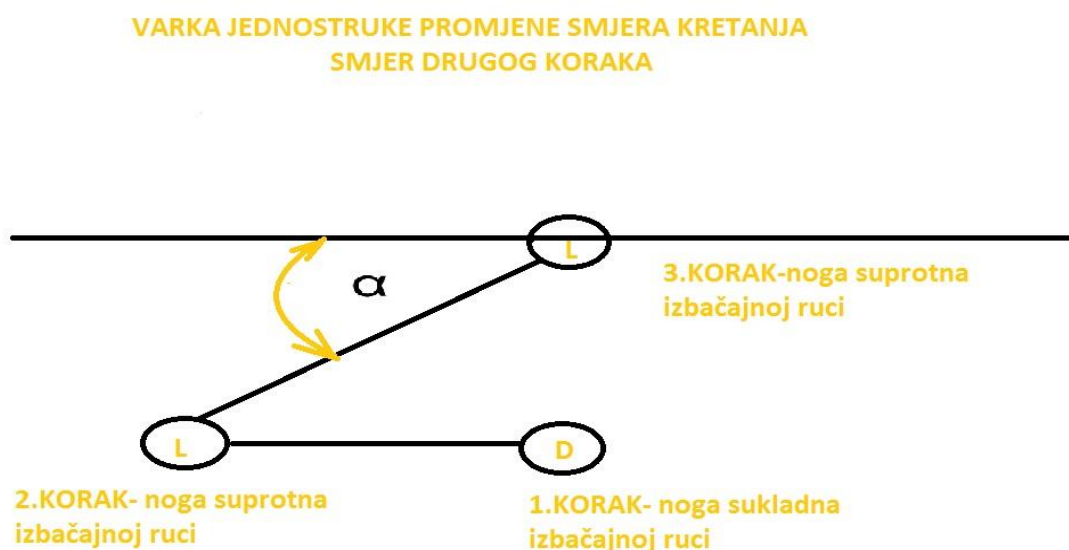


*Slika 14. Položaj stopala stajne noge izračunat je na kraju lažne faze varke jednostruke promjene smjera kretanja kao kut uzdužne osovine stopala s frontalnom ravninom*

U izvršnoj fazi varke jednostruke promjene smjera kretanja multivarijatom analizom varijance generalno nisu utvrđene statistički značajne razlike između vrhunskih i prvoligaških rukometaša. Univarijatna analiza samo je potvrdila ove nalaze jer pojedinačno u niti jednoj varijabli nisu detektirane statistički značajne razlike. Tako su, na primjer, svi ispitanici ovu fazu izveli u dva koraka. Moguće da bi u suvremenim natjecateljskim uvjetima ovu fazu trebalo racionalizirati, odnosno izvoditi je samo jednim korakom čime bi se dobilo na vremenu i mogućnosti nadogradnje kretanja nekom drugom varkom. Vjerojatno su u procesu obučavanja tehnike izvedbe varke jednostruke promjene smjera kretanja u mlađim dobnim skupinama igrači poučavani da izvode drugi korak u stranu kako bi dobili dodatnih 20 - 30 cm odmaka od obrambenog igrača koji napadačima olakšava prolaz trećim korakom prema naprijed.

U izvršnoj su fazi promatrani i dužina svakog koraka (**VDUŽ1KOR**, **VDUŽ2KOR**), ukupna dužina koraka (**VUKPDUŽ**), brzina svakog koraka (**VBRZ1KOR**, **VBRZ2KOR**), smjer drugog koraka (**VSMJER2K**), kao i samo trajanje izvedbe ovog dijela varke (**VTRAJIZV**).

Međutim, statistički značajna razlika nije pronađena ni za jednu od navedenih kinematičkih varijabli. S aspekta ekspertne procjene, bilo je opravdano pretpostaviti statistički značajnu razliku u brzini prvog koraka kojim se dobiva prednost u prostoru između vrhunskih i prvoligaških rukometaša. Naime, radi se o vjerojatno najvažnijem dijelu izvršne faze jer brzina prvog koraka ima značajan utjecaj na uspješnu realizaciju cjelokupne kinematičke strukture koja je prema dobivenim rezultatima jednaka kod obje skupine ispitanika (5,41 m/s). Smjer, odnosno kut drugog koraka izračunat je preko referentnih točaka skočnih zglobova noge sukladne i suprotne izbačajnoj ruci, na način da je analizirana posljednja sekvenca prvog koraka izvršne faze (slika 15). Kao ni kod prethodnih, nije pronađena statistički značajna razlika ( $p = 0,13$ ) na uzorku vrhunskih i prvoligaških rukometaša u ovoj varijabli.



Slika 15. Smjer drugog koraka izračunat preko dviju referentnih točaka u izvršnoj fazi varke jednostruke promjene smjera kretanja

Sukladno dobivenim rezultatima, ne može se prihvatiti hipoteza  $H_{02}$  te se utvrđuje da postoji statistički značajna razlika u kinematičkim parametrima provedbe elemenata tehnike varke jednostruke promjene smjera kretanja između vrhunskih i prvoligaških igrača.

## 10.2. Rezultati ekspertne procjene

Ekspertna procjena provedena je na uzorku od deset vrhunskih i internacionalnih eksperata koji su zadovoljili postavljene kriterije u projektu doktorske disertacije. U tablici 15 prikazan je Spearman-Brownov koeficijent rang korelacije između ocjenjivača koji ukazuju na visoku razinu povezanosti između eksperata. Najniža zabilježena korelacija je između drugog i petog ocjenjivača (0,08), dok su korelacije među ostalim ocjenjivačima visoke što ukazuje na usklađenost u njihovim razmišljanjima. Izračun prosječne korelacije među ocjenjivačima iznosi 0,53 te se na osnovi dobivenih rezultata može ustvrditi homogenost uzorka. Crvenom bojom označene su statistički značajne korelacije što upućuje na činjenicu da su eksperti na sličnom tragu razmišljanja.

Tablica 15. Spearman-Brownov koeficijent rang korelacije između eksperata

	OC1	OC2	OC3	OC4	OC5	OC6	OC7	OC8	OC9	OC10
OC1	1,00	,80	,25	,51	,34	,78	,86	,93	,88	,91
OC2		1,00	,17	,43	,08	,64	,63	,72	,70	,74
OC3			1,00	,29	,13	,31	,29	,31	,35	,28
OC4				1,00	,20	,35	,37	,56	,49	,46
OC5					1,00	,12	,41	,28	,29	,31
OC6						1,00	,71	,80	,76	,79
OC7							1,00	,80	,80	,86
OC8								1,00	,82	,88
OC9									1,00	,85
OC10										1,00

*Koeficijenti su statistički značajni na razini  $p < 0,05$*

U tablici 16 nalazi se izračun osnovnih deskriptivskih i distribucijskih parametara ocjena svakog ocjenjivača. Kao što je vidljivo u tablici, MaxD je kod svih ocjenjivača u dopuštenim granicama te dobiveni rezultati ukazuju da su sve varijable normalne distribucije.

Tablica 16. Osnovni deskriptivni i distribucijski parametri eksperata

	AS	MED	MIN	MAX	SD.	SKEW	KURT	MAX d
<b>OC1</b>	2,60	2,00	1,00	5,00	1,43	,50	-1,03	0,21
<b>OC2</b>	2,74	2,00	1,00	5,00	1,52	,29	-1,41	0,21
<b>OC3</b>	3,43	3,00	2,00	5,00	,63	-,03	-,18	0,30
<b>OC4</b>	2,12	1,00	1,00	5,00	1,48	1,01	-,46	0,32
<b>OC5</b>	3,05	3,00	2,00	4,00	,70	-,06	-,85	0,27
<b>OC6</b>	2,60	2,50	1,00	5,00	1,13	,13	-1,03	0,20
<b>OC7</b>	2,60	2,00	1,00	5,00	1,19	,31	-,99	0,24
<b>OC8</b>	2,88	3,00	1,00	5,00	1,27	,01	-1,15	0,19
<b>OC9</b>	2,79	3,00	1,00	5,00	1,22	,09	-1,05	0,19
<b>OC10</b>	2,88	3,00	1,00	5,00	1,19	,24	-1,04	0,25

MAXD test = 0,51, AS - aritmetička sredina, MED – medijan, MIN - minimalna vrijednost rezultata, MAX - maksimalna vrijednost rezultata, SD - standardna devijacija, SKEW - koeficijent asimetrije, KURT - koeficijent zakrivljenosti, MAX d - odstupanja između kumulativnih i teorijskih proporcija

Dobiveni rezultati ukazuju da je aritmetička sredina ocjena u rasponu 2,12 kod četvrtog eksperta, pa do 3,43 koja je zabilježena kod trećeg eksperta. Eksperti ne osciliraju u predmetu mjerenja što je u korelaciji s obrazloženjem koje je ponuđeno u prethodnoj tablici. Vidljivo je da su varijable normalno distribuirane te je primjetna osjetljivost ocjenjivača koji su bili dosljedni u svome ocjenjivanju.

U tablici 17 prikazan je izračun Cronbachovog koeficijenta. Rezultati pokazuju na visoku ujednačenost i objektivnost ocjenjivanja eksperata jer Chronbachov koeficijent iznosi 0,92, dok Inter-Item korelacija među ekspertima iznosi 0,60. Uzorak eksperata pokazuje homogenost među njima te su odabrani kao visoko educirani rukometni stručnjaci koji su prema prikazanim rezultatima visoko suglasni o materiji rukometne igre.

Tablica 17. Izračun Cronbachovog koeficijenta pouzdanosti ( $\alpha$ Cronbach) i prosječne Inter-Item korelacije među ekspertima

<i>Cronbachov koeficijent pouzdanosti</i> ( $\alpha$ Cronbach)	0,92
Inter-Item korelacija među ekspertima	0,60

### 10.3. Deskriptivni i distribucijski parametri ocjena eksperata za pojedine faze elemenata skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja

Analiza upitnika koji su ispunjavali eksperti iz domene rukometne igre napravljena je za svaku fazu elemenata skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja. Prvi deskriptivni izračun u tablici 18 napravljen je za fazu zaleta.

Tablica 18. Osnovni deskriptivni parametri ocjena za element skok šut – 1. faza - zalet

1. faza - zalet							
Varijable	AS	MED	MIN	MAX	SD.	SKEW	KURT
ZKNSIR	3,6	3,5	3	5	0,70	0,8	-0,15
ZKNSUIR	1,6	1	1	3	0,84	1	-0,67
ZDZKNSIR	3,7	4	3	5	0,67	0,4	-0,28
ZDZKNUIR	2,4	3	1	3	0,84	-1	-0,67
ZTZKNSIR	4,3	4	3	5	0,67	-0,4	-0,28
ZTZKNSUIR	2,3	2	1	4	0,95	0,2	-0,35

N = 10, ZKNSIR - zalet korakom noge suprotne izbačajnoj ruci, ZKNSUIR - zalet korakom noge sukladne izbačajnoj ruci, ZDZKNSIR - zalet dvokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci, ZDZKNUIR - zalet dvokorakom sa završnim korakom noge sukladne izbačajnoj ruci, ZTZKNSIR - zalet trokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci, ZTZKNSUIR - zalet trokorakom sa završnim korakom noge sukladne izbačajnoj ruci, AS - aritmetička sredina, MED – medijan, MIN - minimalna vrijednost rezultata, MAX - maksimalna vrijednost rezultata, SD - standardna devijacija, SKEW - koeficijent asimetrije, KURT - koeficijent zakrivljenosti,

Faza zaleta prva je analizirana faza za element skok šut. Ocjene ispitivača nalaze se na Likertovoj skali od 1 do 5. Rezultati prikazani u tablici 18 ukazuju da je najveća prosječna ocjena 4,3 zabilježena za zalet trokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci. Moguće da eksperti tradicionalno najviše cijene zalet karakterističnim rukometnim trokorakom jer osigurava najviše vremena za pripremu odraza i udarca, procjenu položaja braniča i vratara te dovoljno vremena za donošenje najispravnije odluke. Stoga se ovaj zalet najviše koristi u metodici učenja šutiranja što se može usporediti s istraživanjem (Burger i sur., 2013) gdje je zalet kroz tri koraka jedan od osnovnih metodskih elemenata koji se koristi u radu s mlađim dobnih skupinama.

Dobiveni rezultati u tablici 19 pokazuju da najveću prosječnu ocjenu za promatranu fazu odraza ima varijanta 3 koja odraz definira valjanjem od pete prema prstima noge suprotne izbačajnoj ruci (4,60), dok je varijanta u kojoj se odraz vrši s prstiju noge sukladne izbačajnoj ruci dobila najnižu prosječnu ocjenu (1,80).



Tablica 19. Osnovni deskriptivni parametri za element skok šut – 2. faza - odraz

2. faza - odraz							
Varijable	AS	MED	MIN	MAX	SD.	SKEW	KURT
OPNSIR	3,2	3	1	4	0,92	-1,55	3,33
OPNSKIR	1,8	2	1	3	0,79	0,41	-1,07
OVPSNIR	4,6	5	4	5	0,52	-0,48	-2,28
OVPSKIR	2,2	2	1	3	0,63	-0,13	0,18
SOPPS	2	2	1	4	1,15	1,08	0,08
SOVSPS	1,9	2	1	4	0,99	1,08	0,91

N = 10, OPNSIR - odraz s prstiju noge suprotne izbačajnoj ruci, OPNSKIR - odraz s prstiju noge sukladne izbačajnoj ruci, OVPSNIR - odraz valjanjem od pete prema prstima noge suprotne izbačajnoj ruci, OVPSKIR - odraz valjanjem od pete prema prstima noge sukladne izbačajnoj ruci, SOPPS - sunožni odraz s prstiju iz paralelnog stava, SOVSPS - sunožni odraz s valjanjem stopala iz paralelnog stava, AS - aritmetička sredina, MED – medijan, MIN - minimalna vrijednost rezultata, MAX - maksimalna vrijednost rezultata, SD - standardna devijacija, SKEW - koeficijent asimetrije, KURT - koeficijent zakrivljenosti

Biomehanička struktura hodanja analizirana je različitim načinima na ravnoj podlozi (Threlked i sur., 2003; Røislien i sur., 2009; Chang i sur. 2010). Sva ova istraživanja, ali i druga koja su obavljena na pokretnim podlogama gdje se analiziralo pomicanje stopala od podloge u fazi zaleta i hoda (Draper, 2000; Jordan i sur., 2007; Fusco i sur., 2008; Zeni i sur., 2008), dokazala su da je najkvalitetniji način odraza valjanje od pete prema prstima. Takvom izvedbom dolazi do prebacivanja sile od pete prema plantarnom dijelu stopala što za konačni efekt ima uključenje najvećeg broja mišića i tetiva koje sudjeluju pri napuštanju stopala od podloge. Stoga je ovakav način odraza u rukometu najpoželjniji i najučestaliji jer efikasno generira vertikalnu i horizontalnu komponentu kretanja u fazi leta.

Rezultati za fazu leta u tablici 20 ukazuju na najveću prosječnu ocjenu za varijantu 4 (4,50). Navedena varijanta definira uspravan položaj trupa s dijagonalno postavljenim ramenima.

Tablica 20. Osnovni deskriptivni parametri za element skok šut – 3. faza - let

3. faza - let							
Varijable	AS	MED	MIN	MAX	SD.	SKEW	KURT
KTNAPR	2,4	2	1	4	0,84	0,39	0,37
KTNDPR	3,8	4	2	5	0,79	-1,29	2,98
KTUPPR	2,6	3	1	4	0,84	-0,39	0,37
KTDPOR	4,5	4,5	4	5	0,53	0	-2,57
KTNRPR	1,5	1	1	3	0,71	1,18	0,57
NPNDPR	1,6	1	1	4	0,97	1,96	4,19

N = 10, KTNAPR - trup nagnut naprijed s paralelnim postavljanjem ramena, KTNDPR - trup nagnut naprijed s dijagonalnim postavljanjem ramena, KTUPPR - trup uspravan s paralelnim postavljanjem ramena, KTDPOR - trup uspravan s dijagonalnim postavljanjem ramena, KTNRPR - trup nagnut prema natrag s ravnim paralelnim postavljanjem ramena, NPNDPR - trup nagnut prema natrag s dijagonalnim postavljanjem ramena, AS - aritmetička sredina, MED – medijan, MIN - minimalna vrijednost rezultata, MAX - maksimalna vrijednost rezultata, SD - standardna devijacija, SKEW - koeficijent asimetrije, KURT - koeficijent zakrivljenosti,

Dijagonalno postavljanje ramena u fazi leta omogućava igraču učinkovitu realizaciju iz više razloga. Prije svega u fazi leta, kada se ruka suprotna izbačajnoj ruci nađe ispred tijela, svojim inercijskim pomicanjem prema gore pospješuje visinu leta. Također, u trenutku kada se ruka suprotna izbačajnoj ruci nađe ispred u razini ramena potencijalno sprječava obrambenog igrača u pokušaju dolaska do lopte koja se nalazi u napadačevoj izbačajnoj ruci. Dijagonalno postavljanje ramena ima za cilj i lakše ubacivanje u prostor između dvaju obrambenih igrača jer se na takav način najbolje gradi lopta i racionalno koristi prostor. Eventualnim postavljanjem ramena paralelno otvara se mogućnost kontakta s obrambenim igračem što za posljedicu može imati zaustavljanje napadača, ali i potenciranje narušavanja ravnoteže kontaktom u gornji dio trupa što bi moglo za posljedicu imati pad na leđa, a samim time i mogućnost ozljede.

Rezultati u tablici 21 ukazuju na najveću prosječnu ocjenu (4,10) za varijantu faze izbačaja gdje je lakat izbačajne ruke iznad razine ramena s pretjecanjem lakta.

Tablica 21. Osnovni deskriptivni parametri za element skok šut – 4. faza - izbačaj

4. faza - izbačaj							
Varijable	AS	MED	MIN	MAX	SD.	SKEW	KURT
LIRIRPL	4,1	4	3	5	0,74	-0,17	-0,73
LIRIBPL	3,6	4	1	5	1,07	-1,66	3,83
LIRURPL	3,2	3	2	4	0,79	-0,41	-1,07
LIRURBPL	3,2	3,5	1	4	1,03	-1,24	0,95
LIRIRPPL	1,8	2	1	3	0,79	0,41	-1,07
LIRIRBPL	1,6	1,5	1	3	0,7	0,78	-0,15

N = 10, **LIRIRPL** - lakat izbačajne ruke iznad razine ramena s pretjecanjem lakta, **LIRIBPL** - lakat izbačajne ruke iznad razine ramena bez pretjecanja lakta, **LIRURPL** - lakat izbačajne ruke u razini ramena s pretjecanjem lakta, **LIRURBPL** - lakat izbačajne ruke u razini ramena bez pretjecanja lakta, **LIRIRPPL** - lakat izbačajne ruke ispod razine ramena s pretjecanjem lakta, **LIRIRBPL** - lakat izbačajne ruke ispod razine ramena bez pretjecanja lakta, **AS** - aritmetička sredina, **MED** – medijan, **MIN** - minimalna vrijednost rezultata, **MAX** - maksimalna vrijednost rezultata, **SD** - standardna devijacija, **SKEW** - koeficijent asimetrije, **KURT** - koeficijent zakrivljenosti.

Kinematika pokreta gornjeg dijela trupa te ruku i ramenog pojasa od iznimne je važnosti za izbačaj lopte. Položaj lakta izbačajne ruke, kada se nalazi iznad razine ramena, igraču omogućava racionalnost izbačajne kretnje i precizan izbačaj. Optimalna kinematika udarca najbolje se manifestira šutevima s otvorenim položajem podlaktice u odnosu na nadlakticu (Multon, 1998). Svaki položaj lakta izbačajne ruke ispod razine ramena smanjuje mobilnost u ramenu što za posljedicu ima manji zamah cijele izbačajne ruke čime se gubi na preciznosti.

