

Kinematička uvjetovanost izvedbe saskoka s preče dvostrukog pruženog salta natrag s rotacijama oko uzdužne osi

Možnik, Marijo

Doctoral thesis / Disertacija

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:141125>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)





Sveučilište u Zagrebu

Kineziološki fakultet

Marijo Možnik

**KINEMATIČKA UVJETOVANOST IZVEDBE
SASKOKA S PREČE DVOSTRUKOG
PRUŽENOG SALTA NATRAG
S ROTACIJAMA OKO UZDUŽNE OSI**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2018.



University of Zagreb

Faculty of Kinesiology

Marijo Možnik

**KINEMATIC REQUIREMENT OF THE
HORIZONTAL BAR DISMOUNT DOUBLE
STRETCHED SOMERSAULT BACKWARD
WITH LONGITUDINAL AXIS TWISTS**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2018.



Sveučilište u Zagrebu

Kineziološki fakultet

Marijo Možnik

**KINEMATIČKA UVJETOVANOST IZVEDBE
SASKOKA S PREČE DVOSTRUKOG
PRUŽENOG SALTA NATRAG
S ROTACIJAMA OKO UZDUŽNE OSI**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Tomislav Krističević

Zagreb, 2018.



University of Zagreb

Faculty of Kinesiology

Marijo Možnik

**KINEMATIC REQUIREMENT OF THE
HORIZONTAL BAR DISMOUNT DOUBLE
STRETCHED SOMERSAULT BACKWARD
WITH LONGITUDINAL AXIS TWISTS**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:

Assoc. Prof. Tomislav Krističević, PhD

Zagreb, 2018.

Informacije o mentoru

Tomislav Krističević rođen je 6. ožujka 1972. godine u Zagrebu. Fakultet za fizičku kulturu u Zagrebu upisao je 1990. godine, a diplomirao je 1997. godine. Na istom fakultetu magistrirao je 2001. godine s temom *Usporedna analiza nekih kinematičkih parametara izvedbe salta naprijed u različitim sportovima*, a doktorirao 2009. godine s temom *Kinematička efikasnost izvođenja zgrčenog salta u akrobatskom rock`n`rollu*.

Od 1997. godine radi kao mlađi asistent na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na predmetu *Sportska gimnastika*, a sudjeluje i u nastavi izbornog predmeta *Akrobatika*. Kao suradnik sudjeluje u provođenju terenske nastave na predmetu *Skijanje* na sveučilišnom studiju kineziologije i stručnom studiju za izobrazbu trenera Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Voditelj je smjerova *Akrobatski rock`n`roll* i *Kuglanje* na stručnom studiju za izobrazbu trenera Studijskog centra za izobrazbu trenera. Od 1998. do 2001. godine vanjski je suradnik na Učiteljskoj akademiji Sveučilišta u Zagrebu na predmetu *Tjelesna i zdravstvena kultura*. 2011. godine izabran je za docenta, a 2017. godine za izvanrednog profesora na predmetu *Sportska gimnastika* integriranog preddiplomskog i diplomskog sveučilišnog studija kineziologije. Od 2013. do 2017. godine obnaša funkciju prodekana za poslovnu politiku i financije Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a 2017. godine izabran je za dekana istog fakulteta. 2016. godine bio je imenovan za posebnog savjetnika za sport Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.

Aktivno sudjeluje na domaćim i međunarodnim znanstveno-stručnim konferencijama i istraživanjima, a napisao je ili sudjelovao u izradi 50-ak znanstvenih i stručnih radova. Autor je sveučilišnih udžbenika *Osnove sportske gimnastike* i *Sportska gimnastika* te je suradnik na još dva sveučilišna udžbenika. Sudjelovao je na tri znanstvena projekta iz područja biomehanike financiranih od strane MZOS RH te je bio koordinator i koautor stručnog projekta „Pedagoški standardi i normativi rada trenera u sportu“ kojeg je provodio Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu u suradnji sa Sportskim savezom Grada Zagreba.

Bio je dio stručno-trenerskog tima skijaša Janice i Ivice Kostelić, te je 2011. godine proglašen najboljim kondicijskim trenerom u Republici Hrvatskoj od strane Udruge kondicijskih trenera RH. Od 1992. do 2002. godine pripadnik je Specijalne jedinice policijske uprave „Alfa“, aktivni sudionik Domovinskog rata. Nosioc je Spomenice Domovinskog rata, Medalja Bljesak i Oluja.

Zahvala

Hvala mentoru izv.prof.dr.sc. Tomislavu Krističeviću koji mi je dao priliku za suradnju i pomogao u prikupljanju podataka i izradi ovog rada.

Hvala izv.prof.dr.sc. Željku Hraskom koji me uveo u istraživačku i nastavnu djelatnost imajući povjerenja da mogu istovremeno graditi sportsku i akademsku karijeru.

Hvala izv.prof.dr.sc. Ljubomiru Antekoloviću i prof.dr.sc. Vladimiru Medvedu na konstruktivnoj i dobronamjernoj suradnji.

Hvala prof.dr.sc. Ivanu Čuku koji mi je pružio vrijedne savjete i sugestije te nesebično dijelio svoje vrijeme, znanje i iskustvo.

Hvala mojim trenerima, Tigranu Goričkom i Željku Jambroviću koji su tijekom naše suradnje pokazali razumijevanje i strpljenje za sve moje ambicije i egzibicije u dvorani i izvan nje.

Hvala svim prijateljima koji su mi velika podrška u sportskim i životnim pobjedama i porazima.

Veliko hvala mojoj Mariji koja mi je najveća potpora i oslonac u životu.

Posebnu zahvalnost upućujem majci Mari i ocu Darku koji su svoje živote podredili da moj brat Darijo i ja ostvarujemo svoje snove. Darijo više nije s nama, ali kao sva sportska – i ovo akademsko postignuće je posvećeno njemu, i našim roditeljima.

M.M.

SAŽETAK

Natjecateljske vježbe u sportskoj gimnastici izvode se na šest sprava. Posljednja sprava prema olimpijskom redoslijedu je preča, koju zbog kompleksnih, virtuoznih te zahtjevnih elemenata koje gimnastičari izvode, prati i epitet *kraljevske* discipline. Jedna od grupa elemenata na preči su i saskoci, koji imaju znatan utjecaj na konačnu ocjenu te plasman na natjecanju. U ovom radu istraženi su svi saskoci s preče dvostrukih pruženih salta natrag s rotacijama oko uzdužne osi koji se trenutno nalaze u FIG Bodovnom pravilniku.

Cilj rada bio je utvrditi kinematičku uvjetovanost izvedbe saskoka s preče dvostrukog pruženog salta natrag s različitim količinama rotacija oko uzdužne osi gimnastičara te razlikuju li se i u kojim varijablama saskoci prema kriteriju broja okreta oko uzdužne osi.

Prikupljanje podataka izvršeno je tijekom službenog FIG turnira Svjetskog Challenge kupa u Osijeku 2016. godine. Uzorak ispitanika činilo je ukupno 12 vrhunskih gimnastičara (18-29 god, 159-183 cm, 55-80 kg), predstavnika nacionalne reprezentacije iz 10 različitih zemalja. Za kinematičku analizu odabrano je 15 različitih izvedbi saskoka s preče podijeljenih u tri grupe po pet saskoka, prema rotacijama oko uzdužne osi (360°, 720°, 1080°). Kinematička 3D analiza izvršena je sustavom APAS (Ariel Performance Analysis Sistem). Na temelju položaja centra težišta tijela u odnosu na pritku određeno je pet pozicija u kojima se obradilo ukupno 128 varijabli programskim paketom SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Rezultati su potvrdili postavljenu istraživačku hipotezu da različite količine rotacija oko uzdužne osi karakterizira specifičan odnos biomehaničkih varijabli i parametara koji definiraju trajektoriju leta te iniciranje i kontrolu rotacija oko poprečne i uzdužne osi. Rezultati potvrđuju i hipotezu da se grupe saskoka klasificirane temeljem broja okreta oko uzdužne osi razlikuju po parametrima unutar pojedinih varijabli. Statistička obrada podataka pokazala je da u određenim pozicijama postoje razlike u parametrima unutar pojedinih varijabli te razlike između grupa saskoka u ukupno 74 varijable. Varijable su razlikovale grupe saskoka s jednim i dva okreta oko uzdužne osi u pet određenih pozicija tijela ukupno 14 puta, s dva i tri okreta 60 puta, a s jednim i tri okreta 84 puta.