Kada se lakat izbačajne ruke nalazi iznad ramena, izbačaj je viši i povoljniji su fizikalni uvjeti za postizanje pogotka. Pretjecanje lakta važan je završetak faze izbačaja jer se na taj način omogućava sukcesivna provedba izbačajnog pokreta iz ramena i lakta te maksimalna brzina lopte. Istraživanja koja su provedena u sportovima gdje se izbačaj projektila (lopte) vrši na način sličan skok šutu u rukometu, a to su bejzbol i bacanje koplja, pokazala su da dolazi do pretjecanja ramena u završnoj fazi izbačaja (Fleisig i sur., 1996; Van den Tillar i sur., 2005). Karakteristično je za fazu izbačaja u promatranim sportovima da je izbačajna faza vremenski najkraća, ali da tijekom te faze djeluju najveće sile koje nakon izbačaja i pretjecanja lakta završavaju usporavanjem kretnje izbačajne ruke. Isto tako, maksimalno ekscentrično savijanje momenta lakta nastaje kroz ovu fazu kako bi došlo do ubrzanja lakatne ekstenzije (Werner i sur., 1993; Fleisig i sur., 1996). Maksimalna lakatna kompresivna sila pojavljuje se u tijeku ili odmah nakon ispuštanja lopte kako bi spriječila lakatnu distrakciju (Fleisig i sur., 1995). Ono što je specifično u kinematičkom lancu kod izbačaja za promatrane sportove jest da na jedan način dolazi do preskoka nakon čega se kretanje lanca nastavlja po ustaljenoj putanji. Kod doskoka kao završne faze skok šuta primjetna je naglašenija disperzija ocjena (tablica 22). Najveća prosječna ocjena dobivena je za varijantu 1 (4,20).

Tablica 22. Osnovni deskriptivni parametri za element skok šut – 5. faza - doskok

5. faza - doskok							
Varijable	AS	MED	MIN	MAX	SD.	SKEW	KURT
DNON	4,2	4,5	2	5	1,03	-1,2	0,9
DNZN	2,1	2	1	4	0,88	1	1,8
DOBNIPS	2,4	2	2	3	0,52	0,5	-2,3
DDNNZNN	3,2	3	2	5	0,79	1,3	3
DDZNONZ	2,1	2	1	5	1,2	1,7	3,7
DONIŠPS	2,3	2	1	4	0,82	0,8	1,2

N = 10, **DNON** - doskok na odraznu nog, **DNZN** - doskok na zamašnu nogu, **DOBNIPS** - doskok na obje noge istovremeno u paralelan stav, **DDNNZNN** - doskok u dijagonalni stav sa odraznom nogom naprijed te zamašnom nogom natrag, **DDZNONZ** - doskok u dijagonalni stav sa zamašnom nogom naprijed te odraznom nogom natrag, **DONIŠPS** - doskok na obje noge istovremeno u široki paralelni stav, **AS** - aritmetička sredina, **MED** – medijan, **MIN** - minimalna vrijednost rezultata, **MAX** - maksimalna vrijednost rezultata, **SD** - standardna devijacija, **SKEW** - koeficijent asimetrije, **KURT** - koeficijent zakrivljenosti,

Po mišljenju eksperata, doskok na odraznu nogu najčešća je varijanta koju upotrebljavaju rukometaši prilikom amortizacije tijela s podlogom. Ovakvo je promišljanje eksperata logično i kinematički opravdano jer je u prethodnim fazama leta i izbačaja odrazna noga uglavnom ispužena, dok je zamašna noga zabačena prema natrag i pogrčena u zglobu koljena. Prilikom

dorskoka odrazna se noga nalazi bliže tlu, dok noga sukladna izbačajnoj ruci mora proći fazu gdje dolazi do opružanja čime mora proći duži put, što odraznoj nozi daje vremensku prednost u dodiru s podlogom. Daskok mora biti amortizirajući i proveden tako da što manje opterećuje koštano i vezivno tkivo u zglobu te ne narušava stabilitet cijelog tijela. U rukometnoj igri za vrijeme dorskoka događa se veliki broj povreda, posebice skočnog zgloba i koljena, s najčešćim rupturama anterior cruciate ligamenta (Myklebust i sur., 1997, 1998; Wedderkopp i sur., 1999; Myklebust i sur., 2002). Upravo nekontaktne ozljede ACL-a predstavljaju 70 % ozljeda od ukupnog broja ozljeda koje se dogode tijekom utakmice (Krosshaug i sur., 2007). Provedeno istraživanje (Olsen i sur., 2004) pokazalo je da se od ukupnog broja zabilježenih ozljeda (20), njih 19 dogodilo u fazi napada, od čega su 4 zabilježene prilikom dorskoka kod skok šuta na jednu ili obje noge istovremeno.

Kao i za element skok šut, eksperti su ispunili upitnik za varku jednostruke promjene smjera kretanja te su izračunati osnovni deskriptivni parametri (tablica 23).

Tablica 23. Osnovni deskriptivni parametri za element varku jednostruke promjene smjera kretanja – 1. lažna faza

1. lažna faza							
Varijable	AS	MED	MIN	MAX	SD.	SKEW	KURT
TNSINIS	3,9	4	1	5	1,19	-1,71	3,71
TNSINDI	3,6	4	3	4	0,51	-0,48	-2,28
TUSIUSTR	2,8	3	1	4	0,78	-1,29	2,98
TUSDIIS	2,2	2	1	3	0,78	-0,41	-1,07
TMSTNIUS	1,7	1,5	1	4	0,94	1,72	3,53
TNSSNDI	1,6	1	1	4	1,07	1,69	1,86

N = 10, TNSINIS - težište na stranu iskoračne noge, iskorak u stranu, TNSINDI - težište na stranu iskoračne noge, dijagonalni iskorak, TUSIUSTR - težište u sredini, iskorak u stranu, TUSDIIS - težište u sredini, dijagonalni iskorak, TMSTNIUS - težište na stranu stajne noge, iskorak u stranu, TNSSNDI - težište na stranu stajne noge, dijagonalni iskorak, AS - aritmetička sredina, MED – medijan, MIN - minimalna vrijednost rezultata, MAX - maksimalna vrijednost rezultata, SD - standardna devijacija, SKEW - koeficijent asimetrije, KURT - koeficijent zakrivljenosti,

Varka jednostruke promjene smjera kretanja najučestalija je varka koja se koristi u rukometnoj igri. Istraživanje (Vulete i sur., 2007) pokazalo je da je varka jednostruke promjene smjera kretanja drugi najvažniji tehničko-taktički element od kojeg ovisi uspješnost igre srednjeg vanjskog napadača s ocjenom 4,89. Prva faza varke jednostruke promjene smjera kretanja je tzv. lažna faza. Eksperti su kao najvažniju odabrali varijantu s težištem na strani iskoračne noge i iskorakom u stranu s prosječnom ocjenom 3,90. Druga varijanta po važnosti je ona u kojoj se težište nalazi na strani iskoračne noge s dijagonalnim iskorakom s

prosječnom ocjenom 3,60. Cilj je lažnog dijela varke dovesti protivničkog braniča u zabludu glede napadačevog smjera kretanja. Lažna je faza u pravilu naglašeno uvjerljiva, jasno izražena i vremenski duža (Srhoj i sur., 1998). Zadaća joj je da navede obrambenog igrača na izbacivanje težišta tijela iz ravnotežnog položaja ili na kretanje braniča u željenom pravcu (Zvonarek, 2003). Uvjerljivost lažne faze varke očituje se vjerodostojnim kretanjem cijelog tijela u lažnom smjeru. Varka treba biti izvedena neočekivano u situaciji kada se uoči braničeva trenutna nesprijetnost te nedovoljna angažiranost i motiviranost u obavljanju obrambene aktivnosti. Kvalitetnije je i svrsishodnije lažnu fazu varke jednostruke promjene smjera izvoditi paralelnim iskorakom u stranu jer se kraćim putem ostvaruje veći odmak od obrambenog igrača. Ovakvom izvedbom stvaraju se kvalitetni preduvjeti za odlazak u stvarnu (izvršnu) fazu.

Dobiveni rezultati za stvarnu (izvršnu) fazu varke jednostruke promjene smjera kretanja u tablici 24 ukazuju da varijanta 3 s prosječnom ocjenom 3,80 najviše odgovara idealnoj izvedbi prema mišljenju eksperata. Navedena varijanta opisuje ovu fazu na način da noga sukladna izbačajnoj ruci vrši kratki paralelni iskorak u stranu, nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši dijagonalni iskorak naprijed.

Tablica 24. Osnovni deskriptivni parametri za element varku jednostruke promjene smjera kretanja - 2. stvarna (izvršna) faza

2.stvarna (izvršna) faza							
Varijable	AS	MED	MIN	MAX	SD.	SKEW	KURT
KSIDMN	3,6	4	1	5	1,17	-1,6	2,1
KSIRSN	3,4	4	1	4	0,97	-2	4,2
KSIZDI	3,8	3,5	3	5	0,92	0,5	-1,8
KSISIN	2,1	2	1	3	0,57	0,1	1,5
KSUSIR	2	2	1	3	0,82	0	-1,4
KSIDNP	1,8	2	1	3	0,79	0,4	-1,1

N = 10, **KSIDMN** - noga suprotna izbačajnoj ruci vrši kretanje dijagonalno naprijed dok suprotna noga miruje, **KSIRSN** - noga suprotna izbačajnoj ruci vrši rotaciju stopala i dijagonalni iskorak naprijed dok suprotna noga miruje, **KSIZDI** - noga sukladna izbačajnoj ruci vrši kratki paralelni iskorak u stranu, nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši dijagonalni iskorak naprijed, **KSISIN** - noga sukladna izbačajnoj ruci izvodi iskorak dijagonalno naprijed, nakon čega i noga suprotna izbačajnoj ruci također vrši dijagonalni iskorak naprijed, **KSUSIR** - provedba sunožnog odraza u stranu, nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed, **KSIDNP** - noga sukladna izbačajnoj ruci vrši korak dijagonalno unatrag, nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed, **AS** - aritmetička sredina, **MED** – medijan, **MIN** - minimalna vrijednost rezultata, **MAX** - maksimalna vrijednost rezultata, **SD** - standardna devijacija, **SKEW** - koeficijent asimetrije, **KURT** - koeficijent zakrivljenosti,

Promatrana varijanta opisana je u rukometnim publikacijama (Vučinić, 1977; Malić, 1999) te se kao takva uglavnom koristi u obuci rukometaša. Izvršna faza za protivnika mora biti iznenadna i munjevita. Izvodi se maksimalnom brzinom u suprotnom smjeru kako protivnički branič, koji je reagirao na lažnu fazu, ne bi bio u mogućnosti zaustaviti napadača. Izvršna faza varke jednostruke promjene smjera kretanja mora biti kontrolirana tako da u konačnici ima više rješenja, ovisno o reakciji protivnika i reakciji braniča. Isto tako, ova faza mora biti racionalna da se ne gubi vrijeme i prostor. Ulazak u zadnji korak prije realizacije mora biti agresivan i brz da mogući kontakt s braničem ne utječe na ravnotežni položaj napadača.

## 10.4. Usporedba kinematičkog modela vrhunskih igrača i hipotetskog ekspertnog modela za element tehnike skok šut

Usporedba kinematičkog modela skok šuta vrhunskih rukometaša i hipotetskog ekspertnog modela moguća je samo na istoj mjernoj skali, stoga je kinematički model na ordinalnoj skali. Normizacija ocjena za pojedinu varijablu  $NO(i)$  provedena je relacijom:

$$NO(i) = 1 + \frac{f(i) \times 4}{\max f}$$

gdje je :

$f(i)$  - pojavljivanje  $i$ -te varijable

$\max f$  - najveća zabilježena frekvencija među svim varijablama.

Temeljem kinematičke analize utvrđene su granične vrijednosti koje definiraju pojedine razrede za potrebe komparacije s ekspertnom procjenom.

U tablici 25 zapisane su frekvencije za svaku od varijanti koje su izveli vrhunski rukometaši, normirane ocjene izračunate preko formule te prosječna ocjena eksperata izračunata preko upitnika.

Tablica 25. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za fazu zaleta skok šuta

Opis varijante	ZKNSIR	ZKNSUIR	ZDZKNSIR	ZDZKNUIR	ZTZKNSIR	ZTZKNSUIR
Frekvencije	3	0	12	0	0	0
Normirane frekvencije	2,00	1	5,00	1	1	1
Ocjena eksperata	<b>3,60</b>	<b>1,60</b>	<b>3,70</b>	<b>2,40</b>	<b>4,30</b>	<b>2,30</b>

ZKNSIR - zalet korakom noge suprotne izbačajnoj ruci, ZKNSUIR - zalet korakom noge sukladnoj izbačajnoj ruci, ZDZKNSIR - zalet dvokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci, ZDZKNUIR - zalet dvokorakom sa završnim korakom noge sukladnoj izbačajnoj ruci, ZTZKNSIR - zalet trokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci, ZTZKNSUIR - zalet trokorakom sa završnim korakom noge sukladne izbačajnoj ruci

Rezultati u prethodnim izračunima pokazuju da vrhunski rukometaši u fazi zaleta elementa skok šuta prosječno izvode 1,79 koraka. Kada se ovi podatci normiraju, dobijemo najveću ocjenu (5) za varijantu kada se zalet vrši dvokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci. Već je navedeno da su eksperti najvećom ocjenom (4,30) označili varijantu u kojoj igrači izvode zalet trokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci. Činjenica je, međutim, da vrhunski rukometaši niti jednim pokušajem nisu izveli zalet

trokorakom što je s ekspertne strane ocijenjeno najpravičnijom i tehnički najsvrhovitijom varijantom. Razlog tome je što su vrhunski rukometaši utrenirani do faze automatizma da zalet izvode u kraćem vremenskom periodu sa što manje koraka. Naime, suvremeni zahtjevi rukometne igre onemogućavaju igračima provedbu sporijih i dugotrajnih kretnji, već isključivo brzih i kratkotrajnih. Zbog agresivnog djelovanja protivničke obrane, kod napadača je prisutan stalni deficit prostora i vremena što ga prisiljava na što kraću pripremu udarca, odnosno šutiranje iz što kraćeg zaleta. Stoga zalet bez lopte mora biti dominantan i sve je važniji u suvremenom rukometu (Marczinka, 1993; Marques i sur., 2006, Granados i sur., 2007).

Tablica 26 prikazuje normirane frekvencije i ekspertne ocjene za drugu fazu odraza.

Tablica 26. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za fazu odraza skok šuta

Opis varijante	OPNSIR	OPNSKIR	OVPSNIR	OVPSKIR	SOPPS	SOVSPS
<b>Frekvencije</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Normirane frekvencije</b>	1,28	1	5,00	1	1	1
<b>Ocjena eksperata</b>	<b>3,20</b>	<b>1,80</b>	<b>4,60</b>	<b>2,20</b>	<b>2,00</b>	<b>1,90</b>

OPNSIR - odraz s prstiju noge suprotne izbačajnoj ruci, OPNSKIR - odraz s prstiju noge sukladne izbačajnoj ruci, OVPSNIR - odraz valjanjem od pete prema prstima noge suprotne izbačajnoj ruci, OVPSKIR - odraz valjanjem od pete prema prstima noge sukladne izbačajnoj ruci, SOPPS - sunožni odraz s prstiju iz paralelnog stava, SOVSPS - sunožni odraz s valjanjem stopala iz paralelnog stava

Rezultati pokazuju da najveći broj ponavljanja igrači izvode na način da vrše odraz valjanjem od pete prema prstima noge suprotne izbačajnoj ruci (14 frekvencija). Kada se frekvencije normiraju (5,00), vidljivo je da su u suglasju s ekspertima (4,60). Ovakav je način provedbe odraza biomehanički najučinkovitiji što potvrđuju brojna istraživanja biomehanike hoda (Moeslund i sur., 2006; Baker i sur., 2009). Iskustvo u radu s mlađim dobnim skupinama rukometaša govori da kod djece dolazi do većeg broja nepravilnih odraza jer preskaču fazu valjana od pete prema prstima te odmah izvode odraz s prstiju, ili što je još nepravilnije, ponekad odraz vrše samo s pete. Rad na korekciji odraza od iznimne je važnosti u mlađim dobnim skupinama kako bi djecu uputili na pravilnu biomehaničku strukturu kretanja.

Najveći broj frekvencija dobivenih kinematičkom analizom za 3. fazu elementa skok šuta (let) zabilježen je za varijantu gdje rukometaši imaju trup nagnut prema naprijed s dijagonalno postavljenim ramenima (15 frekvencija). Normiranjem frekvencija za ovu varijantu izvedbe, dolazi se do maksimalne ocjene (5,00). Ekspertna procjena za ovu varijantu je 3,80, dok je



najveća prosječna ocjena eksperata (4,50) za varijantu u kojoj je trup uspravan s dijagonalno postavljenim ramenima (tablica 27).

Tablica 27. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za fazu leta skok šuta

Opis varijante	KTNA <sup>PR</sup>	KTND <sup>PR</sup>	KTUP <sup>PR</sup>	KTDP <sup>OR</sup>	KTNR <sup>PR</sup>	NPND <sup>PR</sup>
Frekvencije	0	15	0	0	0	0
Normirane frekvencije	1	5,00	1	1	1	1
Ocjena eksperata	2,40	3,80	2,60	4,50	1,50	1,60

KTNA<sup>PR</sup> - trup nagnut prema naprijed s paralelnim postavljanjem ramena, KTND<sup>PR</sup> - trup nagnut prema naprijed s dijagonalnim postavljanjem ramena, KTUP<sup>PR</sup> - trup uspravan s paralelnim postavljanjem ramena, KTDP<sup>OR</sup> - trup uspravan s dijagonalnim postavljanjem ramena, KTNR<sup>PR</sup> - trup nagnut prema natrag s ravnim paralelnim postavljanjem ramena, NPND<sup>PR</sup> - trup nagnut prema natrag s dijagonalnim postavljanjem ramena

Matematičkim izračunom napravljene su granične vrijednosti za kut trupa i kut ramena kako bi rezultati kinematičke analize mogli biti uspoređeni s ekspertnom procjenom. Tako je kut trupa bio podijeljen u tri granične vrijednosti ( $0^0$  -  $80,00^0$  trup nagnut prema naprijed,  $80,01^0$  -  $95,00^0$  trup uspravan i  $95,01^0$  -  $180,00^0$  trup nagnut prema natrag). Kut ramena analiziran je kroz dva parametra koja su se mogla usporediti s upitnikom koji su ispunjavali eksperti. Promatrani parametri kretali su se u graničnim vrijednostima za kut ramena ( $180,00^0$  -  $190,00^0$  paralelna ramena,  $179,99 \leq \dots$  dijagonalno postavljena ramena). Ovako dobiveni rezultati upućuju na činjenicu da su vrhunski rukometaši istrenirani da u fazi leta imaju dijagonalno postavljena ramena kako bi bili zaštićeni u odnosu na obrambenog igrača. Postavljanje ramena i ruke suprotne izbačajnoj ruci koja gradi igrača u odnosu na protivničkog braniča, omogućava nesmetano kretanje cijelog kinematičkog lanca za element skok šut. Položaj ruke s loptom i rame izbačajne ruke odvođe se u zaručenje, tako da je suprotno rame istureno prema naprijed, a trup uspravan, čime se ostvaruju preduvjeti neometanom upućivanju udarca na gol.

Rezultati ekspertne procjene, kao i parametri dobiveni kinematičkom analizom, nedvojbeno upućuju na nužnost dijagonalno postavljenih ramena te uspravnog ili prema naprijed nagnutog trupa u fazi leta skok šuta. Ovakav položaj trupa i ramena osigurava najpovoljnije biomehaničke osnove za učinkovitu provedbu udarca, prije svega dužinu i sukcesivnost kinematičkog lanca izbačajnog pokreta.

Rezultati u tablici 28 pokazuju da je najveći broj frekvencija zabilježen za varijantu u kojoj se lakat izbačajne ruke nalazi iznad ramena s pretjecanjem lakta (12 frekvencija). Rezultati ekspertne procjene u visokom su suglasju s rezultatima kinematičke analize (4,10).