Rezultati su pokazali da sigurnu i uspješnu izvedbu saskoka s preče dvostrukog pruženog salta natrag s tri okreta oko uzdužne osi uvjetuje značajno povećanje vrijednosti parametara više

biomehaničkih varijabli u odnosu na saskoke s jednim ili dva okreta, koji se međusobno i u odnosu na saskoke s tri okreta razlikuju u manje varijabli te u manjem omjeru.

Rezultati su ukazali na vrijednosti određenih biomehaničkih parametara prilikom izvedbe velekovrtljaja za saskok dvostruki pruženi salto natrag, koji su preduvjeti za nadogradnju saskoka dodavanjem jednog, dva, a potom i tri okreta oko uzdužne osi.

Osim pomoći u trenažnom procesu, rezultati ovog istraživanja ukazali su i na potrebu razmatranja dodjele veće težinske vrijednosti saskoku dvostrukom pruženom saltu natrag s tri okreta oko uzdužne osi u FIG Bodovnom pravilniku.

Ključne riječi: gimnastika, preča, biomehanika, velekovrtljaj, kut, brzina

ABSTRACT

Men`s artistic gymnastics consist of six apparatus. The last apparatus in the Olympic order is a horizontal bar, which due to the complex, virtuos and demanding elements that gymnasts perform has the epitome of *royal* discipline. Dismounts are a group of elements which gymnasts use to finish their routine and which therefore affect the final score and the competition rank. In this paper, all horizontal bar double salto backward stretched dismounts with rotations along longitudinal axis that are currently in the FIG Code of Points were analysed.

The aim of the paper was to determine the kinematic requirement of the horizontal bar dismounts performance double stretched somersault backward with different amount of rotations around longitudinal axis of the gymnast and whether there are and which are the variables that differ dismounts between different turns around the longitudinal axis of the gymnast.

Data collection took place during the official 2016 FIG World Challenge Cup tournament in Osijek. A sample was a total of 12 elite gymnasts (18-29 y.o., 159-183 cm, 55-80 kg), representatives of the national team from 10 different countries. For the purpose of kinematic analysis, 15 different dismounts were selected, divided into three groups by five dismounts, according to the rotations around the longitudinal axis (360° , 720° , 1080°). Data processing was performed according to the APAS procedures (Ariel Performance Analysis System). Five positions were defined in which a total of 128 variables were analyzed by the SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) program package.

The results confirmed the established research hypothesis that different amount of rotation around the longitudinal axis are characterized by a specific relationship between biomechanical variables and parameters defining the trajectory of the flight and initiating and controlling the rotation around the transverse and longitudinal axis and the hypothesis that the group of dismounts classified according to the number of turns around the longitudinal axis differ according to the parameters within certain variables. Statistical data processing has shown that in certain positions there are differences in parameters within certain variables and the difference between dismounts group in a total of 74 variables. In five specific positions of the body, variables have differ dismounts with 1 and 2 turns around the longitudinal axis in total of 14 times, with 2 and 3 turns 60 times and with 1 and 3 turns 84 times.

The results showed that for performance of double stretched somersault backward dismounts with 3 turns around the longitudinal axis it's necessary to significantly increase the values of parameters of multiple biomechanical variables that condition a safe and successful execution with respect to dismounts with 1 or 2 turns that interact with each other and with respect to dismounts with 3 turns in a smaller number of variables and in a smaller ratio.

The information from this research suggests the need to achieve certain biomechanical parameters while learning the dismount double stretched somersault backward in order to prepare the conditions for a successful upgrading of a double stretched somersault backward dismount by adding 1, 2, and then 3 turns around the longitudinal axis.

In addition to help in the training process, the results indicated the need to consider assigning a higher difficulty value to the dismount *Fedorchenko* in the FIG Code of Points.

Ključne riječi: gymnastics, horizontal bar, biomechanics, giant swing, angle, speed

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. SPORTSKA GIMNASTIKA	1
1.1.1. Ocjenjivanje u sportskoj gimnastici	2
1.2. PREČA	5
1.2.1. Razvoj preče	6
1.2.2. Razvoj elemenata na preči	7
1.2.3. Saskoci s preče	9
1.2.4. Pripremni velekovrtljaji za saskok s preče	11
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	14
3. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	27
4. METODE ISTRAŽIVANJA	28
4.1. UZORAK ISPITANIKA	28
4.2. UZORAK ELEMENATA	29
4.3. UZORAK VARIJABLI	30
4.4. PRIKUPLJANJE PODATAKA	31
4.5. IZRAČUNAVANJE KINEMATIČKIH PARAMETARA	32
4.6. METODE OBRADE PODATAKA	34
5. REZULTATI I RASPRAVA	35
5.1. PRIPREMNI VELEKOVRTLJAJ ZA SASKOK S PREČE	68
5.1.1. Centar težišta tijela iznad pritke	72
5.1.2. Centar težišta tijela iza pritke	76
5.1.3. Centar težišta tijela ispod pritke	77
5.2. PUŠTANJE PRITKE	79
5.2.1. Faza leta	84
5.3. KONTAKT STOPALA S PODLOGOM PRI DOSKOKU	88
5.4. OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA I PERSPEKTIVE	91
6. ZAKLJUČAK	93
7. LITERATURA	96
ŽIVOTOPIS AUTORA	104

1. UVOD

1.1. SPORTSKA GIMNASTIKA

Pojam *gimnasticiranja*, odnosno tjelesnog vježbanja, datira još iz stare Grčke. Prema autoru Jajčević (2010) Grci su iz riječi *gymnos* („nenaoružan“; „bez vanjskog pokrova“; nag), prostor za vježbanje imenovali *gymnasion*, a svakodnevno vježbanje zvali su *gymnastike*.

Pregledom stručne i znanstvene literature te internet stranica, mogu se naći razne definicije sportske gimnastike. Autor Vazzas (1975) pojam gimnastike objasnio je kao „sustav posebno odabranih tjelesnih vježbi i metodičkih postupaka kojima je prvenstveni cilj skladan tjelesni razvoj i usavršavanje kretnih sposobnosti, jačanje zdravlja, postizanje okretnosti, snage, brzine pokreta, izdržljivosti“. Autorica Živčić (2000) za definiciju sportske gimnastike s gledišta kineziološke znanosti navodi: „Sportska gimnastika se ukratko može definirati kao grana sporta u kojoj se estetski oblikovane aciklične kretne strukture vrjednuju prema unaprijed propisanoj konvenciji gibanja definiranoj Bodovnim pravilnikom za ocjenjivanje koji je propisala Međunarodna gimnastička organizacija“. Sažetu definiciju sportske gimnastike predstavili su autori Živčić Marković i Krističević (2016) koji navode da se „sportska gimnastika može definirati kao sportska grana u kojoj gimnastičari na različitim spravama gimnastičkog višeboja izvode gimnastičke vježbe koje se sastoje od niza raznovrsnih gimnastičkih elemenata i njihovih kombinacija“.

Sportska gimnastika je estetski sport kojim se bave muškarci i žene. Muškarci se natječu na šest sprava: tlo, konj s hvataljkama, karike, preskok, ruče i preča, dok se žene natječu na četiri sprave: preskok, dvovisinske ruče, greda i tlo. Budući da se na tlu i preskoku natječu muškarci i žene, sportska gimnastika obuhvaća ukupno osam različitih sprava. Osim natjecanja u pojedinačnim disciplinama, žene i muškarci natječu se i u disciplini višeboj te kao ekipe u ekipnoj disciplini.