Tablica 28. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za fazu izbačaja skok šuta

Opis varijante	LIRIRPL	LIRIBPL	LIRURPL	LIRURBPL	LIRIRPPL	LIRIRBPL
Frekvencije	12	0	3	0	0	0
Normirane frekvencije	5,00	1	2,00	1	1	1
Ocjena eksperata	4,10	3,60	3,20	3,20	1,80	1,80

LIRIRPL - lakat izbačajne ruke iznad razine ramena s pretjecanjem lakta, LIRIBPL - lakat izbačajne ruke iznad razine ramena bez pretjecanja lakta, LIRURPL - lakat izbačajne ruke u razini ramena s pretjecanjem lakta, LIRURBPL - lakat izbačajne ruke u razini ramena bez pretjecanja lakta, LIRIRPPL - lakat izbačajne ruke ispod razine ramena s pretjecanjem lakta, LIRIRBPL - lakat izbačajne ruke ispod razine ramena bez pretjecanja lakta

Kinematička je analiza obuhvatila položaj lakta u nekoliko faza, a to su: varijante kada se lakat nalazi iznad ramena ( $5,00^0 - 45,00^0$ ), lakat u razini ramena ( $0,00^0 - 4,99^0$ ) i lakat ispod razine ramena ( $359,99^0 \leq \dots$ ) te varijantu u kojoj dolazi do pretjecanja lakta ( $180^0 \leq \dots$ ) ili onu u kojoj ne dolazi do pretjecanja lakta ( $180,01^0 \geq \dots$ ). Kut nadlaktice izračunat je preko markera koji su postavljeni na točkama ramena i lakta izbačajne ruke u odnosu na horizontalnu ravninu. Pretjecanja lakta analizirano je s kutom nadlaktice u odnosu na frontalnu ravninu koja je definirana ramenom osovinom. Kinematička analiza na uzorku vrhunskih rukometaša pokazala je da ova kvalitativna skupina ispitanika u prosjeku pravilno izvodi fazu izbačaja za element skok šut. Lakat izbačajne ruke koji se nalazi iznad razine ramena, kao i pretjecanje lakta u fazi izbačaja, važan su preduvjet brzom, preciznom i eksplozivnom šutu prema protivničkom голу. Ovakva je varijanta izbačaja najbolje ocijenjena po kinematičkoj analizi i ekspertnoj procjeni zbog toga što se ovakvim načinom šutiranja na gol stvara povoljan završetak kinematičkog lanca koji na kraju projicira maksimalnu brzinu u zglobovima šake izbačajne ruke.

Doskok je posljednja promatrana faza elementa skok šuta koja po svojoj važnosti za ukupnu izvedbu ovog elementa ima najmanje značenje (Zvonarek, 1997; Pori, 2005). Rukometni eksperti doskok sagledavaju kao fazu amortizacije cijelog tijela koje radi dodir s podlogom. Isto tako, on omogućava sigurno prizemljenje igrača nakon skoka koji prema dobivenim rezultatima u ovom istraživanju može doseći visinu i od 57 cm. Radi se o fazi u kojoj igrači imaju najveći broj ozljeda zbog velikih sila koje djeluju na tijelo. Posebice velika opasnost nastaje u slučaju dodira obrambenog igrača u fazi leta kada igrač gubi ravnotežu i prizemljenje postaje nekontrolirano. Isto tako, kod doskoka dolazi do nepravilne rotacije stopala prilikom amortizacije te ona bivaju postavljena u krivom smjeru što izaziva velika opterećenja na skočnom zglobovima i zglobovima koljena.

U tablici 29 prikazane su frekvencije koje su zabilježene kod ispitanika, odnosno način doskoka u varijantama koje su promatrane i prilikom ekspertne procjene. Doskok na odraznu nogu, kao i doskok na obje noge istovremeno u paralelan stav, najčešći su načini amortizacije kod vrhunskih rukometaša sa zabilježenih 7 frekvencija. Normiranjem frekvencija za izvedbu ove faze elementa skok šuta dobivena je vrijednost 5,00 koja je u značajnom suglasju s ocjenom eksperata (4,20) za varijantu doskoka na odraznu nogu. Razlika koja se može vidjeti iz dobivenih rezultata jest za doskok na obje noge istovremeno u paralelan stav gdje je slaba usuglašenost između eksperata i kinematičke analize na uzorku vrhunskih rukometaša. Razlog ovako dobivenog rezultata kinematičkom analizom (7 frekvencija) jest u činjenici da se istraživanje provodilo u laboratorijskim uvjetima, a ne u stvarno-natjecateljskim uvjetima te su igrači na ležerniji način izveli fazu doskoka. Biomehanički sagledavajući, doskok je logičnije izvesti na odraznu nogu jer se u letu zamašna noga nalazi pogrčena u zglobu koljena te je udaljenija od odrazne. Centar težišta tijela doskokom na odraznu nogu nalazi se bliže točki oslonca čime se ostvaruju preduvjeti za bolji ravnotežni položaj.

Tablica 29. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za fazu doskoka skok šuta

Opis varijante	DNON	DNZN	DOBNIPS	DDNNZNN	DDZNONZ	DONIŠPS
<b>Frekvencije</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Normirane frekvencije</b>	5,00	1,57	5,00	1	1	1
<b>Ocjena eksperata</b>	<b>4,20</b>	<b>2,10</b>	<b>2,40</b>	<b>3,20</b>	<b>2,10</b>	<b>2,30</b>

DNON - doskok na odraznu nogu, DNZN - doskok na zamašnu nogu, DOBNIPS - doskok na obje noge istovremeno u paralelan stav, DDNNZNN - doskok u dijagonalni stav s odraznom nogom naprijed te zamašnom nogom natrag, DDZNONZ - doskok u dijagonalni stav sa zamašnom nogom naprijed te odraznom nogom natrag, DONIŠPS - doskok na obje noge istovremeno u široki paralelni stav

Nakon usporedbe normiranih ocjena i prosječnih ocjena eksperata za element skok šut, provedena je ista analiza za element varku jednostruke promjene smjera kretanja, počevši od prve, lažne faze na uzorku vrhunskih rukometaša (tablica 30).

Tablica 30. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za lažnu fazu varke jednostruke promjene smjera kretanja

Opis varijante	TNSINIS	TNSINDI	TUSIUSTR	TUSDIIS	TMSTNIUS	TNSSNDI
<b>Frekvencije</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Normirane frekvencije</b>	5,00	1	3,66	1	1	1
<b>Ocjena eksperata</b>	3,90	3,60	2,80	2,20	1,70	1,60

**TNSINIS** - težište na stranu iskoračne noge, iskorak u stranu, **TNSINDI** - težište na stranu iskoračne noge, dijagonalni iskorak, **TUSIUSTR** - težište u sredini, iskorak u stranu, **TUSDIIS** - težište u sredini, dijagonalni iskorak, **TMSTNIUS** - težište na stranu stajne noge, iskorak u stranu, **TNSSNDI** - težište na stranu stajne noge, dijagonalni iskorak

Kako bi se napravila usporedba zabilježenih kinematičkih parametara i prosječnih ocjena koje su dobivene ekspertnom procjenom, analizirana su dva važna parametra, a to su pomicanje težišta tijela i iskorak noge suprotne izbačajnoj ruci. Izračun težišta tijela složen je proces u kojem kao prvi korak treba izračunati centar mase tijela koji je u visokoj korelaciji s težištem. Određivanje raspodjele mase ljudskog tijela i težišta tijela bilo je poznato prije nekoliko stoljeća. Prve metode uveo je Borelli (1608 – 1697), a kasnije Fischer i Braun (1889). Mnogo točnije rezultate u određivanju raspodjele mase ljudskog tijela i pripadajućih težišta utvrdio je Dempster (1961). Da bi se odredila masa dijelova ljudskog tijela, u ovome je radu primijenjena metoda Donskog i Zaciorskog (1979) prema kojoj se mase dijelova tijela računaju pomoću regresijske jednadžbe:

$$\mu = B_0 + B_1 M + B_2 h, \text{ kg}$$

gdje je  $\mu$  masa određenog dijela tijela u  $kg$ ,  $M$  je ukupna masa tijela u  $kg$ ,  $h$  je stojeća visina ispitanika u  $cm$ , a  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  su regresijski koeficijenti koji se za određeni dio tijela uzimaju iz tablice.

Kada se odredi početna točka centra težišta tijela, uspoređuje se s pomakom težišta tijela u završetku lažne faze varke jednostruke promjene smjera kretanja. Parametri pomicanja težišta tijela kod kinematičke analize definirani su tako da se mogu komparirati s ocjenama eksperata na način: težište na strani stajne noge  $0,00^\circ - 37,00^\circ$ , težište u sredini  $37,01^\circ - 74,00^\circ$ , težište na stranu iskoračne noge  $74,01^\circ - \geq 180,00^\circ$ . Isto tako za varijablu kut iskoračne noge u prostoru (**VKUTISKN**) napravljene su granične vrijednosti ( $0^\circ - 25^\circ$  za iskorak u stranu,  $25,01^\circ - 50,00^\circ$  za dijagonalni iskorak). Ovako postavljene granične vrijednosti sada se mogu uspoređivati što je analizom dobivenih podataka moguće vidjeti u tablici 30. Rezultati upućuju da ne postoje značajnije razlike između ekspertne procjene i rezultata dobivenih kinematičkom analizom. Varijanta u kojoj je težište na strani iskoračne noge s iskorakom u stranu po ekspertnoj je procjeni ocijenjeno s ocjenom 3,90, dok je ocjena dobivena kinematičkom analizom maksimalnih 5,00. Nedvojbeno je da je ovakav način izvedbe lažne faze tehnički najprilagodljiviji i najsvrhovitiji s kinematičkog gledišta.

Prva faza prilikom izvođenja varke svakako mora biti naglašena, dovoljno uvjerljiva i izražajna kako bi se pažnja i kretanje obrambenog igrača maksimalno usmjerilo u željenu stranu. Pomicanje noge suprotne izbačajnoj ruci mora biti u stranu kako obrambeni igrač ne bi bio u stanju doći do kontakta koji bi mogao zaustaviti napadača. Uvjerljivost lažne faze varke očituje se vjerodostojnim kretanjem cijelog tijela u lažnom smjeru.

Najčešće pogreške koje izvode igrači tijekom lažne faze jesu: prijevremeno kretanje u zalet, dolazak preblizu braniču, prijem lopte u prvom koraku, napadanje braniča a ne prostora, «tvrđi ulaz» nogom u lažnu fazu, nedovoljno spuštanje težišta tijela, ulaz u lažnu fazu varke pretklonom, fintiranje glavom i izostanak ravnotežne pozicije (Zvonarek, 2005).

Usporedba normiranih ocjena za kinematičku izvedbu i prosječnih ocjena eksperata provedena je za drugu, izvršnu fazu kod varke jednostruke promjene smjera kretanja na uzorku vrhunskih rukometaša (tablica 31).

Tablica 31. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za stvarnu (izvršnu) fazu varke jednostruke promjene smjera kretanja

Opis varijante	KSIDMN	KSIRSN	KSIZDI	KSISIN	KSUSIR	KSIDNP
Frekvencije	1	5	0	0	9	0
Normirane frekvencije	1,44	3,22	1	1	5,00	1
Ocjena eksperata	3,60	3,40	3,80	2,10	2,00	1,80

**KSIDMN** - noga suprotna izbačajnoj ruci vrši kretanju dijagonalno naprijed dok suprotna noga miruje, **KSIRSN** - noga suprotna izbačajnoj ruci vrši rotaciju stopala i dijagonalni iskorak naprijed dok suprotna noga miruje, **KSIZDI** - noga sukladna izbačajnoj ruci vrši kratki paralelni iskorak u stranu nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši dijagonalni iskorak naprijed, **KSISIN** - noga sukladna izbačajnoj ruci izvodi iskorak dijagonalno naprijed nakon čega i noga suprotna izbačajnoj ruci također vrši dijagonalni iskorak naprijed, **KSUSIR** - provedba sunožnog odraza u stranu nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed, **KSIDNP** - noga sukladna izbačajnoj ruci vrši korak dijagonalno unatrag nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed

Stvarna ili izvršna faza jednako je važan dio varke jednostruke promjene smjera kretanja koja za cilj ima iskoristiti prethodno lažno kretanje i dolazak u situaciju za neometanu realizaciju na gol.

U cilju usporedbe dobivenih kinematičkih parametara s varijantama koje su ocjenjivali eksperti, definirane su kategorije za dva kinematička parametra, a to su smjer drugog koraka i položaj stopala. Kategorije za smjer drugog koraka definirane su kao granične vrijednosti u

stupnjevima (dijagonalno natrag  $\dots \leq 360^{\circ}$ , u stranu  $00,01^{\circ} - 22,50^{\circ}$ , dijagonalno naprijed  $22,51^{\circ} - 45,00^{\circ}$ , ravno naprijed  $45,01^{\circ} - 90,00^{\circ}$ ). Položaj stopala noge suprotne izbačajnoj ruci definiran je kroz dvije kategorije u kojima je analizirano pomicanje, odnosno rotacija stopala s podlogom (bez rotacije pod kutom od  $90^{\circ}$  i s rotacijom stopala u parametrima  $\dots < 90^{\circ} > \dots$ ). Rezultati u tablici 31 pokazuju da postoje uočljive razlike u normiranim kinematičkim parametrima i ocjenama eksperata. Najveći broj frekvencija kod vrhunskih rukometaša zabilježeno je za varijantu gdje igrač izvodi sunožni odraz u stranu, nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed s normiranom ocjenom 5,00, dok je ocjena eksperata za ovu varijantu 2,00. Varijanta u kojoj noga suprotna izbačajnoj ruci vrši rotaciju stopala i dijagonalni iskorak naprijed, dok suprotna noga miruje, zabilježena je pet puta u eksperimentalnim uvjetima kod vrhunskih rukometaša te je normiranjem dobivena vrijednost 3,22, dok je za ovu varijantu ocjena eksperata iznosila 3,40.

Stvarna (izvršna) faza za protivnika mora biti iznenadna i maksimalno brza. Izvodi se u suprotnom smjeru kako protivnički branič, koji je reagirao na lažnu fazu, ne bi bio u mogućnosti zaustaviti napadača. Ova faza sažeta je u izvedbi drugog koraka varke. Uspješno izvedenom varkom napadaču se otvara put prema vratima koji ostvaruje trećim korakom. Važnost ove faze prepoznata je i opisana u brojnim znanstvenim i stručnim radovima (Tomljanović, 1982; Zvonarek, 2001, 2005; Foretić, 2007).

Na uzorku vrhunskih rukometaša pokazalo se da varka može biti izvedena na učinkovitiji i opasniji način koji otvara i dodatne mogućnosti u izvedbi ovog elementa, posebice u stvarnoj (izvršnoj) fazi. Ponekad je neracionalno i neučinkovito koristiti dva koraka kako bi se stekla prostorno-vremenska prednost, već se ista kretnja može izvesti samo jednim korakom. Drugu fazu varke jednostruke promjene smjera kretanja moguće je učinkovito izvesti na način da se ne pomiče noga sukladna izbačajnoj ruci, već se kretnja izvodi samo nogom suprotnom izbačajnoj ruci nakon iskoraka u stranu. Ovakvom kretnjom štedi se na jednom koraku koji može biti iskorišten u nadogradnji varke dodatnom kretnjom čime se dobiva na raznovrsnosti napada. Razlog rjeđeg korištenja varke na ovakav način u tome je što se drugim korakom u izvršnom dijelu pomicanjem noge sukladne izbačajnoj ruci stječe važnih dvadesetak centimetara prostora za zaobilaženje postavljenog braniča. Stoga je vrlo važno da igrač u napadu prepozna situaciju nakon lažnog dijela te sukladno položaju braniča pravovremeno i na najsvrhovitiji način reagira u izvršnom dijelu. Ako se branič dovoljno pomakne i reagira na lažni dio varke, napadač bi trebao reagirati s pomicanjem noge sukladne izbačajnoj ruci u stranu te dubokim trećim korakom nogom suprotnom izbačajnoj ruci u prostor. U drugoj

varijanti, ukoliko ne dođe do dovoljnog reagiranja obrambenog igrača u lažnom dijelu varke, napadač istu situaciju mora prepoznati te reagirati u skladu s predloženom varijantom u kojoj ne dolazi do pomicanja noge sukladne izbačajnoj ruci, već započetu kretanju u izvršnom dijelu nadograđuje nekom od drugih varki, npr. „veslanjem“ ili varkom dvostruke promjene smjera kretanja.

Najčešće pogreške koje izvode igrači tijekom lažne faze jesu: preširoko postavljena stopala prilikom ulaza u drugi korak, nesistematizirane sile u zajedničkom smjeru odraznog skočnog zgloba zamašne noge i pucačkog lakta, pasivnost zamašne ruke prema braniču, neravnotežni ulaz tijela i pucačke ruke u fazu realizacije, otvaranje pucačke ruke s loptom ispred i preblizu braniču, pasivan ulaz u treći korak prema голу i nepravovremenost u pucanju na gol ili dodavanju (Zvonarek, 2005).

S obzirom da postoje različiti načini provedbe lažnog dijela varke od strane vrhunskih igrača, koji su uz to i u nedovoljnoj suglasnosti s mišljenjem eksperata, nije moguće definirati i predložiti optimalan model izvedbe što podrazumijeva nastavak daljnjih istraživanja posebno u situacijsko-natjecateljskim uvjetima.

## 10.5. Povezanost ocjena eksperata i normiranih frekvencija dobivenih kinematičkom analizom kod vrhunskih rukometaša

Povezanost između ocjena eksperata i normiranih frekvencija koje su dobivene kinematičkom analizom utvrđena je Spearman-Brownovim koeficijentom rang korelacije s obzirom da obje varijable pripadaju ordinalnoj skali, a uzorak je  $n < 30$  (tablica 32).

Tablica 32. Izračun Spearman-Brownovog koeficijenta rang korelacije za element skok šut i varku jednostruke promjene smjera kretanja i ukupnu tehniku za oba elementa između ocjene eksperata i normiranih frekvencija dobivenih kinematičkom analizom na uzorku vrhunskih rukometaša

Skok šut		Varka jednostruke promjene smjera kretanja		Ukupna tehnika	
r	p	r	P	r	P
0,67	0,00	0,25	0,63	0,47	0,00

Spearman-Brownov koeficijent rang korelacije dobiven je formulom:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

$d$  = razlika između rangova istog ispitanika u dvije varijable

$n$  = broj ispitanika

Rezultati u tablici 32 pokazuju da je prisutna statistički značajna korelacija između rezultata kinematičke analize i ocjena eksperata ( $r = 0,67$ ;  $p = 0,00$ ) za element skok šut. Ovako dobiveni rezultati ukazuju na visoku podudarnost u ocjenama eksperata i zabilježenih varijanti provedbe kod vrhunskih rukometaša za element skok šut. Rezultat upućuje na činjenicu da su eksperti izabrani kvalitetnom selekcijom i da dobro poznaju parametre tehnike rukometne igre. Sukladno dobivenim rezultatima relacija između ekspertne procjene i kinematičke analize, nije moguće prihvatiti hipotezu **H<sub>03</sub>** o nepostojanju statistički značajne



povezanosti između kinematičkog modela kod vrhunskih igrača i hipotetskog ekspertnog modela za element tehnike skok šut.

Analiza rezultata za varku jednostruke promjene smjera kretanja ukazuje da ne postoji statistički značajna korelacija između ekspertne procjene i rezultata kinematičke analize kod vrhunskih rukometaša ( $r = 0,25$ ;  $p = 0,63$ ). Razloge svakako treba tražiti u različitosti provedbe izvršne faze ove varke. Logična je pretpostavka da su vrhunski igrači varku jednostruke promjene smjera kretanja prilagodili svome stilu igre i svojim antropološkim specifičnostima te je velika vjerojatnost da odstupaju od „idealne“ tehnike. Dobiveni rezultati ukazuju da je moguće prihvatiti hipotezu **H<sub>04</sub>** o nepostojanju statistički značajne povezanosti između kinematičkog i hipotetskog ekspertnog modela kod vrhunskih igrača za element tehnike varku jednostruke promjene smjera kretanja.

Kada se obračunom obuhvate oba elementa tehnike, dolazi se do statistički značajne korelacije između ocjena eksperata i rezultata kinematičke analize ( $r = 0,47$ ;  $p = 0,00$ ). Može se zaključiti da su eksperti u suglasju s izvedbom vrhunskih igrača u laboratorijskim uvjetima što je dobro polazište za definiranje optimalnog hibridnog modela izvedbe ovih elemenata, kao jednog od temeljnih ciljeva ovog istraživanja.

## 10.6. Usporedba kinematičkog i hipotetskog ekspertnog modela za element tehnike skok šut i varku jednostruke promjene smjera kretanja kod prvoligaških igrača

U tablici 33 prikazane su ocjene eksperata i normirane frekvencije za sve faze elementa tehnike skok šuta kod prvoligaških igrača.

Tablica 33. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za sve faze elementa skok šuta kod prvoligaških rukometaša

Opis varijante ZALET	ZKNSIR	ZKNSUIR	ZDZKNSIR	ZDZKNUIR	ZTZKNSIR	ZTZKNSUIR
Frekvencije	1	0	4	0	10	0
Normirane frekvencije	1,40	1	2,60	1	5,00	1
Ocjena eksperata	3,60	1,60	3,70	2,40	4,30	2,30
Opis varijante ODRAZ	OPNSIR	OPNSKIR	OVPSNIR	OVPSKIR	SOPPS	SOVSPS
Frekvencije	3	0	12	0	0	0
Normirane frekvencije	2,00	1	5,00	1	1	1
Ocjena eksperata	3,20	1,80	4,60	2,20	2,00	1,90
Opis varijante LET	KTNAPR	KTNDPR	KTUPPR	EKTDPOR	KTNRPR	NPNDPR
Frekvencije	0	15	0	0	0	0
Normirane frekvencije	1	5,00	1	1	1	1
Ocjena eksperata	2,40	3,80	2,60	4,50	1,50	1,60
Opis varijante IZBAČAJ	LIRIRPL	LIRIBPL	LIRURPL	LIRURBPL	LIRIRPPL	LIRIRBPL
Frekvencije	14	0	1	0	0	0
Normirane frekvencije	5,00	1	1,28	1	1	1
Ocjena eksperata	4,10	3,60	3,20	3,20	1,80	1,80
Opis varijante DOSKOK	DNON	DNZN	DOBNIPS	DDNNZNN	DDZNONZ	DONIŠPS
Frekvencije	5	0	10	0	0	0
Normirane frekvencije	3,00	1,57	5,00	1	1	1
Ocjena eksperata	4,20	2,10	2,40	3,20	2,10	2,30

U fazi zaleta rukometaši koji nastupaju u prvoj ligi najčešće su koristili trokorak sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci (10 frekvencija). Normirane frekvencije za ovu varijantu imaju vrijednost 5,00 što je u suglasju s najvećom ocjenom (4,30) koju su ovoj varijanti dodijelili eksperti. Dobiveni rezultati za fazu zaleta, kada se usporede s vrhunskim uzorkom rukometaša, nisu podudarni. Naime vrhunski rukometaši zalet izvode kroz jedan (3 frekvencije) ili najviše dva koraka (12 frekvencija). Ubrzanje rukometne igre kao i vremenska priprema za odlazak prema protivničkom голу prilagodili su vrhunske rukometaše da zalet izvedu brže i s manjim brojem koraka kako bi bili opasniji po protivnički gol.

Kao i u prethodnoj, i u fazi odraza su eksperti i zabilježene izvedbe u visokom suglasju. Najveći broj frekvencija zabilježen je za varijantu odraza valjanjem od pete prema prstima noge suprotne izbačajnoj ruci (12 frekvencija) gdje je normirana vrijednost 5,00. Eksperti su ovu varijantu ocijenili s prosječnom ocjenom 4,60 što potvrđuje svrhovitost i učinkovitost ove varijante odraza. Dobiveni rezultati na uzorku prvoligaških rukometaša gotovo su identični s vrhunskim igračima koji odraz izvode valjanjem od pete prema prstima (14 frekvencija). Igrači različitih kvalitativnih skupina pridržavaju se načela u kojem se stopalo prije kontakta s podlogom aktivno spušta odnosno “traži” tlo. Prilikom samog kontakta skočni zglobovi mora biti “mekan”, odnosno gibak i dopustiti peti kontakt s tlom. Pri tome dolazi do istežanja ahilove tetive koja amortizira i apsorbira silu slično opruzi. U koncentričnoj fazi pokreta, odnosno prilikom izguravanja i podizanja na prste oslonačne noge, apsorbirana sila se ispoljava. Kontakt stopala preko prstiju, aktivno istežanje ahilove tetive te naknadni udarac pete rezultira silom reakcije podloge koja s ispoljenom silom apsorbiranom u ahilovoj tetivi čini odraz efikasnijim.

Kod faze leta zamjetne su razlike između ekspertne procjene i rezultata kinematičke analize za prvoligaške rukometaše. Najveća je normirana frekvencija dobivena za varijantu gdje je trup nagnut prema naprijed s dijagonalno postavljenim ramenima (5,00). Eksperti su varijantu gdje je trup uspravan s dijagonalno postavljenim ramenima istakli kao najvažniju u fazi leta s ocjenom 4,50. Isti su rezultati zabilježeni i kod vrhunskih igrača što navodi na pretpostavku da su se prilikom ocjenjivanja eksperti vodili razmišljanjem o dijagonalnom postavljanju ramena dok su manju važnost davali položaju trupa koji u fazi leta ne bi trebao biti postavljen prema natrag.

Izbačaj je dio skok šuta koji je vremenski najkraći od svih promatranih faza. Dobiveni rezultati ukazuju na povezanost između ocjena eksperata i rezultata kinematičke analize.

Normirane frekvencije za fazu izbačaja najveće su za varijantu gdje je lakat izbačajne ruke iznad razine ramena s pretjecanjem lakta s vrijednošću 5,00, dok je za istu varijantu najveća prosječna ocjena eksperata 4,10. Evidentno je da je ovakav način izvedbe izbačaja najsvrhovitiji, kako prema mišljenju eksperata, tako i u realnim uvjetima, a to potvrđuju i rezultati dobiveni na uzorku vrhunskih rukometaša.

U rezultatima za fazu doskoka zamjetna je razlika između ekspertne procjene i normiranih frekvencija kinematičke izvedbe kod prvoligaških rukometaša. Tako je najveći broj frekvencija zabilježen za varijantu doskoka na obje noge istovremeno u paralelan stav (10 frekvencija). Normirana vrijednost za ovu varijantu je 5,00, dok je prosječna ocjena eksperata 2,40. Ostalih pet frekvencija zabilježeno je za varijantu doskoka na odraznu nogu te je dobivena prosječna vrijednost 3,00 koja je u suglasju s rezultatom ekspertne procjene (4,20). Dobiveni rezultati za fazu doskoka u usporedbi s vrhunskim rukometašima ukazuju da igrači najčešće doskok izvode na odraznu nogu ili na obje noge istovremeno u paralelan stav što je posljedica istraživanja koje je provedeno u laboratorijskim, a ne u natjecateljskim uvjetima.

Rezultati u tablici 34 prikazuju normirane frekvencije kinematičke analize te prosječne ocjene eksperata za sve faze varke jednostruke promjene smjera kretanja kod prvoligaških rukometaša.

Tablica 34. Normirane frekvencije i ekspertne ocjene za sve faze elementa varke jednostruke promjene smjera kretanja kod prvoligaških rukometaša

<b>Opis LAŽNA FAZA</b>	<b>TNSINIS</b>	<b>TNSINDI</b>	<b>TUSIISTR</b>	<b>TUSDIIS</b>	<b>TMSTNIUS</b>	<b>TNSSNDI</b>
<b>Frekvencije</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Normirane frekvencije</b>	3,00	5,00	1,50	1	1	1
<b>Ocjena eksperata</b>	<b>3,90</b>	<b>3,60</b>	<b>2,80</b>	<b>2,20</b>	<b>1,70</b>	<b>1,60</b>
<b>Opis IZVRŠNA FAZA</b>	<b>KSIDMN</b>	<b>KSIRSN</b>	<b>KSIZDI</b>	<b>KSISIN</b>	<b>KSUSIR</b>	<b>KSIDNP</b>
<b>Frekvencije</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Normirane frekvencije</b>	2,33	1,66	5,00	4,33	1,66	1
<b>Ocjena eksperata</b>	<b>3,60</b>	<b>3,40</b>	<b>3,80</b>	<b>2,10</b>	<b>2,00</b>	<b>1,80</b>

Kod lažne faze zabilježeno je najviše frekvencija (8) za varijantu s težištem tijela na strani iskoračne noge i dijagonalnim iskorakom. Normirana frekvencija za promatranu varijantu je 5,00, dok je prosječna ocjena eksperata 3,60. Najviša prosječna ocjena eksperata lažne faze je 3,90 za varijantu s težištem tijela na strani iskoračne noge i iskorakom u stranu. Za ovu su varijantu kod prvoligaških rukometaša zabilježene 4 frekvencije s normiranom vrijednošću 3,00. Dobiveni rezultati ukazuju da prvoligaški rukometaši odstupaju od postavljenih kriterija ekspertne procjene te da dijagonalnim iskorakom dolaze blizu kontakta s obrambenim igračem što svakako treba izbjeći zbog mogućnosti zaustavljanja napadača. Da bi varka bila učinkovita, kod zaleta razmak između braniča i napadača treba biti od 4 do 6 m. Tijekom provedbe lažnog dijela varke razmak između igrača mora biti oko 1,5 m. Prilikom ulaska i izlaska iz lažne faze varke jednostruke promjene smjera kretanja napadač ne smije ući u područje dohvata braničevih ruku. Temeljem ovako postavljenih kriterija stječu se povoljni preduvjeti za učinkovito započinjanje stvarne (izvršne) faze.

Rezultati izvršne faze varke jednostruke promjene smjera kretanja kod prvoligaških rukometaša upućuju da najveći broj frekvencija (6) bilježi varijanta gdje noga sukladna izbačajnoj ruci vrši kratki paralelni iskorak u stranu nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci izvodi dijagonalni iskorak naprijed. Normirana frekvencija za ovu varijantu je 5,00, dok je prosječna ocjena eksperata 3,80 što je ujedno i najveća zabilježena ocjena. Najuočljivija razlika u rezultatima prisutna je kod varijante gdje noga sukladna izbačajnoj ruci izvodi iskorak dijagonalno naprijed, nakon čega i noga suprotna izbačajnoj ruci također vrši dijagonalni iskorak naprijed. Normirana frekvencija za kinematičku izvedbu iznosi 4,33, dok je prosječna ocjena eksperata 2,10. Dobiveni rezultati ukazuju da prvoligaški rukometaši izvode ovu fazu s nedostatnim prostornim odmakom od potencijalnog braniča. Vjerojatno je ovakav rezultat posljedica samog testiranja koje nije provedeno u stvarnim – situacijskim uvjetima, odnosno nije bilo prisustva obrambenog igrača koji bi mogao potakao napadača na drugačiju kretanju u izvršnom dijelu varke.

## 10.7. Povezanost ocjena eksperata i normiranih frekvencija dobivenih kinematičkom analizom kod prvoligaških rukometaša

Rezultati u tablici 35 ukazuju na visoku korelaciju ( $r = 0,88$ ;  $p = 0,05$ ) između ekspertnog modela i normiranog kinematičkog modela za element skok šut kod prvoligaških rukometaša.

Tablica 35. Izračun Spearman-Brownovog koeficijenta rang korelacije za element skok šut i varku jednostruke promjene smjera kretanja i ukupnu tehniku za oba elementa između ocjene eksperata i normiranih frekvencija dobivenih kinematičkom analizom na uzorku prvoligaških rukometaša

Skok šut		Varka jednostruke promjene smjera kretanja		Ukupna tehnika	
r	p	r	P	r	P
0,88	0,05	0,61	0,01	0,59	0,00

Uzorak rukometaša koji nastupaju u prvoj ligi u velikoj mjeri izvodi element skok šut sukladno hipotetskom empirijskom modelu. Ovako dobiveni rezultat očekivan je s obzirom na to da se radi o elementu s kojim se eksperti često susreću te mogu najbolje prepoznati tehničku pravilnost izvedbe. Radi se o najutilitarnijem elementu koji se koristi u završnici realizacije na gol (Apitzs i sur., 1997; Taborsky, 2012). Treneri u trenažnom procesu dosta vremena provode na korekciji izvedbe ovog elementa te su igrači koji dođu do razine prvoligaškog rukometa dovoljno tehnički obrazovani da ovaj element izvedu u skladu s osnovnim kinematičkim parametrima. Stoga se, prema dobivenim izračunima, ne prihvaća hipoteza **H<sub>05</sub>** koja pretpostavlja nepostojanje statistički značajne povezanosti između kinematičkog modela izvedbe tehnike skok šuta i hipotetskog ekspertnog model kod prvoligaških igrača.

Usporedba normiranog kinematičkog i ekspertnog modela za varku jednostruke promjene smjera kretanja pokazuje da postoji visoka i statistički značajna korelacija ( $r = 0,61$ ;  $p = 0,01$ ). Prvoligaški rukometaši varku jednostruke promjene smjera kretanja izvode na način da nema velikih odstupanja od hipotetski „idealne“ tehnike kao što je to bilo u analizi kod vrhunskih rukometaša. Sukladno dobivenim rezultatima, nije moguće prihvatiti hipotezu **H<sub>06</sub>** koja podrazumijeva izostanak statistički značajne povezanosti između kinematičkog modela

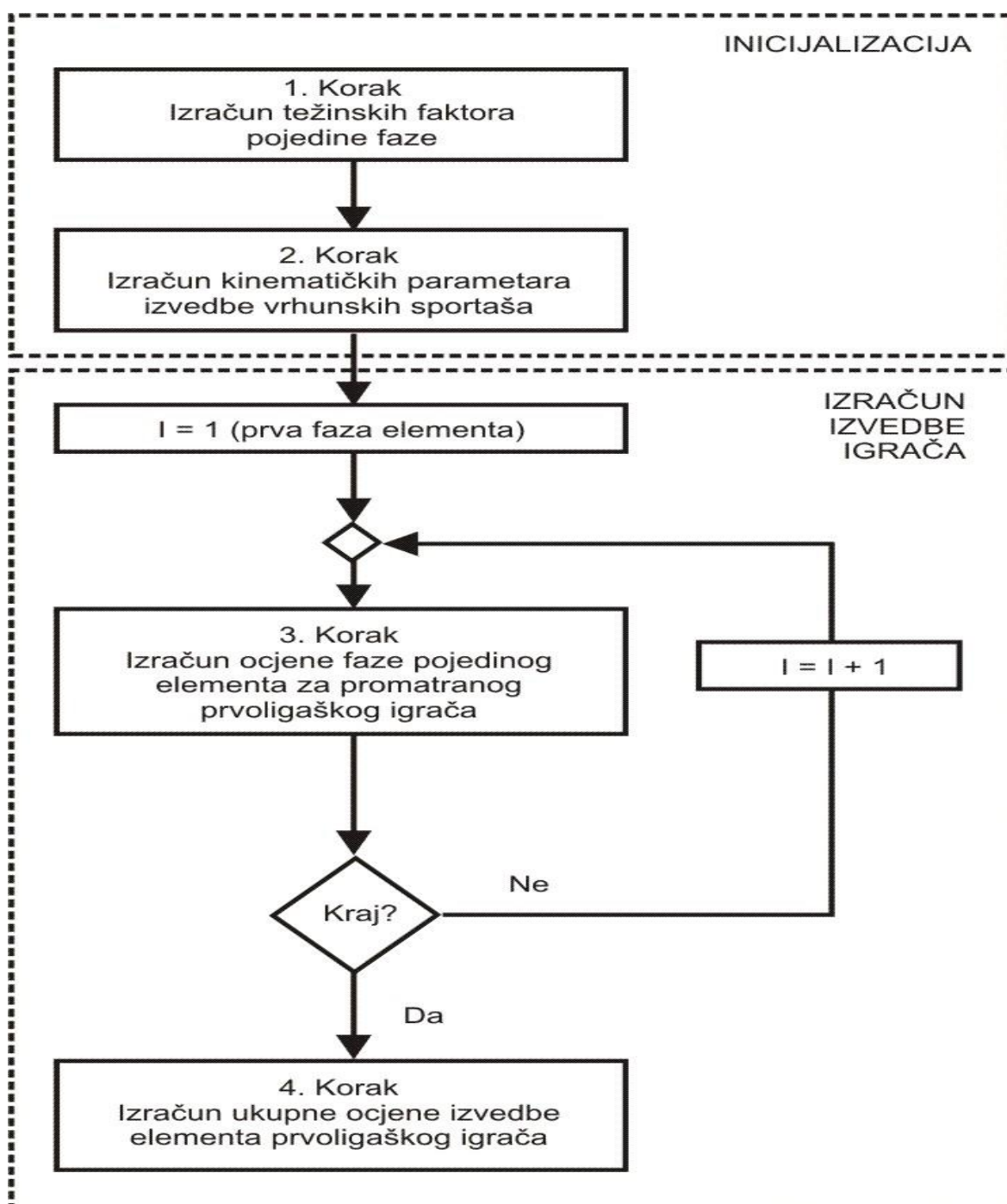
izvedbe elementa tehnike varke jednostruke promjene smjera kretanja i hipotetskog ekspertnog modela kod prvoligaških igrača.

U konačnici, kada se usporedi tehnička izvedba zajedno za elemente skok šut i varku jednostruke promjene smjera kretanja kod prvoligaških rukometaša s ekspertnim modelom, dobivena je visoka i statistički značajna korelacija ( $r = 0,59$ ;  $p = 0,00$ ). Prema dobivenim rezultatima, može se zaključiti da rukometaši koji igraju u prvoj ligi izvode promatrane elemente tehnički ispravno, sukladno ekspertnom modelu.

## 11. ALGORITAM ZA AUTOMATSKU OCJENU IZVEDBE

U ovom poglavlju predstavljen je prijedlog algoritma (shematski prikaz) za automatsku ocjenu izvedbe što je vidljivo u tablici 36.

Tablica 36. Prijedlog matematičkog algoritma za automatsku ocjenu izvedbe „SHEMA“





Sva prethodno obavljena testiranja kinematičkih parametara na uzorku vrhunskih i prvoligaških rukometaša, kao i ekspertna analiza za element skok šut i varku jednostruke promjene smjera kretanja, temeljni su elementi u konstrukciji matematičkog algoritma. Svrha konstrukcije matematičkog algoritma dvojaka je te se primarno odnosi na objektivno ocjenjivanje izvedbe dvaju elemenata tehnike bez subjektivne procjene ispitivača, dok je sekundarna značajka da se u budućnosti konstruira softverski sustav koji će omogućiti profesorima, trenerima i znanstvenicima da putem snimki objektivno procijene izvedbu motoričkog kretanja te moguću korekciju tehnike izvedbe.

**Inicijalizacijska faza** provodi se u dva koraka.

**Prvi korak** u izradi matematičkog algoritma jest određivanje težinskog faktora za svaku od faza elementa skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja. Težinski faktori izračunati su preko upitnika koji je riješilo 10 vrhunskih rukometnih eksperata koji su trebali utvrditi važnost svake faze za elemente skok šut i varku jednostruke promjene smjera kretanja u ukupnoj izvedbi cijelog elementa na Likertovoj skali od 1 do 5. Izračun težinskog faktora za svaku fazu napravljen je na način da je izračunata aritmetička sredina ekspertne procjene važnosti svake faze koja je podijeljena sa sumom aritmetičkih sredina svih faza elementa. Suma izračunatih težinskih vrijednosti svih faza elementa iznosi 1.

**Drugi korak** podrazumijeva izračunavanje kinematičkih parametara izvedbe vrhunskih rukometaša. Vrijednosti koje se računaju jesu: srednja vrijednost, standardna devijacija i omjer standardne devijacije STD i srednje vrijednosti  $O\_STD\_SV$  za svaku promatranu (mjerenu) varijablu elementa.

Faza izračuna provodi se za svako konkretno mjerenje pojedinog igrača (u ovom slučaju prvoligaškog). Provodi se u trećem (podijeljen u četiri dijela) i četvrtom koraku koji su opisani u nastavku.

**Faza izračuna izvedbe igrača** provodi se u dva koraka, a nalazi se u trećem i četvrtom koraku cijele procedure:

**Treći korak** umetanjem izmjerenih kinematičkih parametara izvedbe elementa prvoligaških rukometaša izračunava se:

a) odstupanje svake mjerene varijable pojedine faze izvedbe od srednje vrijednosti te faze izvedbe za vrhunske igrače (izračunate u drugom koraku inicijalizacijske faze)

b) omjer odstupanja i srednje vrijednosti te faze izvedbe za vrhunske igrače (izračunate u drugom koraku inicijalizacijske faze) -  $O\_OD\_SV$

c) pretek standardne devijacije ( $PRE\_STD$ ) za svaku promatranu varijablu unutar faze elementa, relativni pretek ( $REL\_PRE$ ) te ukupni relativni pretek ( $UK\_REL\_PRE$ ).  $PRE\_STD$  poprima vrijednost 0 ako je omjer standardne devijacije i srednje vrijednosti pojedine varijable izračunate za vrhunske igrače (drugi korak inicijalizacijske faze) veći od omjera odstupanja i srednje vrijednosti (b).

$$O\_STD\_SV > O\_OD\_SV$$

U protivnom,  $PRE\_STD$  predstavlja razliku između omjera odstupanja i srednje vrijednosti te omjera standardne devijacije i srednje vrijednosti.

$$PRE\_STD = O\_OD\_SV - O\_STD\_SV$$

Relativni pretek se izračunava kao omjer  $PRE\_STD$  i standardne devijacije za promatranu veličinu kod vrhunskih igrača  $STD$ .

$$REL\_PRE = PRE\_STD/STD$$

Ukupni relativni pretek izračunava se kao suma svih relativnih preteka  $REL\_PRE$  unutar pojedine faze izvedbe promatranog prvoligaškog igrača.

$$UK\_REL\_PRE = \sum_{1}^{n} REL\_PRE_i$$

gdje je

$i$  :  $i$ - ta promatrana veličina unutar jedne faze izvedbe

n : ukupan broj veličina jedne faze izvedbe

d) Izračunava se ocjena za pojedinu fazu (O\_FAZE) kao maksimalna moguća ocjena (5) umanjena za penalizaciju PENAL. Penalizacija se izračunava iz UK\_REL\_PRE pomnoženog s nekim faktorom K i omjerom broja veličina u kojima postoji pretek (N\_IMA\_PRET) s ukupnim brojem veličina u promatranoj fazi (n).

$$O\_FAZE = 5 - PENAL$$

$$PENAL = UK\_REL\_PRE * (N\_IMA\_PRET/n) * K$$

Faktor K predstavlja varijablu koja nam omogućava da podesimo koliko će se penalizirati odstupanja prilikom ove automatizirane procedure. U ovom radu su analizirane vrijednosti K = 1, K = 5, K = 10 te je odabrana vrijednost K = 1 kao vrijednost koja je rezultirala najvećom korelacijom kada se automatske ocjene usporede s ocjenama eksperata. Jednom odabrana vrijednost faktora K ne mijenja se u svim daljnjim izračunima.