Međunarodna gimnastička organizacija (*Fédération Internationale de Gymnastique*) kontrolira i propisuje osnovna pravila gimnastičkog sporta u svijetu. Pod ovu organizaciju danas spada (FIG, 2018):

- Gimnastika za sve
- Muška sportska gimnastika
- Ženska sportska gimnastika
- Ritmička gimnastika
- Trampolin
- Akrobatika
- Aerobika
- Parkour

Međunarodna gimnastička organizacija osnovana je 23. srpnja 1881. godine u Liegu (Belgija), a danas ima sjedište u švicarskom gradu Lausanne.

1.1.1. Ocjenjivanje u sportskoj gimnastici

Plasman u sportskoj gimnastici ostvaruje se na temelju ostvarene konačne ocjene (a u slučajevima iste konačne i na temelju ocjene težinske vrijednosti) za izvedenu vježbu. Konačna ocjena predstavlja zbroj ocjene težinske vrijednosti vježbe (*D-score*¹) i ocjene tehničko-estetske izvedbe vježbe (*E-score*²). U tom smislu, sudačka komisija na svakoj spravi sastoji se od D (*Difficulty*) i E (*Execution*) komisije te pomoćnih sudaca (na nekim spravama).

Sustav bodovanja u sportskoj gimnastici određen je Bodovnim pravilnikom (FIG Code of Points, 2017) koji izdaje Međunarodna gimnastička organizacija (FIG³) za svaki olimpijski ciklus. U FIG Bodovnom pravilniku navedeni su svi elementi, razvrstani po spravama i

¹ *D-score* – eng., Difficulty score (Ocjena težine)

² *E-score* – eng., Execution score (Ocjena izvedbe)

³ FIG – Fédération Internationale de Gymnastique

težinskim vrijednostima te raspoređeni po grupama elemenata. Kako bi gimnastičar postigao maksimalnu bonifikaciju, vježba mora sadržavati barem jedan element iz svake grupe elemenata. Elementi su razvrstani po grupama kako bi vježbe bile raznovrsne, tj. kako bi gimnastičar pokazao da raspolaže znanjem elemenata različitih kretnih struktura.

Danas prema FIG Bodovnom pravilniku (FIG Code of Points, 2017) postoje 4 grupe elemenata na preči:

- EG⁴ I Zamasi i okreti u dugom visu
- EG II Elementi leta
- EG III Elementi uz pritku i Adler elementi
- EG IV Saskoci

Težinske vrijednosti elemenata raspoređene su prema slovima abecede – od *A* kao najlakšeg do *I* kao najtežeg elementa. Trenutno postoji samo jedan element *I* težine, na preči – *Miyachi*⁵.

Jedna od grupa elemenata koja se pojavljuje na većini sprava su saskoci (osim na tlu i preskoku). Saskok je posljednji element u vježbi, a da bi se zadovoljio poseban uvjet za bonifikaciju, element kojim gimnastičar završava vježbu mora biti minimalno *D* težinske vrijednosti. Iz tog razloga vrhunski gimnastičari najčešće izvode saskoke *D* ili veće težinske vrijednosti.

Procjena efikasnosti izvedbe elemenata u gimnastici temelji se na subjektivnoj procjeni sudaca. Zato su u FIG Bodovnom pravilniku vrlo detaljno razrađeni kriteriji ocjenjivanja za komisiju koja ocjenjuje izvedbu elemenata (*E-score*), tj. točno je određeno koliki odbitak suci mogu dati ovisno o grešci koju je gimnastičar napravio (mala, srednja, velika greška i pad). Kako bi se povećala objektivnost u suđenju, komisija za određivanje težinske vrijednosti vježbe

⁴ EG – Element Group

⁵ *Miyachi* – Pruženi Kovacs s 2/1 okreta

(*D-score*) sastoji se od dva suca, a komisija koja daje ocjenu za izvedbu vježbe (*E-score*), sastoji se od minimalno četiri suca za međunarodna natjecanja, a na Svjetskom prvenstvu i Olimpijskim igrama pet sudaca te dva *reference suca*⁶.