**Četvrti korak.** Nakon izračunavanja ocjene svih faza pojedinog elementa, izračunava se i ukupna ocjena UK\_OCJ. Ukupna ocjena je izračunata kao suma ocjena svih faza pomnoženih s težinskim koeficijentom svake pojedine faze te dijeljenjem s ukupnim brojem faza tog elementa.

Napomena: Ukupna ocjena izračunata je za tri korekcijska koeficijenta K = 1, K = 5, K = 10. Kako bi se dobio što precizniji rezultat, napravljena je analiza s ekspertnom procjenom vrhunskih stručnjaka koji su na osnovi pregleda snimki izvedbe elemenata tehnike skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja ocijenili tehničku izvedbu ukupnog elementa, te je napravljena korelacija između ocjena eksperata i rezultata ukupne ocjene. Za konačni rezultat uzima se ocjena koja ima najveću korelaciju s ekspertnom procjenom.

Odabir vrijednosti korekcijskog koeficijenta „K“ napravljen je temeljem izračuna matrice korelacije između ekspertne procjene i ukupne ocjene dobivene za izvedbu cijelog elementa predloženim algoritmom. Trojica vrhunskih rukometnih eksperata na osnovi pregledanih snimki s testiranja ocijenili su cjelokupnu izvedbu za promatrane elemente skok šuta i varku jednostruke promjene smjera kretanja na oba subuzorka. Raspon ocjenjivanja za eksperte je bio od 1 do 5 (kao u algoritmu) s tim da su mogli ocijeniti i decimalnim iznosom kako bi se dobio veći i precizniji raspon ocjenjivanja. Izračun matrice korelacije ukazuje da je najveća povezanost u rezultatima između ocjene eksperata i ukupne ocjene za svaki element

izračunate preko ponuđenog algoritma za vrijednost korekcijskog koeficijenta 1. Najveća je korelacija između ekspertne procjene i ukupne ocjene izračunate preko algoritma za element skok šut za korekcijski koeficijent 1 ( $r = 0,88$ ) - slika 21. Isto tako, napravljen je izračun za varku jednostruke promjene smjera kretanja gdje je najveća korelacija dobivena za korekcijski koeficijent 1 ( $r = 0,89$ ) - slika 25.

## 11.1. Primjer konstrukcije matematičkog algoritma na uzorku jednog prvoligaškog rukometaša za element skok šut

Varijable	Deskriptivna Statistika							
	AS	Medijan	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Skewnes s	Kurtosis	Tež.faktor
ZALET	3,2	3	2	5	0,92	0,6	0,4	0,17
ODRAZ	4,2	4	4	5	0,42	1,78	1,41	0,22
LET	4,1	4	3	5	0,57	0,09	1,5	0,22
IZBAČAJ	4,7	5	4	5	0,48	-1,04	-1,22	0,25
DOSKOK	2,7	3	1	4	0,82	-0,81	1,24	0,14
TOT	18,9							1

$Tež.faktor=AS/TOT$

Ukupni težinski faktor iznosi 1.

Slika 16. Prvi korak - izračun težinskih faktora svake pojedine faze za element skok šut

1.FAZA -ZALET	IGRAČ	DUŽ 1 KOR	DUŽ 2 KOR	DUŽ 3 KOR	UKP DUŽ	PRSI DUŽ	PROSJEČNA	KINETIČKA	TRAJANJE
P.M		136,53	147,97	0	284,5	142,25	7,48	2685,61	0,38
P.M		145,7	148,96	0	294,66	147,33	5,89	1665,22	0,69
P.M		119,46	180,43	0	299,89	149,94	5,45	1425,72	0,58
U.V		115,22	166,93	0	282,15	141,07	5,87	1653,93	0,48
U.V		147,52	170,17	0	317,69	158,84	5,38	1389,33	0,59
U.V		126,64	161,84	0	288,48	144,24	6,13	1803,69	0,47
J.G		164,35	0	0	164,35	164,35	7,82	3424,53	0,21
J.G		176,43	176,71	0	353,14	176,57	5,6	1756,16	0,63
J.G		169,82	0	0	169,82	169,82	4,2	987,84	0,9
D.V		123,16	153,48	0	276,64	138,32	3,15	456,43	0,39
D.V		102,83	143,94	0	246,77	123,38	9,87	4481,17	0,25
D.V		129,72	152,41	0	282,13	141,06	6,71	2071,1	0,42
G.B		96,91	165,73	0	262,64	131,32	2,95	452,53	0,33
G.B		49,86	169,49	0	219,35	109,67	8,77	3999,47	0,25
G.B		168,9	0	0	168,9	168,9	11,26	6592,95	0,15
SRED. VR.		131,54	129,20	0,00	260,74	146,74	6,44	2323,05	0,45
STD		33,42	67,70	0,00	56,61	19,24	2,32	1669,53	0,20
PRVOLIGAŠ I.J.		118,73	183,45	180,74	482,92	160,97	4,87	1043,54	0,99
ODSTUPANJE		12,81	54,25	180,74	222,18	14,23	1,57	1279,51	0,54
ODST/SR.VR.		0,097362	0,419848	1	0,852108	0,096994	0,24324	0,550788	1,209821
STD/SR.VR.		0,254089	0,524006	1	0,217125	0,131099	0,359757	0,718681	0,454972
PRETEK STD		0	0	0	0,634983	0	0	0	0,754849
REL.PRETEK		0	0	1	0,011216	0	0	0	3,703369
UK.REL.PRETEK									4,714585
UK.VEL.		8							2
OCJENA FAZE 1 (5*TF):		3,821354		1	1				
KOEFICIENT:			1	5	10				

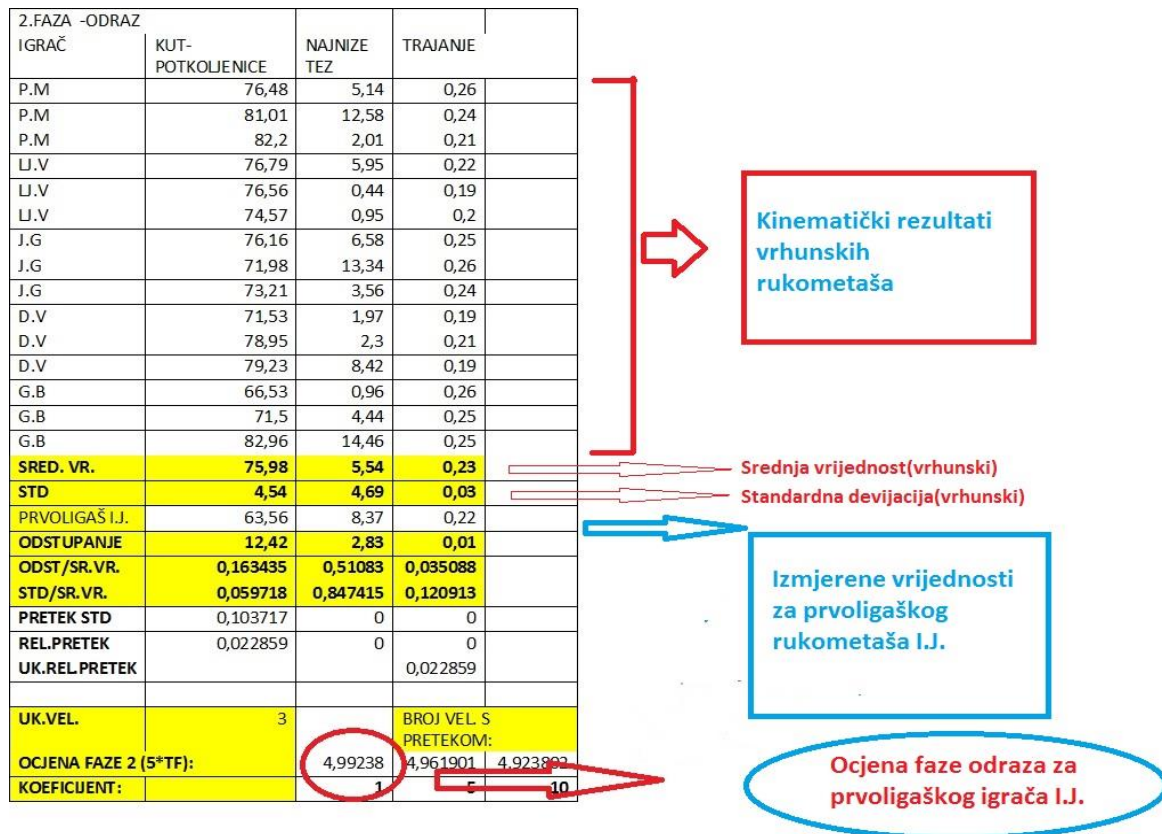
Kinematički rezultati vrhunskih rukometaša

Srednja vrijednost  
Standardna devijacija

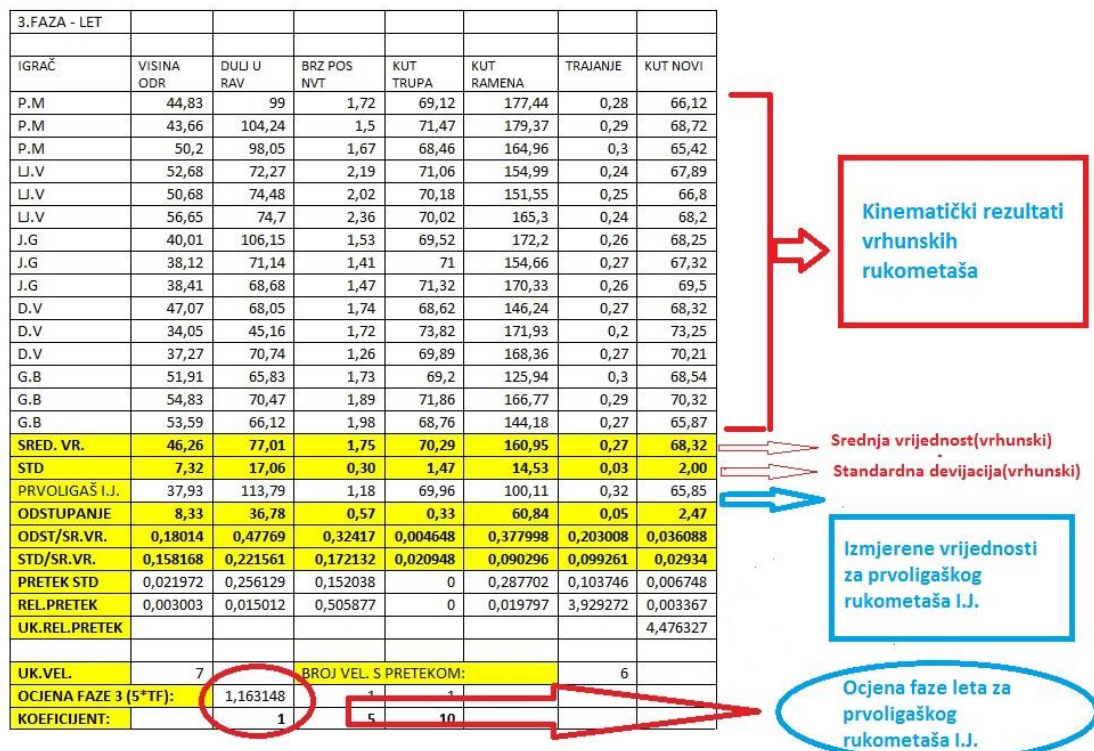
Izmjerene vrijednosti za prvoligaškog rukometaša I.J.

Ocjena faze zaleta za prvoligaškog igrača I.J.

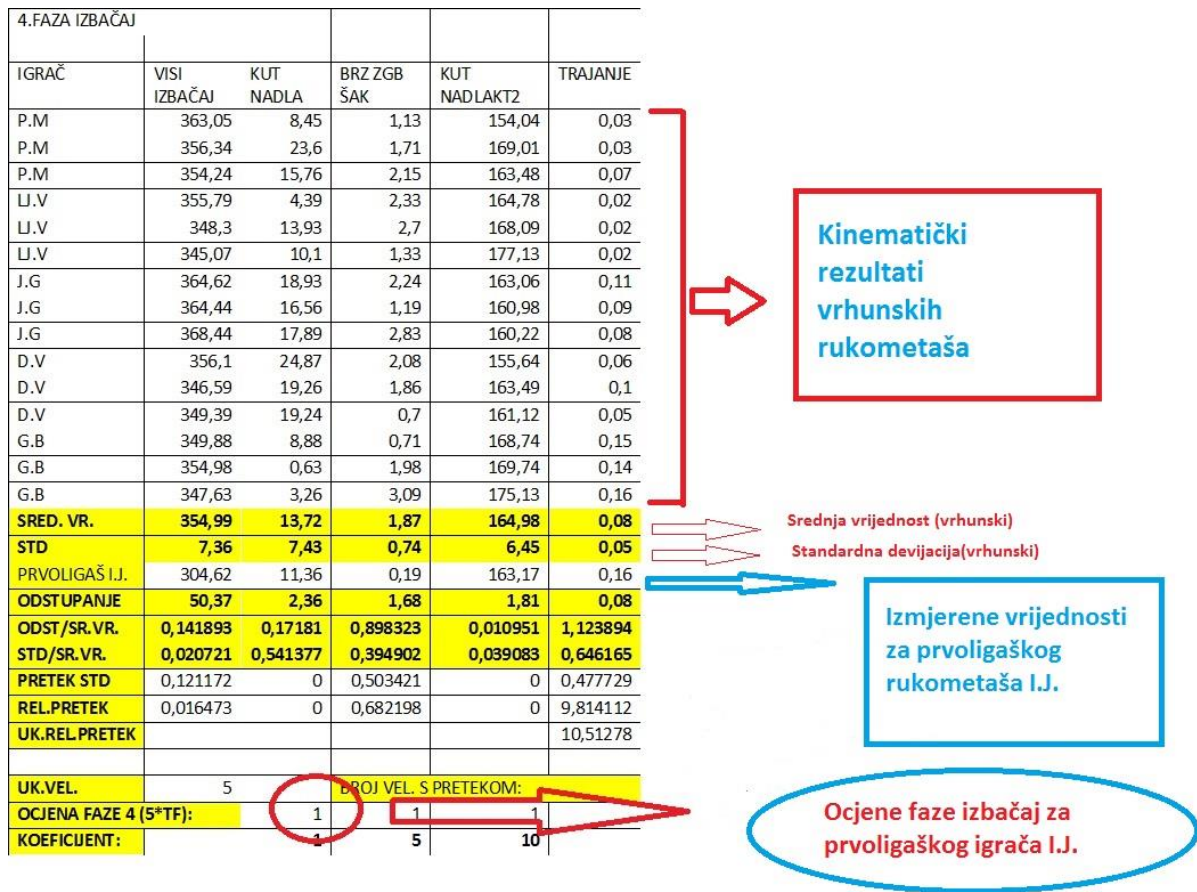
Slika 17. Drugi korak - izračun kinematičkih parametara izvedbe vrhunskih rukometaša i izračun faze zaleta za prvoligaškog igrača I. J.



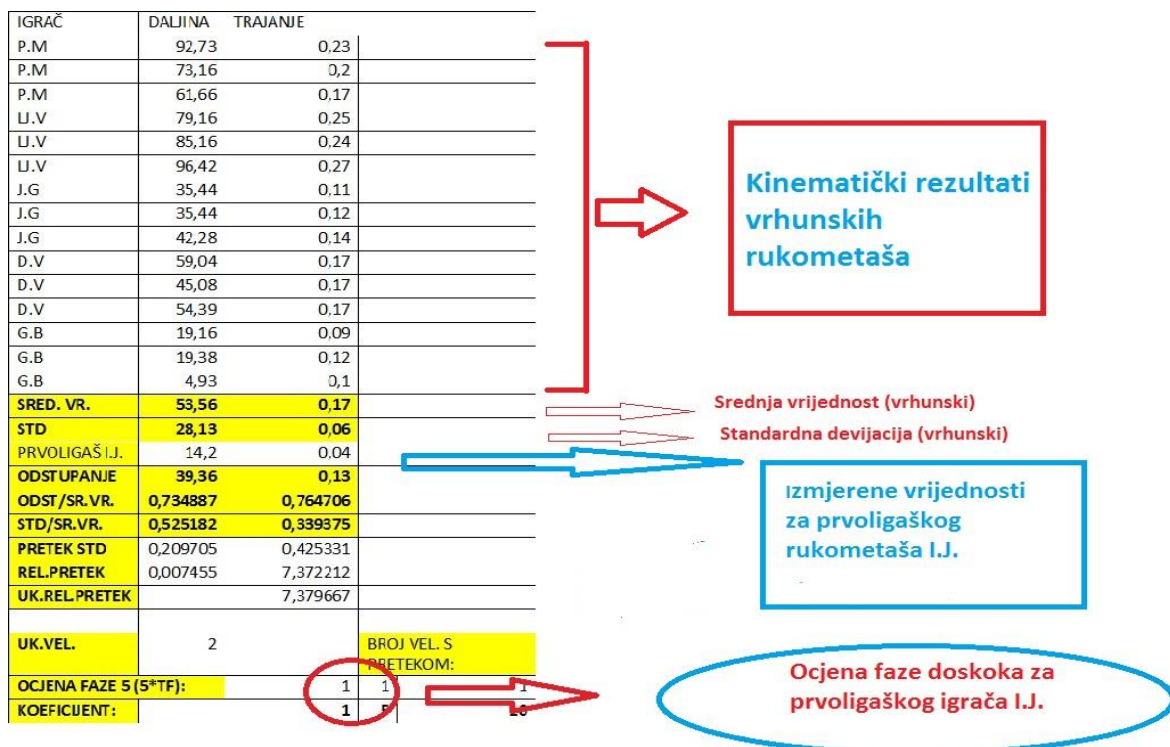
Slika 18. Izračun faze odraza za prvoligaškog igrača I. J.



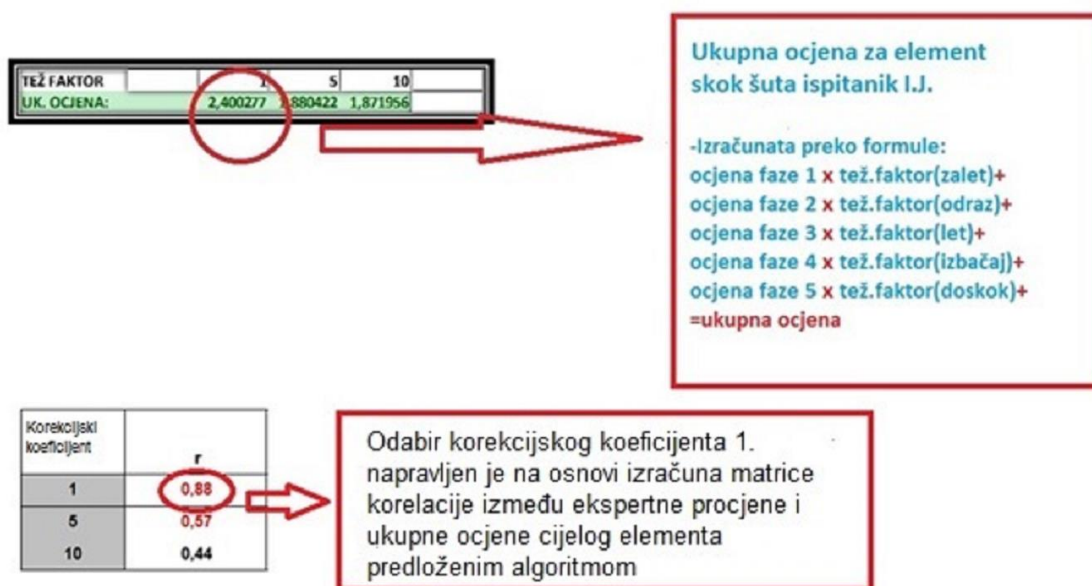
Slika 19. Izračun faze leta za prvoligaškog igrača I. J.



Slika 20. Izračun faze izbačaja za prvoligaškog igrača I. J.



Slika 21. Izračun faze doskoka za prvoligaškog igrača I. J.



Slika 22. Ukupna ocjena izvedbe elementa skok šuta za prvoligaškog igrača I. J. i izračun korekcijskog koeficijenta „K“



## 11.2. Primjer konstrukcije matematičkog algoritma na uzorku jednog prvoligaškog rukometaša za element varku jednostruke promjene smjera kretanja

Deskriptivna statistika								
Varijable	AS	Medijan	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis	Tež.faktor
LAŽNA FAZA	4,5	4,5	4	5	0,53	0	-2,57	0,483871
IZVRŠNA FAZA	4,8	5	4	5	0,42	-1,78	1,41	0,516129
TOT	9,3							1

$Tež.faktor=AS/TOT$

Ukupni težinski faktor iznosi 1

Slika 23. Prvi korak - izračun težinskih faktora svake pojedine faze za element varku jednostruke promjene smjera kretanja

1FAZA-LAŽNA FAZA							
IGRAČ	DULJ KOR	BRZ LAŽ	KUT TRUPA	CENTAR TEŽIŠTA	TRAJANJE	ISKORAK	
P.M	80,18	5,34	80,06	66,08	0,15	20,17	
P.M	115,47	5,49	77,15	86,11	0,21	15,63	
P.M	109,88	4,15	83,54	50,33	0,15	21,12	
U.V	113,1	5,65	69,41	76,25	0,2	8,76	
U.V	96,69	6,04	66,76	73,17	0,16	9,93	
U.V	101,92	5,36	75,91	83,99	0,19	7,45	
J.G	87,65	5,84	71,45	91,05	0,15	9,28	
J.G	132,05	8,51	68,81	53,8	0,06	12,56	
J.G	137,14	7,61	85,7	99,8	0,18	17,54	
D.V	102,72	3,21	67,93	82,36	0,32	19,36	
D.V	92,89	2,9	63,8	69,58	0,32	32,21	
D.V	62,79	6,27	62,81	40,35	0,1	28,11	
G.B	126,58	4,36	81,51	109,37	0,19	22,17	
G.B	120,51	3,54	80,1	110,35	0,34	20,19	
G.B	116,98	3,16	80,35	79,16	0,37	21,01	
<b>SRED. VR.</b>	<b>106,44</b>	<b>5,16</b>	<b>74,35</b>	<b>78,12</b>	<b>0,21</b>	<b>17,70</b>	
<b>STD</b>	<b>20,20</b>	<b>1,63</b>	<b>7,48</b>	<b>20,36</b>	<b>0,09</b>	<b>7,19</b>	
Prvoligas L.P.	91,31	7,02	83,24	91,78	0,13	30,19	
<b>ODSTUPANJE</b>	<b>15,13</b>	<b>1,86</b>	<b>8,89</b>	<b>13,66</b>	<b>0,08</b>	<b>12,49</b>	
ODST/SR.VR.	0,142119	0,359938	0,119529	0,174909	0,368932	0,705714	
<b>STD/SR.VR.</b>	<b>0,18977</b>	<b>0,316249</b>	<b>0,100601</b>	<b>0,260696</b>	<b>0,4421779</b>	<b>0,406185</b>	
PRETEK STD	0	0,043689	0,018929	0	0	0,299529	
REL.PRETEK	0	0,026762	0,002531	0	0	0,041664	
UK.REL.PRETEK						0,070957	
<b>UK.VEL.</b>	<b>6</b>					<b>3</b>	
<b>OCJENA FAZE 1 (5*TF)</b>	<b>4,964522</b>						
<b>KOEFICIENT:</b>			<b>5</b>			<b>10</b>	

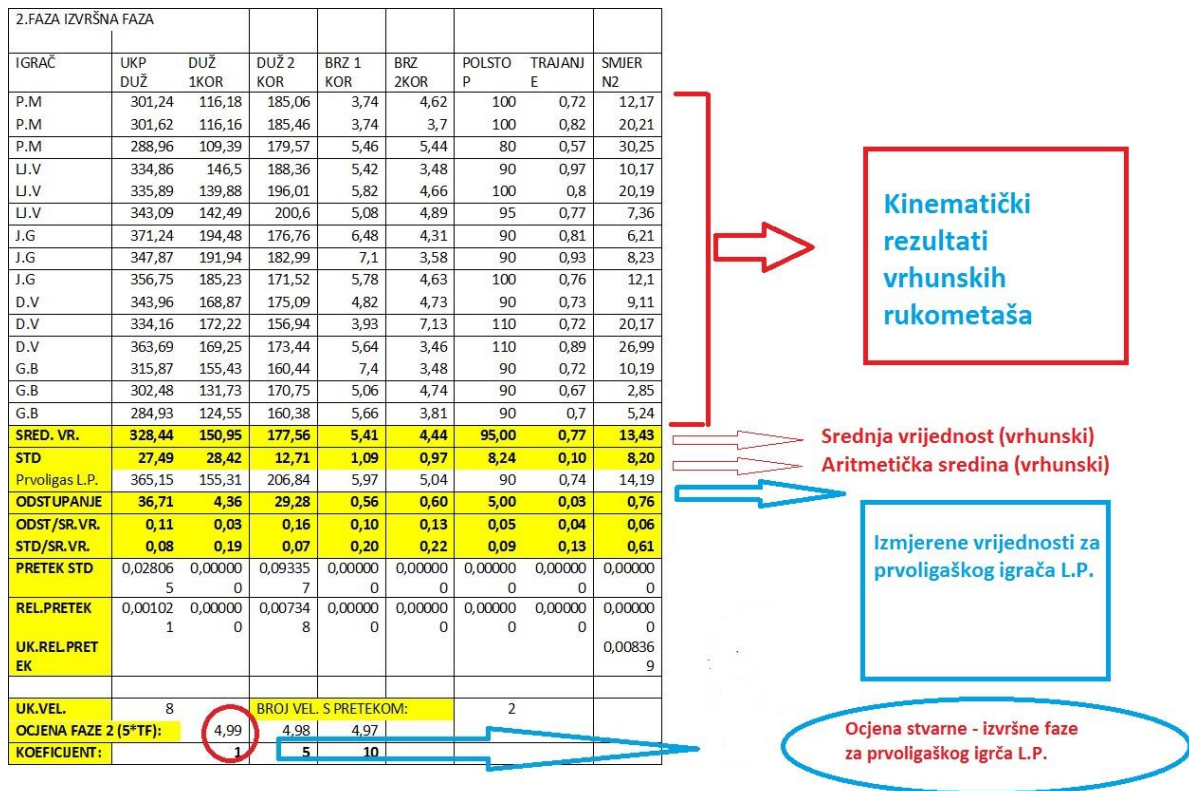
Kinematički rezultati vrhunskih rukometaša

Srednja vrijednost(vrhunski)  
 Aritmetička sredina(vrhunski)

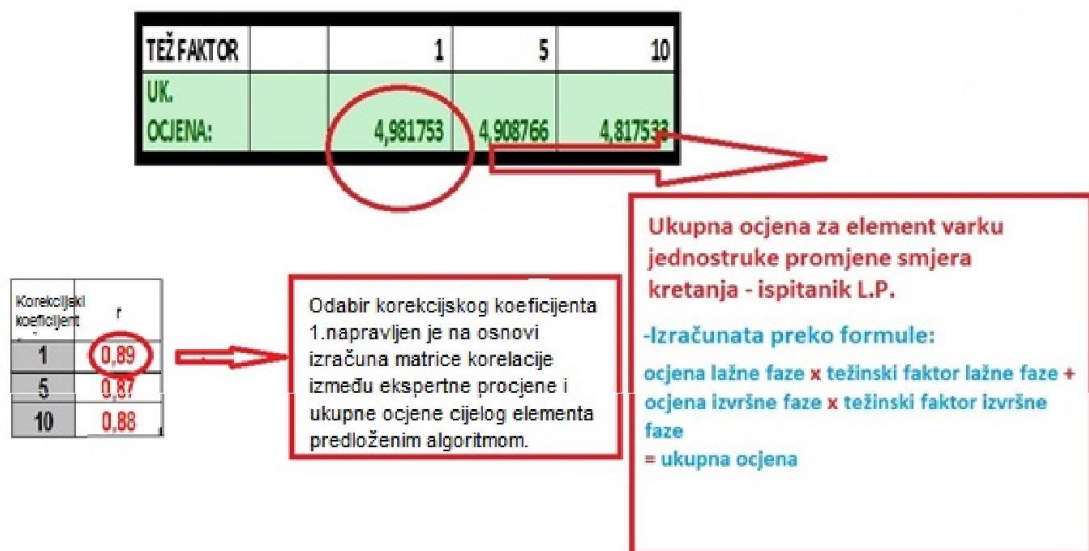
Izmjerene vrijednosti za prvoligaškog rukometaša L.P.

Ocjena lažne faze za prvoligaškog igrača L.P.

Slika 24. Drugi korak - izračun kinematičkih parametara izvedbe vrhunskih rukometaša i izračun lažne faze varke jednostruke promjene smjera kretanja za prvoligaškog igrača L. P.



Slika 24. Izračun stvarne (izvršne) faze varke jednostruke promjene smjera kretanja za prvoligaškog igrača L. P.



Slika 25. Ukupna ocjena izvedbe elementa varke jednostruke promjene smjera kretanja za prvoligaškog igrača L. P. i izračun korekcijskog koeficijenta „K“

## 12. OGRANIČENJA I BUDUĆI PRAVCI ISTRAŽIVANJA

Ograničenja istraživanja ogledaju se kroz nekoliko aspekata. Prije svega, očituje se u relativno malom uzorku ispitanika rukometaša, što podrazumijeva da bi u narednim istraživanjima trebalo povećati broj ispitanika kako bi se dobili još precizniji i pouzdaniji rezultati.

Nadalje, ograničenje istraživanja očituje se i u izostanku nekih kinematičkih parametara koji nisu izmjereni, ali se mogu izvući iz postojećih podataka (npr. kutna brzina). Odabir kinematičkih parametara u ovoj doktorskoj disertaciji prvenstveno je rukovođen mogućnošću komparacije s ekspertnom procjenom.

Kada se vrši kinematička analiza u kontaktnim sportovima, vrlo je teško izmjeriti pojedine parametre jer nastaje problem utjecaja tzv. nemjerljivih faktora. Stoga je jedno od ograničenja istraživanja vidljivo u izostanku utjecaja protivnika na izvedbu, odnosno činjenica što je testiranje obavljeno u laboratorijskim, a ne u stvarnim situacijsko-natjecateljskim uvjetima. Idealno bi bilo kada bi se mogli dobiti kinematički podatci u situacijskim uvjetima na osnovi snimanja uz pomoć većeg broja kamera. Istraživanja ovakvog tipa gotovo je nemoguće provesti jer na natjecanjima najvišeg ranga (Olimpijske igre, svjetska rukometna prvenstva, europska rukometna prvenstva) nije dopušteno snimanje uz teren. Softverski paketi koji su do sada konstruirani još uvijek ne mogu izračunati „preklapanja“ drugih igrača koji ulaze u kadar snimanja te tako ometaju postupak analize podataka. Istraživanja ovakvog tipa trenutačno je moguće provoditi samo u laboratorijskim uvjetima s više kamera koje snimaju svaki položaj markera u poziciji nekog kinematičkog gibanja. Razvoj kinematike, koji je usko povezan s razvojem novih tehnologija, u budućnosti bi trebao pomoći znanstvenicima da snime akcije u realnim situacijskim uvjetima koji prevladavaju u igri.

Buduća istraživanja trebala bi obuhvatiti i neke druge elemente rukometne tehnike koja do sada još nisu analizirana poput varke otklonom tijela ili šuta pored braniča. Isto tako, u budućim istraživanjima trebalo bi analizirati obrambene situacijske kretnje poput izlaska na ruku napadača ili bloka lopte.

Konstrukcija matematičkog modela kojim se može objektivno ocijeniti izvedba za dva navedena elementa tehnike samo je početak razvoja sustava koji bi mogao pomoći trenerima, profesorima u školi i na fakultetu da objektivno ocijene kakvoću motoričkih znanja svojih ispitanika.

Sljedeći korak u istraživanjima trebao bi biti softverski sustav koji bi operacionalizirao predloženi matematički algoritam u cilju automatskog i objektivnog ocjenjivanja motoričkih znanja u rukometu i eliminacije subjektiviteta ocjenjivača. U svakom slučaju, rezultati

predmetnog istraživanja mogu predstavljati dobru polaznu osnovu za konstrukciju cjelovitog sustava za objektivnu valorizaciju motoričkih znanja u rukometu i sportskim igrama.

### 13. ZNANSTVENI I STRUČNI ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA

Istraživanjem je provedena kinematička analiza izvedbe elementa tehnike skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja u cilju detekcije razlika između vrhunskih i prvoligaških rukometaša te komparacije s ekspertnom procjenom.

Dosadašnja istraživanja kinematike pokreta u rukometnoj igri obuhvaćala su radove koji su promatrali različite elemente šutiranja i dodavanja, ali do sada nije provedena kinematička analiza varke jednostruke promjene smjera kretanja što predstavlja originalni doprinos ove disertacije fundusu istraživanja elemenata tehnike rukometne igre.

Znanstveni doprinos očituje se u generiranju novih spoznaja o optimalnom modelu izvedbe specifičnih motoričkih znanja u rukometu te naročito novih spoznaja o provedbi varke jednostruke promjene smjera kretanja.

Radi se o originalnim znanstvenim spoznajama jer se element varke jednostruke promjene smjera kretanja prvi put znanstveno istražuje. Spoznaje su generirane istraživanjem motoričkog znanja na uzorku vrhunskih, ali i kvalitetnih rukometaša. Posebno su važni rezultati u razlikama izvedbe promatranih elemenata tehnike između dviju kvalitativnih skupina ispitanika. Također, originalni znanstveni doprinos ovog istraživanja ogleda se u činjenici da je prvi put u dosadašnjoj znanstvenoj praksi izvršena evaluacija i komparacija kinematičkog modela nekog tehničkog elementa s ekspertnim modelom dobivenim od strane vrhunskog međunarodnog ekspertnog tima. Kompariranje dvaju modela zahtijevalo je i originalan metodološki pristup normiranja frekvencija izvedbe što se može smatrati metodološkim doprinosom unapređenju kineziološke znanosti.

Stoga dobiveni rezultati ovog istraživanja obogaćuju prostor znanstvenih spoznaja kinematičke i ekspertne analize rukometne igre, ali i ostalih sportova s loptom, a naročito sportskih igara.

Stručni doprinos ovog istraživanja ogleda se u mogućnosti praktične primjene sustava objektivne ocjene izvedbe dvaju analiziranih elemenata rukometne tehnike. Predloženi matematički algoritam može biti predložak softverskih sustava koji bi se koristili za analizu motoričkih znanja u budućnosti.

Ovakvi sustavi mogli bi biti od nemjerljive koristi rukometnim trenerima, učiteljima i profesorima koji se u svojoj rukometnoj praksi svakodnevno susreću s problemom brze,

precizne i objektivne detekcije i valorizacije kvalitete i svrhovitosti različitih motoričkih znanja rukometne igre. Potreba za objektivnom valorizacijom motoričkog znanja prisutna je u svim domenama rukometne prakse počev od edukativnih i trenažnih postupaka i procesa do analize učinkovitosti igrača te dijagnostičkih i selekcijskih postupaka. Posebno mjesto ovakvi sustavi mogu imati u postupcima longitudinalnog praćenja motoričke edukabilnosti igrača, odnosno u procesu utvrđivanja efekata motoričkog učenja.

U konačnici dobiveni rezultati, predloženi metodološki postupci i kriteriji kinematičke izvedbe za promatrane elemente rukometne igre čine empirijski i znanstveni predložak za oblikovanje kompjutorskog programa pomoću kojeg je moguće pouzdano i objektivno ocijeniti kvalitetu izvedbe elemenata tehnike.

## 14. ZAKLJUČAK

Kinematička analiza u modernom sportu ima sve veći značaj, posebno u domeni dijagnostike u trenažnim i selekcijskim postupcima te pokušaju definiranja tzv. optimalnih ili idealnih tehnika. Stalna težnja prema idealnoj kretnji koja igraču omogućava maksimalnu učinkovitost stavlja pred trenere visoke zahtjeve u trenažnom procesu. Kinematika kao dio biomehanike svakim se danom razvija i sve je dostupnija kao oruđe trenerima i znanstvenicima u radu sa sportašima. Primjena ove znanstvene discipline započela je u sportovima gdje dolazi do velikih financijskih ulaganja poput bejzbola, nogometa, tenisa, golfa..., ali je sve zastupljenija i u ostalim sportovima, a u novije vrijeme pojavljuje se i u rehabilitacijskim postupcima nakon ozljede sportaša i rekreativaca.

Kinematika pokreta sve više je predmetom istraživanja u sportskim igrama pa je ova doktorska disertacija pokušaj doprinosa analizi strukture gibanja u rukometnoj igri. Pravac ovog istraživanja usmjeren je prema dvama najutilitarnijim elementima rukometne tehnike koji se primjenjuju u fazi napada, a to su element skok šut i varka jednostruke promjene smjera kretanja. Polazeći od važnosti pouzdane analize motoričkih znanja, cilj ovog istraživanja bio je definirati kinematičke i ekspertne modele na uzorku vrhunskih rukometaša. Multivarijatna analiza varijance između dviju kvalitativnih skupina ispitanika ukazala je da postoji statistički značajna razlika u kinematičkim parametrima provedbe elementa tehnike skok šuta. Najveće razlike između vrhunskih i prvoligaških rukometaša zabilježene su u fazi zaleta i fazi leta. Vrhunski rukometaši izvode zalet u prosjeku s dva koraka, dok prvoligaški rukometaši istu kretanju izvode s tri koraka. Razlika u broju koraka inicira razlike i u drugim kinematičkim parametrima pa tako vrhunski rukometaši imaju kraći zalet koji izvode vremenski brže u odnosu na prvoligaške rukometaše. U fazi leta utvrđene su razlike između dviju skupina ispitanika: u visini odraza, duljini leta prema naprijed, trajanju faze leta te u kutu trupa s podlogom. Sukladno dobivenim rezultatima, nije bilo moguće prihvatiti hipotezu  $H_{01}$  te se izvodi zaključak o postojanju statistički značajnih razlika u kinematičkim parametrima provedbe elementa tehnike skok šuta između vrhunskih i prvoligaških igrača.

Rezultati multivarijatne analize varijance nadalje također ukazuju da postoji statistički značajna razlika u kinematičkim parametrima između vrhunskih i prvoligaških rukometaša za varku jednostruke promjene smjera kretanja. Vrhunski rukometaši rade manji iskorak u stranu te pomiču nogu suprotnu izbačajnoj ruci pod manjim kutom u odnosu na prvoligaške rukometaše kod izvedbe lažne faze. Sukladno znanstvenim nalazima, ne može se prihvatiti hipoteza  $H_{02}$  te se izvodi zaključak o postojanju statističkih značajnih razlika u kinematičkim

parametrima provedbe elementa tehnike varke jednostruke promjene smjera kretanja između vrhunskih i prvoligaških igrača.

Ekspertna procjena provedena je na uzorku od 10 eksperata s vrhunskom specijalističkom kineziološkom naobrazbom, znanstvenim kompetencijama i dugogodišnjim iskustvom u rukometu. Preliminarnom analizom utvrđena je visoka razina objektivnosti eksperata te su utvrđene visoke korelacija između ocjenjivača.