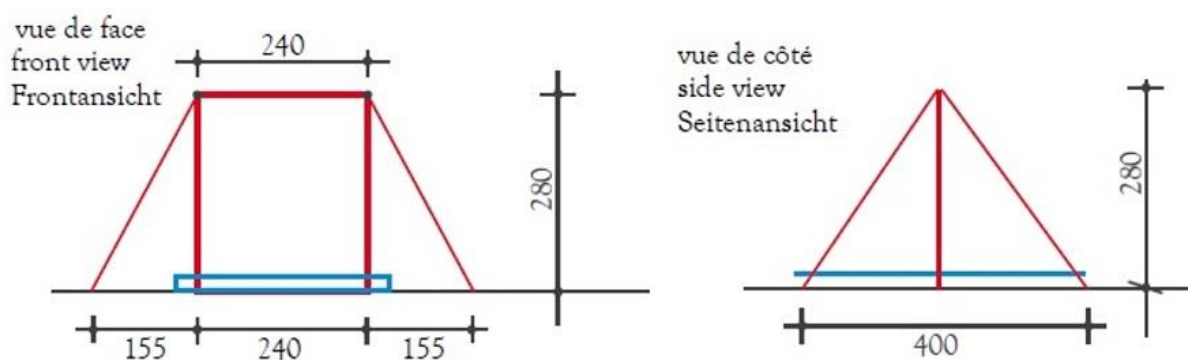
Iako se povećanjem broja sudaca pokušava povećati objektivnost suđenja, pojavile su se i inicijative da se uvedu određene biomehaničke metode za procjenu kvalitete tehničke izvedbe elemenata, jer za visoku ocjenu gimnastičar mora izvesti vrlo zahtjevnu vježbu s više kompleksnih elemenata, a sve to uz odgovarajuću tehniku i visoku razinu estetske izvedbe. Neki elementi su toliko precizni i brzi da ljudsko oko ne može sa sigurnošću utvrditi jesu li izvedeni pravilno, tj. o kolikoj se grešci radi.

Kada je riječ o biomehanici, Prassas, Kwon i Sands (2006) navode: „Biomehanika je prikladna za istražiti, opisati, razviti i poboljšati tehniku. Iako mnoge varijable utječu na uspjeh u sportu, uključujući psihološke i fiziološke faktore, biomehaničke spoznaje kao odraz pravilne ili nepravilne tehnike su ključne“. Iako nisu implementirane u sustav gimnastičkih natjecanja, osnovne biomehaničke analize izvedbe elemenata često se koriste u trenažnom procesu vrhunskih gimnastičara, pogotovo u procesu učenja zahtjevnih elemenata.

⁶ *Reference Judges* – Suci čija je uloga automatska korekcija u slučaju problema sa *E-score*

1.2. PREČA

Preča je šesta, posljednja disciplina u muškoj sportskoj gimnastici prema olimpijskom redoslijedu. Sastoji se od okrugle metalne šipke promjera 2,8 cm i širine 240 cm, koja je učvršćena na dva vertikalna nosača na visini od 280 cm od tla, odnosno 260 cm mjereno od visine strunjače koja se obavezno nalazi ispod preče, a sve skupa fiksirano je za tlo pomoću četiri čelične sajle koje su učvršćene u tlo na četiri ankera raspoređenih u dimenziji 4 x 5 metara (slika 1). Osim obavezne tvrde strunjače od 20 cm, na nju se postavlja dodatna, mekša strunjača od 10 cm (FIG Apparatus Norms, 2017).



Slika 1. Dimenzije preče – pogled sprijeda i bočno (preuzeto iz FIG Apparatus Norms, 2017)