Komparacijom nalaza za element skok šut utvrđeno je da su kinematički i ekspertni model u visokoj korelaciji. Stoga, sukladno dobivenim rezultatima relacija između ekspertne procjene i kinematičke analize, nije moguće prihvatiti hipotezu  $H_{03}$  o nepostojanju statistički značajne povezanosti između kinematičkog modela kod vrhunskih igrača i hipotetskog ekspertnog modela za element tehnike skok šut.

Kod varke jednostruke promjene smjera kretanja parametri kinematičkog i hipotetskog ekspertnog modela statistički se značajno razlikuju između vrhunskih i kvalitetnih rukometaša. Razlika je posebno naglašena u drugoj, izvršnoj fazi varke. Sukladno dobivenim rezultatima, moguće je prihvatiti hipotezu  $H_{04}$  o nepostojanju statistički značajne povezanosti između kinematičkog i hipotetskog ekspertnog modela kod vrhunskih igrača za element tehnike varku jednostruke promjene smjera kretanja.

Korelacija između ekspertnog modela i normiranog kinematičkog modela za element skok šut kod prvoligaških rukometaša statistički je značajna. Stoga se, prema dobivenim izračunima, ne prihvaća hipoteza  $H_{05}$  koja pretpostavlja nepostojanje statistički značajne povezanosti između kinematičkog modela izvedbe tehnike skok šuta i hipotetskog ekspertnog modela kod prvoligaških igrača.

Spearman-Brownov koeficijent rang korelacije također ukazuje da na uzorku prvoligaških rukometaša za element varku jednostruke promjene smjera kretanja nema značajnijeg odstupanja od mišljenja eksperata što znači da nije moguće prihvatiti hipotezu  $H_{06}$  koja podrazumijeva izostanak statistički značajne povezanosti između kinematičkog modela izvedbe elementa tehnike varke jednostruke promjene smjera kretanja i hipotetskog ekspertnog modela kod prvoligaških igrača.

U završnom dijelu doktorske disertacije prezentiran je matematički algoritam za objektivno ocjenjivanje izvedbe elementa skok šuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja. Konstrukcija ovog algoritma polazište je za izradu softverskog sustava koji bi omogućio automatsko i objektivno ocjenjivanje motoričkog znanja u rukometnoj igri te dokinuo subjektivitet ekspertne procjene.



## 15. LITERATURA

1. Antekolović, L., Dobrila, I., Hraski, Ž., & Hofman, E. (1999). Analiza tehnike bacanja kugle hrvatskog kadetskog rekordera. In *Međunarodna znanstvena konferencija Kineziologija za dvadeset prvo stoljeće*, 2, 104-107.
2. Antekolović, L., Kasović, M., & Marelić, N. (2006). Biomehaničko vrednovanje dubinskih skokova u pripremi skakača u dalj. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*, 21(1), 12-19.
3. Apitzsch, E., & Liu, W. H. (1997). Correlation between field dependence-independence and handball shooting by Swedish national male handball players. *Perceptual and motor skills*, 84 (3c), 1395-1398.
4. Arslanagić, A. (1997). *Rukomet, priručnik za trenere, vratare i igrače*. Čakovec: Zrinski.
5. Baker, R., McGinley, J. L., Schwartz, M. H., Beynon, S., Rozumalski, A., Graham, H. K., & Tirosh, O. (2009). The gait profile score and movement analysis profile. *Gait & posture*, 30(3), 265-269.
6. Bartosiewicz, G., Dabrowska, A., Ellasz, J., Gajewski, J., Trzaskoma, Z., & Wit, A. (1986). Maximal mechanical power of lower and upper extremities of man. *Biology of Sport*, 3(1), 47-54.
7. Bayios, I. A., Anastasopoulou, E. M., Sioudris, D. S., & Boudolos, K. D. (2001). Relationship between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(2), 229-231.
8. Bayios, I. A., Bergeles, N. K., Apostolidis, N. G., Noutsos, K. S., & Koskolou, M. D. (2006). Anthropometric, body composition and somatotype differences of Greek elite female basketball, volleyball and handball players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 46(1), 271-280.
9. Meriç, B., Aydin, M., Çolak, T., Özbek, A., & Bulgan, Ç. (2009). Trodimenzionalna kinematička analiza zamaha rukom iznad glave u različitim sportovima. *Kineziologija*, 41(1), 105-112.
10. Bideau, B., Multon, F., Kulpa, R., Fradet, L., Arnaldi, B., & Delamarche, P. (2004). Using virtual reality to analyze links between handball thrower kinematics and goalkeeper's reactions. *Neuroscience letters*, 372(1), 119-122.

11. Blažević, I., Antekolović, L., & Mejovšek, M. (2006). Longitudinalno istraživanje varijabiliteta kinematičkih parametara skoka u vis jedne hrvatske atletičarke. *Kineziologija*, 38(1), 63-71.
12. Bon, M. (2001). *Quantified evaluation of loading and monitoring of heart rate of handball players in a match*. Doctor dissertation. Faculty of sport, Ljubljana.
13. Bourne, M., Bennett, S. J., Hayes, S. J., & Williams, A. M. (2011). The dynamical structure of handball penalty shots as a function of target location. *Human movement science*, 30(1), 40-55.
14. Burger, A., Rogulj, N., & Pelivan, K. (2013). Ekspertno vrednovanje metodskih postupaka usvajanja elementa skok šuta u rukometu. *VI. Međunarodni simpozijum „SPORT I ZDRAVLJE“*, Tuzla - zbornik naučnih i stručnih radova, 10-13.
15. Burger, A., Ledić, I., Pelivan, K., & Pejić, D. (2014). Ekspertno vrednovanje metodskog postupka usvajanja taktičkog elementa zonske obrane 6:0 u rukometu. *VII. Međunarodni simpozijum „SPORT I ZDRAVLJE“*, Tuzla - zbornik naučnih i stručnih radova, 142-146.
16. Campos, J., Navarro, E., Vera, P., & Llobregat, R. (1994). Evaluation of kinematic parameters of javelin throwers in relation to performance: the use of three-dimensional. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*, 1(1), 132-136.
17. Campos, J., Brizuela, G., & Ramón, V. (2004). Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics. *New studies in Athletics*, 19(2), 47-57.
18. Cardinale, M. (2000). Physiological consideration & practical approach for the training Metabolic aspects. *Handball performance*, 201-207.
19. Chiung-Yun, H., Pao-Cheng L., & Hui-Mei, L. (2005). Biomechanics Analysis of Water Polo Throwing. *23 International Symposium on Biomechanics in Sports*, 112-115.
20. Chung, M. J., & Wang, M. J. J. (2010). The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20–60 years. *Gait & posture*, 31(1), 131-135.
21. Delija, K., & Šimenc, Z. (1994). Utjecaj nekih općih i situacijskih motoričkih sposobnosti i znanja na uspjeh u rukometu. *Kinesiology*, 26, 51-54.
22. Doodam, C. (2000). Accometric modelling of the bench press and squat: Who is the strongest regardless of body mass? *Journal of strength condition resources*, 14, 32-36.

23. Dolenc, I., & Zvonarek, N. (1996). *Anatomija tehnike i taktike rukometne igre*. Augustini, Zagreb.
24. Draper, E. R. (2000). A treadmill-based system for measuring symmetry of gait. *Medical engineering & physics*, 22(3), 215-222.
25. Dun, S., Fleisig, G. S., Loftice, J., Kingsley, D., & Andrews, J. R. (2007). The relationship between age and baseball pitching kinematics in professional baseball pitchers. *Journal of biomechanics*, 40(2), 265-270.
26. Dvoršek, B., & Mlinarić, Z. (2012). *Praktikum za rad s mlađim dobnim kategorijama*. Hrvatski rukometni savez: Zagreb.
27. Đurković, T., Marelić, N., Hraski, Ž., & Šikanja, L. (2005). Biomehanička analiza smeča iz prednje i stražnje zone u odbojci. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*, 20(1), 20-25.
28. Elias, J. (1996). *The relationships between throwing velocity and motor ability parameters of the highperformance handball players*. Institute of Sport: Warsaw.
29. Elliott, B. C., & Armour, J. (1988). The penalty throw in water polo: a cinematographic analysis. *Journal of sports sciences*, 6(2), 103-114.
30. Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., DeRenne, C., Taylor, M. K., Moorman III, C. T., Imamura, R., & Andrews, J. R. (2009). A comparison of age level on baseball hitting kinematics. *Journal of applied biomechanics*, 25(3), 210-218.
31. Ettema, G., Glosen, T., & van den Tillaar, R. (2008). Effect of specific resistance training on overarm throwing performance. *International journal of sports physiology and performance*, 3(2), 164-175.
32. Fábrega, G. C., Gómez, M., & Fariña, R. A. (2008). Angle and speed in female handball penalty throwing: Effects of fatigue and player position. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 8(1), 56-67.
33. Ferdinands, R. E., Kersting, U., & Marshall, R. N. (2009). Three-dimensional lumbar segment kinetics of fast bowling in cricket. *Journal of biomechanics*, 42(11), 1616-1621.
34. Fleck, S. J., Smith, S. L., Craib, M. W., Denahan, T., Snow, R. E., & Mitchell, M. L. (1992). Upper Extremity Isokinetic Torque and Throwing Velocity in Team Handball. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(2), 120-124.
35. Fleisig, G. S., & Barrentine, S. W. (1995). Biomechanical Aspects of the Elbow in Sports. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 3(3), 210-217.

36. Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., & Escamila, R. F. (1996). Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports Medicine*, 21(6), 421-437
37. Foretić, N., Erceg, M., Bradarić, A., & Tocilj, J. (2005). Povezanost nekih motoričkih sposobnosti i brzine udarca kod rukometaša predadolescentne dobi. *Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje „Sport-rekreacija-fitness“* Split, 73-77.
38. Foretić, N., & Rogulj, N. (2007). *Škola rukometa*. Split: Grifon.
39. Foretić, N. (2012). *Kriteriji situacijske učinkovitosti u vrhunskom rukometu - doktorska disertacija*, Split. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Splitu.
40. Fradet, L., Kulpa, R., Bideau, B., Multon, F., & Delamarche, P. (2003). Kinematic simulation of handball throwing. In *Proceedings of European Simulation Multiconference* (pp. 323-328).
41. Fradet, L., Botcazou, M., Durocher, C., Cretual, A., Multon, F., Prioux, J., & Delamarche, P. (2004). Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence? *Journal of Sports Sciences*, 22(5), 439-447.
42. Fusco, N., & Crétual, A. (2008). Instantaneous treadmill speed determination using subject's kinematic data. *Gait & posture*, 28(4), 663-667.
43. Ghermanescu, I. K. (1993). *Somatski motorički modeli kod izbora i praćenja razvoja rukometaša i rukometašica*. XVII seminar rukometnih trenera, Pula, 23-27.
44. Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibanez, J., & Izquierdo, M. (2005). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 26(3), 225-232.
45. Granados, C., Izquierdo, M., Ibanez, J., Bonnbau, H., & Gorostiaga, E. M. (2007). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur female handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(10), 860-867.
46. Granados, C., Izquierdo, M., Ibanez, J., Ruesta, M., & Gorostiaga, E.M. (2010). Differences in physical fitness and performance over the years in an elite women's handball team. *Annual Congress of the European College of Sport Science*, Antalya, Turkey. ECSS Abstract Book. p393.
47. Grezios, A. K., Gissis, I. T., Sotiropoulos, A. A., Nikolaidis, D. V., & Souglis, A. G. (2006). Muscle-contraction properties in overarm throwing movements. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(1), 117-123.
48. Gutierrez Davila, M., Lopez Garcia, P., Parraga Montilla, J., & Rojas Ruiz, F. J. (2006). Effect of opposition on the handball jump shot. *Journal of Human Movement Studies*, 51(4), 257-275.

49. Gutiérrez-Davila, M., Ortega, M., Párraga, J., Campos, J., & Rojas, F.J. (2011). Variabilidad de la secuencia temporal de la cadena cinética en el lanzamiento de balonmano. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 11, 455-471.
50. Hatze, H. (1974). The meaning of the term 'biomechanics'. *Journal of Biomechanics*, 7(2), 189-190.
51. Heikkila, J., & Silvén, O. (1997). A four-step camera calibration procedure with implicit image correction. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1997 IEEE Computer Society Conference*, 1106-1112.
52. Hermansen, L. (1972). Oxygen transport during exercise in human subjects. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum*, 399, 1-104.
53. Hirashima, M., Kudo, K., Watarai, K., & Ohtsuki, T. (2007). Control of 3D limb dynamics in unconstrained overarm throws of different speeds performed by skilled baseball players. *Journal of neurophysiology*, 97(1), 680-691.
54. Hoff, J., & Almåsbaek, B. (1995). The Effects of Maximum Strength Training on Throwing Velocity and Muscle Strength in Female Team-Handball Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 9(4), 255-258.
55. Horan, S. A., Evans, K., Morris, N. R., & Kavanagh, J. J. (2010). Thorax and pelvis kinematics during the downswing of male and female skilled golfers. *Journal of biomechanics*, 43(8), 1456-1462.
56. Hore, J., Debicki, D. B., & Watts, S. (2005). Braking of elbow extension in fast overarm throws made by skilled and unskilled subjects. *Experimental brain research*, 164(3), 365-375.
57. Housh, T. J., Thorland, W. G., Johnson, G. O., Tharp, G. D., & Cisar, C. J. (1984). Anthropometric and body build variables as discriminators of event participation in elite adolescent male track and field athletes. *Journal of sports sciences*, 2(1), 3-11.
58. Harasin, D., Milanović, D., & Čoh, M. (2010). 3D kinematička analiza zamašne ruke u drugoj dvopotpornoj fazi bacanja kugle rotacijskom tehnikom – razlike između kvalitetnih i vrhunskih bacača. *Kineziologija*, 42(2), 169-174.
59. Hraski, Ž., Milanović, D., & Mejovšek, M. (1999). Kinematička analiza izbačaja koplja. 8. *Zagrebački sajam sporta "Trener i suvremena dijagnostika"*, 83-91.
60. Ivančević, T., Jovanović, B., Đukić, M., Marković, S., & Đukić, N. (2008). Biomehanička analiza udaraca i kretanja lopte u tenisu i njihova analogija sa

- izbačajima u rukometu. *Facta universitatis-series: Physical Education and Sport*, 6(1), 51-66.
61. Jarić, S. (1997). *Biomehanika: humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Beograd: Dosije.
62. Jones, P. L., Kerwin, D. G., Irwin, G., & Nokes, L. D. (2009). Three Dimensional Analysis of Knee Biomechanics when Landing on Natural Turf and Football Turf. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 29(4), 184-188.
63. Jöris, H. J. J., Van Muyen, A. E., van Ingen Schenau, G. J., & Kemper, H. C. G. (1985). Force, velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *Journal of biomechanics*, 18(6), 409-414.
64. Karišić, S., & Goranović, S. (2009). Razlike između rukometaša različitog ranga takmičenja u opštim motoričkim sposobnostima. *Zbornik sažetaka 17. Simpozijum Ekologija, sport, fizička aktivnost i zdravlje mladih*, Novi Sad, 33-34.
65. Karišić, S., Goranović, S., & Valdevit, Z. (2011). Mogućnost selekcije vrhunskih rukometaša u zavisnosti od antropometrijskih karakteristika. *VI Konferencija Sport i Zdravlje*, Tuzla, 1, 60-66.
66. Kastner, J., Pollany, W., & Sobotka, R. (1978). Der schlagwurf im handball. *Leistungs-sport*, 8(1), 287-298.
67. Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B.P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J.R., Hewett, T.E., & Bahr, R. (2007). Mechanisms of Anterior Cruciate Ligament Injury in Basketball: Video Analysis of 39 Cases. *American Journal of Sports Medicine*, 35, 359-367.
68. Jordan, K., Challis, J. H., & Newell, K. M. (2007). Speed influences on the scaling behavior of gait cycle fluctuations during treadmill running. *Human movement science*, 26(1), 87-102.
69. Kozomara, S., & Kozomara, G. (2009). The comparement of lower leg speed tt resultant at handball jump shots during rebound and landing, as possible anterior cruciate ligament injury prevention. *Acta Kinesiologica*, 3(1), 44-49.
70. Kristianslund, E., Bahr, R., & Krosshaug, T. (2011). Kinematics and kinetics of an accidental lateral ankle sprain. *Journal of biomechanics*, 44(14), 2576-2578.
71. Küster, G. (1973). Der Einflus bestimmter Trainingsmethoden auf die Wurfkraft bei Handballspielerinnen unterschiedlichen Leistungsniveaus [*The influence of specific training methods on shot power in different competitive levels in women team handball*]. Unpublished graduation paper) Cologne: Deutsche Sporthochschule Köln.

72. Laffaye, G., Bardy, B.G., & Durey, A. (2005). Leg stiffness and expertise in men jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(4), 536-543.
73. Lindner, M., Kotschwar, A., Zsoldos, R. R., Groesel, M., & Peham, C. (2012). The jump shot – A biomechanical analysis focused on lateral ankle ligaments. *Journal of biomechanics*, 45(1), 202-206.
74. Liu, H., Leigh, S., & Yu, B. (2010). Sequences of upper and lower extremity motions in javelin throwing. *Journal of sports sciences*, 28(13), 1459-1467.
75. MacKenzie, S. J., & Sprigings, E. J. (2009). A three-dimensional forward dynamics model of the golf swing. *Sports Engineering*, 11(4), 165-175.
76. Maeda, M. (2008). Effects of Turbo-jav Release Conditions on Distance of Javelic Throw (P136). In *The Engineering of Sport 7* (pp. 697-704). Springer Paris.
77. Malić, Z. (1999). *Pogled s klupe*. Zagreb: Kustoš.
78. Marczinka, Z. (1993). *Playing handball. Acomprehensive study of the game*. International Handball Federation. Hungary: Trio Budapest.
79. Marques, M. A. C., & González-Badillo, J. J. (2006). In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 563-571.
80. Meyer, K. E., Saether, E. E., Soiney, E. K., Shebeck, M. S., Paddock, K. L., & Ludwig, P. M. (2008). Three-dimensional scapular kinematics during the throwing motion. *Journal of applied biomechanics*, 24(1), 24 - 34.
81. Michaud-Paquette, Y., Pearsall, D. J., & Turcotte, R. A. (2009). Predictors of scoring accuracy: ice hockey wrist shot mechanics. *Sports Engineering*, 11(2), 75-84.
82. Mikkelsen, F., & Olesen, M. N. (1976). Handball 82-84 (Traening af skudstyrken). Stockholm: *Trygg-Hansa*, 17, 333-342.
83. Miller, S., & Bartlett, R. (1996). The relationship between basketball shooting kinematics, distance and playing position. *Journal of sports sciences*, 14(3), 243-253.
84. Moeslund, T. B., Hilton, A., & Krüger, V. (2006). A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. *Computer vision and image understanding*, 104(2), 90-126.
85. Multon, F. (1998). Biomedical simulation of human arm motion. In *Proceedings of the 12th European Simulation Multiconference on Simulation-Past, Present and Future* (pp. 305-309). SCS Europe.
86. Myklebust, G., Maehlum, S., Engebretsen, L., Strand, T., & Solheim, E. (1997). Registration of cruciate ligament injuries in Norwegian top level team handball. A

- prospective study covering two seasons. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 7(5), 289-292.
87. Myklebust, G., Maehlum, S., Holm, I., & Bahr, R. (1998). A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 8(3), 149-153.
88. Myklebust, G., Bahr, R., & Engebretsen, L. (2002). Clinical, functional and radiologic outcome 6–11 years after ACL injuries in team handballplayers: a follow-up study. *American Journal of Sports Med*, 1(12), 147-163.
89. Neal, R. J., Snyder, C. W., & Kroonenberg, P. M. (1991). Individual differences and segment interactions in throwing. *Human movement science*, 10(6), 653-676.
90. Ohnjec, K., Antekolović, L., & Gruić, I. (2010). Comparison of kinematic parameters of jump shot performance by female handball players of different ages. *Acta Kinesiologica*, 4(2), 33-40.
91. Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball a systematic video analysis. *The American journal of sports medicine*, 32(4), 1002-1012.
92. Párraga, J. A., Gutiérrez-Dávila, M., Rojas, F. J., & Ona, A. (2002). The effects of visual stimuli on response reaction time and kinematic factors in the handball shot. *Journal of Human Movement Studies*, 42(6), 421-426.
93. Pavlin, K. (1979). *Tehnika rukometne igre*. Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu. Zagreb.
94. Pavlin, K. (1981). *Taktika rukometa*. Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu. Zagreb.
95. Politeo, A. (2003). *Razlike motoričkih sposobnosti u odnosu na igrački kvalitet rukometaša mlađih dobnih skupina. (Diplomski rad)*, Split: Fakultet prirodoslovno-matematičkih znanosti i odgojnih područja Sveučilišta u Splitu, Zavod za kineziologiju.
96. Pori, P., Bon, M., & Sibila, M. (2005). Jump shot performance in team handball: A kinematic model evaluated on the basis of expert modelling. *Kinesiology*, 37(1), 40-49.
97. Rojas, F. J., Gutiérrez-Davila, M., Ortega, M., Campos, J., & Párraga, J. (2012). Biomechanical analysis of anticipation of elite and inexperienced goalkeepers to distance shots in handball. *Journal of human kinetics*, 34(1), 41-48.
98. Rogulj, N. (1993). Utjecaj situacijskih struktura kretanja na rezultat rukometne utakmice. *Konferencija o športu Alpe –Jadran, Zbornik radova*, Rovinj, 391-393.



99. Rogulj, N. (1995). *Rukomet podsjetnik za pripremu ispita*. Fakultet prirodoslovno matematičkih znanosti i odgojnih područja u Splitu: Split.
100. Rogulj, N., Papić, V., & Zanchi, V. (2001). Leg abduction kinematic characteristics of handball goalkeeper. *In 6th Annual Congress of the European College of Sport Science*. Hrvatska znanstvena bibliografija i MZOS-Svibor.
101. Rogulj, N., & Papić, V. (2004). Arm abduction-adduction kinematic characteristics of handball goalkeeper. *Workshop of signals and systems in human motion*, Dubrovnik, 52-56.
102. Rogulj, N., & Papić, V. (2005). Low side-step kinematic characteristics of handball goalkeeper. *The second IASTED International Conference on Biomedical Engineering*, Innsbruck, 662-666.
103. Rogulj, N., Foretić, N. (2007a). *Škola rukometa*. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Splitu: Split.
104. Rogulj, N., Foretić, N., Srhoj, V., Čavala, M., & Papić, V. (2007). Utjecaj nekih motoričkih sposobnosti na brzinu lopte kod udarca u rukometu. *Acta Kinesiological*, 1(2), 71-75.
105. Røislien, J., Skare, Ø., Gustavsen, M., Broch, N. L., Rennie, L., & Opheim, A. (2009). Simultaneous estimation of effects of gender, age and walking speed on kinematic gait data. *Gait & posture*, 30(4), 441-445.
106. Salah, T. (2010). Biomechanics Modeling to Evaluate the Performance Level of Skill Correction Jump of the Junior Handball Players. *World Journal of Sport Sciences*, 1(3), 514-519.
107. Sayers, M. G. (2011). Kinematic analysis of line-out throwing in elite international rugby union. *Journal of sports science & medicine*, 10(3), 553-558.
108. Schmidt-Nielsen, K. (1984). *Scaling: why is animal size so important?* Cambridge University. Cambridge: UK.
109. Schorer, J., Baker, J., Fath, F., & Jaitner, T. (2007). Identification of interindividual and intraindividual movement patterns in handball players of varying expertise levels. *Journal of Motor Behavior*, 39(5), 409-421.
110. Sidhu, L. S., Kansal, D. K., & Kanda, B. S. (1975). Anthropometric and roentgenogrammetric assessment of physique and body composition of athletes specialising in throwing events. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 15(3), 192-198.

111. Skarbalius, A. (2011). Monitoring Sport Performance In Handball. EHF Scientific Conference 2011. *Science and Analytical Expertise in Handball*. Vienna, 325-330.
112. Srhoj, V., & Rogulj, N. (1998). *Rukomet (skripta)*. Fakultet prirodoslovno matematičkih znanosti i odgojnih područja Sveučilišta u Splitu: Split.
113. Stančić, I. (2012). *Sustav za mjerenje i vrednovanje antropometrijskih parametara i kinematiku ljudskog kretanja - doktorska disertacija*. Fakultet elektronike, strojarstva i brodogradnje, Split.
114. Šibila, M., & Bon, M. (1999a). The physiological foundations of the muscle action in the handball goal shot. *Handball*, (2), 29-36.
115. Šibila, M., Bon, M., & Štihec, S. (1999b). Kinematic basis of the two different jump shot techniques in the handball. *6th Sport Kinetics Conference*, Ljubljana, 371-374.
116. Šibila, M., Pori, P., & Bon, M. (2003). Basic kinematic differences between two types of jump shot techniques in handball. *Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 33(1), 19-26.
117. Šibila, M., Vuleta, D., & Pori, P. (2004). Position-related differences in volume and intensity of large-scale cyclic movements of male players in handball. *Kinesiology*, 36(1), 58-68.
118. Šibila, M., Štuhec, S., Bon, M., & Pori, P. (2005). Kinematic analysis of Aleš Pajovič jump shot technique. *Proceedings, 4th International Scientific Conference on Kinesiology*, Opatija, 455-458.
119. Šimenc, Z., Pavlin, K., & Vuleta, D. (1998). *Osnove taktike rukometne igre*. Zagreb. Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu: Zagreb.
120. Taborsky, F., Tuma, M., & Zahalka, F. (1999). Characteristics of the woman's jump shot in handball. *Handball*, 1, 24-28.
121. Taborsky F. (2012). *Cumulative indicators of team playing performance in handball (Olympic Games Tournaments 2008)*, Publisher: EHF Web Periodical <http://www.eurohandball.com/publications>, visited 2012.
122. Threlkeld, A. J., Cooper, L. D., Monger, B. P., Craven, A. N., & Haupt, H. G. (2003). Temporospacial and kinematic gait alterations during treadmill walking with body weight suspension. *Gait & posture*, 17(3), 235-245.
123. Tilp, M., Wagner, H., & Müller, E. (2008). Differences in 3D kinematics between volleyball and beach volleyball spike movements. *Sports Biomechanics*, 7(3), 386-397.

124. Tinmark, F., Hellström, J., Halvorsen, K., & Thorstensson, A. (2010). Elite golfers' kinematic sequence in full-swing and partial-swing shots. *Sports Biomechanics*, 9(4), 236-244.
125. Tomljanović, V., & Malić, Z. (1982). *Rukomet-teorija i praksa*: Zagreb.
126. Triplett, N. T., Colado, J. C., Benavent, J., Alakhdar, Y., Madera, J. O., Gonzalez, L. M., & Tella, V. (2009). Concentric and impact forces of single-leg jumps in an aquatic environment versus on land. *Medical Science of Sports Exercising*, 41(9), 1790-1796.
127. Tsai, R.Y. (1987). A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision motrology using off-the-shelf TV cameras and lenses. *IEEEET Robotic Automatic*, 3(4), 323-344.
128. Uygur, M., Goktepe, A., Ak, E., Karabörk, H., & Korkusuz, F. (2010). The effect of fatigue on the kinematics of free throw shooting in basketball. *Journal of Human Kinetics*, 24, 51-56.
129. Van den Tillaar, R., & Ettema, G. (2003). Influence of instruction on velocity and accuracy of overarm throwing. *Perceptual and motor skills*, 96(2), 423-434.
130. Van den Tillaar, R., & Ettema, G. (2004a). Effect of body size and gender in overarm throwing performance. *European journal of applied physiology*, 91(4), 413-418.
131. Van Den Tillaar, R., & Ettema, G. (2004b). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *Journal of sports science & medicine*, 3(4), 211-219.
132. Van den Tillaar, R. (2005). The biomechanics of the elbow in overarm throwing sports: review article. *International SportMed Journal: Elbow Injuries in Sport: Part 1: The Biomechanics of the Elbow in Sport*, 6(1), 7-24.
133. Van den Tillaar, R., & Ettema, G. (2007). A three-dimensional analysis of overarm throwing in experienced handball players. *Journal of Applied Biomechanics*, 23, 12-9.
134. Van den Tillaar, R., & Ettema, G. (2009). A comparison of overarm throwing with the dominant and nondominant arm in experienced team handball players 1. *Perceptual and motor skills*, 109(1), 315-326.
135. Van den Tillaar, R., & Ettema, G. (2011a). A comparison of kinematics between overarm throwing with 20% underweight, regular, and 20% overweight balls. *Journal of applied biomechanics*, 27(3), 252-257.
136. Van den Tillar, R., & Marques, M. (2011b). Effect on training on ball release velocity and kinematics in overarm throwing among experienced female handball players. *Kinesiologia Slovenica*, 17 (2), 38-46.

137. Van Den Tillaar, R., & Cabri, J. M. (2012). Gender differences in the kinematics and ball velocity of overarm throwing in elite team handball players. *Journal of sports sciences*, 30(8), 807-813.
138. Villeger, D., & Watier, B. (2013). Analyse dynamique tridimensionnelle du pénalty au hand-ball selon le niveau d'expertise et la zone ciblée. *Movement & Sport Sciences*, 80(2), 31-37.
139. Vučinić, Đ. (1977). *Enciklopedija rukometnih vježbi*. Zrenjanin: Budućnost.
140. Vujić, J. (1982). *Relacije između eksplozivne snage i uspjeha u rukometu kod studenata FFK*. Diplomski rad. Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu.
141. Vuleta, D. (1997). *Kineziološka analiza tehničko-taktičkih sadržaja rukometne igre*. (Disertacija) Zagreb. Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu.
142. Vuleta, D., & Milanović, D. (2004). *Rukomet - znanstvena istraživanja*. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
143. Vuleta, D., Milanović, D., & Rataj, I. (2007). Vrednovanje tehničko-taktičkih elemenata srednjih vanjskih napadača u rukometu. 16. *LJETNA ŠKOLA KINEZIOLOGA REPUBLIKE HRVATSKE*, Poreč, 554-560.
144. Wagner, H., Klous, M., & Müller, E. (2006). Kinematics of the upward jumping throw in handball: Comparison of players with different level of performance. In *Proceedings of the XXIV International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 161-164). Salzburg: Department of Sport Science and Kinesiology, University of Salzburg, Austria.
145. Wagner, H., Kainrath, S., & Müller, E. (2008a). Coordinative and tactical parameters of team-handball throw. The correlation of level of performance, throwing quality and selected technique-tactical parameters. *Leistungssport*, 38(5), 35-41.
146. Wagner, H., & Müller, E. (2008b). Motor learning of complex movements. The effects of applied training methods (differential and variable training) to the quality parameters (ball velocity, accuracy and kinematics) of a handball throw. *Sports Biomechanics*, 7, 54-71.
147. Wagner, H., Buchecker, M., von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2010a). Kinematic comparison of team handball throwing with two different arm positions. *International journal of sports physiology and performance*, 5(4), 469-483.
148. Wagner, H., Buchecker, M., von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2010b). Kinematic description of elite vs. low level players in team-handball jump throw. *Journal of sports science & medicine*, 9(1), 15 - 23.







149. Wagner, H., Pfusterschmied, J., von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2011). Performance and kinematics of various throwing techniques in team-handball. *Journal of sports science & medicine*, 10(1), 73 - 80.
150. Wagner, H., Pfusterschmied, J., Klous, M., von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2012a). Movement variability and skill level of various throwing techniques. *Human movement science*, 31(1), 78-90.
151. Wagner, H., Pfusterschmied, J., Von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2012b). Skill-dependent proximal-to-distal sequence in team-handball throwing. *Journal of sports sciences*, 30(1), 21-29.
152. Wagner, H., Pfusterschmied, J., Tilp, M., Landlinger, J., von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2014). Upper-body kinematics in team-handball throw, tennis serve, and volleyball spike. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(2), 345-354.
153. Wedderkopp, N., Kaltoft, M., Lundgaard, B., Rosendahl, M., & Froberg, K. (1997). Injuries in young female players in European team handball. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 7(6), 342-347.
154. Werner, S. L., Fleisig, G. S., & Dillman, C. J.(1993). Biomechanics of the elbow during baseball pitching. *Journal Orthopedic Sport Fisiologic*, 17(6), 274-278
155. Whiting, W. C., Puffer, J. C., Finerman, G. A., Gregor, R. J., & Maletis, G. B. (1985). Three-dimensional cinematographic analysis of water polo throwing in elite performers. *The American journal of sports medicine*, 13(2), 95-98.
156. Zahalka, F., Tuma, M., & Bunz, V. (1997). 3-D Analysis of the man's and woman's jump shot in handball. *In Book of abstracts–Second annual congress of the European college of the sport science* , 360-366.
157. Zapartidis, I., Vareltzis, I., Gouvali, M., & Kororos, P. (2009). Physical fitness and anthropometric characteristics in different levels of young team handball players. *The Open Sports Sciences Journal*, 2, 22-28.
158. Zatsiorsky, V. (2000). Biomechanics in sport – performance enhancement and injury prevention. Blackweel Science.
159. Zmajčić, H., & Hraski, Ž. (1997). Komparativna kinematička analiza tri tehnike izvođenja teniskog servisa. 6. *Zagrebački sajam sporta. Dijagnostika treniranosti sportaša*, 74 - 80.

160. Zeni, J. A., Richards, J. G., & Higginson, J. S. (2008). Two simple methods for determining gait events during treadmill and overground walking using kinematic data. *Gait & posture*, 27(4), 710-714.
161. Zvonarek, N., Vuleta, D., & Hraski, Ž. (1997). Kinematička analiza dvije različite tehnike izvođenja skok šuta u rukometu [*Kinematic analysis of a two different shooting technique in handball*]. In Proceeding book „*Kinesiology - present and future*“, Dubrovnik, 180-182.
162. Zvonarek, N., & Tomac, Ž. (2001). *Mini rukomet*. Hrvatski rukometni savez: Zagreb.
163. Zvonarek, N. (2003). Improving personal techniques and tactics of feiting in handball by individual supplementary training and analysis of guards profiles. *Handball-EHF Periodical for Coaches, Referees and Lecturers*, 2, 59-63.
164. Zvonarek, N. (2005). Metodika poučavanja varki u pojedinačnom (individualnom) i grupnom trenažnom radu. *Seminar rukometnih trenera HRS-a (Zbornik radova)*, Pula, 23-25.
165. Zhang, Y., Liu, G., & Xie, S. (2012). Movement sequences during instep rugby kick: A 3D biomechanical analysis. *International Journal of Sport Science and Engineering*, 6(2), 89-95.







## 16. PRILOG - UPITNIK ZA EKSPERTNU PROCJENU







Cijenjeni eksperti, molimo vas da ispunite upitnik kojim se valorizira pravilnost i tehnička svrhovitost pojedine varijante tehničkog elementa skok štuta i varke jednostruke promjene smjera kretanja. Isto tako, na slikama su prikazane različite varijante izvedbe te vas molimo da ocijenite ocjenom od 1 do 5 tehničku pravilnost izvedbe pojedine varijante za svaku fazu navedenih tehničkih elemenata, na način:







- 1 – krajnje nepravilna izvedba
- 2 – nedovoljno pravilna izvedba
- 3 – prosječna izvedba
- 4 – u velikoj mjeri pravilna izvedba
- 5 – tehnički najpravilnija izvedba.







<p><b>Opis</b> 1.Faza zaleta –skok šut</p>	<p><b>Slika</b></p>	<p><b>Ocjena od 1 do 5</b></p>	<p><b>Opis</b> 1.Faza zaleta –skok šut</p>	<p><b>Slika</b></p>
<p>Zalet korakom noge suprotne izbačajnoj ruci</p>			<p>Zalet dvokorakom sa završnim korakom noge sukladne izbačajnoj ruci</p>	
<p>Zalet korakom noge sukladne izbačajnoj ruci</p>			<p>Zalet trokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci</p>	
<p>Zalet dvokorakom sa završnim korakom noge suprotne izbačajnoj ruci</p>			<p>Zalet trokorakom sa završnim korakom noge sukladne izbačajnoj ruci</p>	














<p><b>Opis</b> 2. Faza odraza – skok šut</p>	<p><b>Slika</b></p>	<p><b>Ocjena od 1 do 5</b></p>	<p><b>Opis</b> 2.Faza odraza –skok šut</p>	<p><b>Slika</b></p>
<p>Odras s prstiju noge suprotne izbačajnoj ruci</p>			<p>Odras valjanjem od pete prema prstima noge sukladne izbačajnoj ruci</p>	
<p>Odras s prstiju noge sukladne izbačajnoj ruci</p>			<p>Sunožni odras s prstiju iz paralelnog stava</p>	
<p>Odras valjanjem od pete prema prstima noge suprotne izbačajnoj ruci</p>			<p>Sunožni odras s valjanjem stopala iz paralelnog stava</p>	

Opis	Slika	Ocjena od 1 do 5	Opis 3.Faza leta – skok šut	Slika
Trup nagnut prema naprijed s ravnim paralelnim postavljanjem ramena			Trup uspravan s dijagonalnim postavljanjem ramena	
Trup nagnut prema naprijed s dijagonalnim postavljanjem ramena			Trup nagnut prema natrag s ravnim paralelnim postavljanjem ramena	
Trup uspravan s ravnim paralelnim postavljanjem ramena			Trup nagnut prema natrag s dijagonalnim postavljanjem ramena	

<p><b>Opis</b> 4.Faza izbačaja –skok šut</p>	<p><b>Slika</b></p>	<p><b>Ocjena od 1 do 5</b></p>	<p><b>Opis</b> 4.Faza izbačaja – skok šut</p>	<p><b>Slika</b></p>
<p>Lakat izbačajne ruke iznad razine ramena s pretjecanjem lakta</p>			<p>Lakat izbačajne ruke u razini ramena bez pretjecanja lakta</p>	
<p>Lakat izbačajne ruke iznad razine ramena bez pretjecanja lakta</p>			<p>Lakat izbačajne ruke ispod razine ramena s pretjecanjem lakta</p>	
<p>Lakat izbačajne ruke u razini ramena s pretjecanjem lakta</p>			<p>Lakat izbačajne ruke ispod razine ramena bez pretjecanja lakta</p>	

<p><b>Opis</b> 5. Faza doskoka –skok šut</p>	<p><b>Slika</b></p>	<p><b>Ocjena od 1 do 5</b></p>	<p><b>Opis</b> 5. Faza doskoka –skok šut</p>	<p><b>Slika</b></p>
<p>Doskok na lijevu „odraznu“ nogu</p>			<p>Doskok u dijagonalni stav s odraznom nogom (lijevom) naprijed, te zamašnom (desnom) nogom natrag</p>	
<p>Doskok na desnu „zamašnu“ nogu</p>			<p>Doskok u dijagonalni stav sa zamašnom nogom (desnom) naprijed, te odraznom (lijevom) nogom natrag</p>	
<p>Doskok na obje noge istovremeno u paralelan stav</p>			<p>Doskok na obje noge istovremeno u široki paralelni stav</p>	

<p><b>Opis</b> 1.Faza – varka jednostruke promjene smjera kretanja – lažna faza</p>	<p><b>Slika</b></p>	<p><b>Ocjena od 1 do 5</b></p>	<p><b>Opis</b> 1.Faza – varka jednostruke promjene smjera kretanja - lažna faza</p>	<p><b>Slika</b></p>
<p>Težište na stranu iskoračne noge, iskorak u stranu</p>			<p>Težište ravno, dijagonalni iskorak</p>	
<p>Težište na stranu iskoračne noge, dijagonalni iskorak</p>			<p>Težište u suprotnu stranu, iskorak u stranu</p>	
<p>Težište ravno, iskorak u stranu</p>			<p>Težište u suprotnu stranu, dijagonalni iskorak</p>	

<p><b>Opis</b> 2.Faza varka jednostruke promjene smjera kretanja -stvarna „izvršna“ faza</p>	<p><b>Slika</b></p>	<p><b>Ocjena od 1 do 5</b></p>	<p><b>Opis</b> 2.Faza varka jednostruke promjene smjera kretanja - stvarna „izvršna“ faza</p>	<p><b>Slika</b></p>
<p>Noga suprotna izbačajnoj ruci vrši kretnju dijagonalno naprijed, dok suprotna noga miruje</p>			<p>Noga sukladna izbačajnoj ruci izvodi iskorak dijagonalno naprijed, nakon čega i noga suprotna izbačajnoj ruci također vrši dijagonalni iskorak naprijed</p>	
<p>Noga suprotna izbačajnoj ruci vrši rotaciju stopala i dijagonalni iskorak naprijed dok suprotna noga miruje</p>			<p>Provedba sunožnog odraza u stranu, nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed</p>	
<p>Noga sukladna izbačajnoj ruci vrši kratki paralelni iskorak u stranu nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši dijagonalni iskorak naprijed</p>			<p>Noga sukladna izbačajnoj ruci vrši korak dijagonalno unatrag, nakon čega noga suprotna izbačajnoj ruci vrši iskorak ravno naprijed</p>	