Ovu spravu često prati epitet *kraljevske discipline*. Osim što se u finalu višeboja i timskih natjecanja, upravo na preči kao posljednjoj spravi, saznaje odluka o konačnom plasmanu i raspodjeli medalja, finala natjecanja po spravama najčešće završavaju s prečom. Ovaj epitet zaslužila je i kao jedna od najatraktivnijih, ali i potencijalno najopasnijih sprava u gimnastici. Autori Karácsony i Čuk (2015) pretpostavljaju da je svoju popularnost stekla i zahvaljujući sličnosti s uzbudljivim i spektakularnim vježbama cirkuskih akrobata. Tu se pogotovo misli na vrlo atraktivne *elemente leta* u kojima gimnastičar pušta pritku, izvodi određenu kretnu strukturu u zraku i zatim ponovo hvata pritku te nastavlja s vježbom. Jedan od posebno atraktivnih elemenata leta je zgrčeni salto i pol natrag preko pritke (*Kovacs*) koji je prvi izveo mađarski gimnastičar Péter Kovács na Europskom prvenstvu u Essenu 1979. godine. Nakon toga pojavile su se razne varijacije ovog elementa – sklonjeni i pruženi salto i pol, zgrčeni salto i pol s jednim okretom oko uzdužne osi (*Kolman*), pruženi salto i pol s jednim okretom oko uzdužne osi (*Cassina*), zgrčeni salto i pol s dva okreta oko uzdužne osi (*Bretschneider*), pa sve do iznimno kompleksnog, zahtjevnog i atraktivnog elementa *Miyachi* – pruženi salto i pol s dva okreta oko uzdužne osi. Osim elemenata leta u kojima gimnastičar

izvodi salto iznad pritke, vrlo atraktivni i često izvođeni su i elementi leta u kojima gimnastičar izvodi prelet iznad pritke bez salta s nogama raznožno, sklonjeno ili sunožno, npr. *Tkachev*, *Yamawaki* ili *Piatti*. Danas u FIG Bodovnom pravilniku postoje 43 elementa leta, a gimnastičar ih u vježbi na natjecanju smije izvesti najviše 5 (FIG Code of Points, 2017).

1.2.1. Razvoj preče

Preča, kakvu poznajemo danas, prošla je svoj razvoj kroz povijest. Ne može se sa sigurnošću utvrditi kada se točno počelo sustavno vježbati na preči. Autori Karácsony i Čuk (2015) navode: „Prirodni okoliš s drvećem omogućio je ljudima da vise i mijenjaju pozicije iz visa do upora kako bi došli do hrane, iz sigurnosnih razloga (kako bi pobjegli od neprijatelja) ili samo zbog zabave (dječje igre).“ S vremenom se razvijao način dolaska do hrane dok su se za bijeg od neprijatelja našla kvalitetnija i praktičnija skloništa, a drveće se nastavilo koristiti za igru. Prvi zapisi o izvođenju velekovrtljaja na preči ili horizontalnom užetu vežu se uz antičke Kineze i Eskime (Vazzaz i Gregorka, 1984). Ipak, za začetnika moderne gimnastike možemo smatrati F. L. Jahna koji je 1812. godine postavio nekoliko pritki između drveća (Spieth, 1989).

Iako po konstrukciji jednostavna sprava, preča je imala svoj razvojni put i u smislu zaštite ruku, tj. dlanova te osiguranja adekvatnog hvata (Karácsony i Čuk, 2015). Razvoj preče prema autoru Gasch (1920) može se podijeliti na nekoliko faza:

- Pritka je izrađena od jakih stabala poput hrasta, crvene bukve, lješnjaka, brijesta, javora ili jasena. Drva bi se trebala prvo posušiti, zatim oguliti i nauljiti (da bi se spriječile rupture) te izbrusiti brusnim papirom.
- Pritka se radi od dugo odležane bukve, bora ili hrasta. Presjek kroz vlakna mora biti pravokutan.
- Oko željezne šipke je tanka drvena navlaka.
- Željezna pritka s grubom površinom.
- Čelična šipka (od 1920. godine).

Kako se razvijala pritka, tako se razvijala i vertikalna konstrukcija koja drži pritku na određenoj visini. Materijali od kojih se konstrukcija razvijala, pratili su razvoj same pritke pa je tako u početku konstrukcija bila drvena, zatim željezna, a danas se nosači pritke izrađuju od čeličnih cijevi (Karácsony i Čuk, 2015). Konstrukcija je učvršćena sa četiri čelične sajle koje se spajaju na ankere u tlu koji su postavljeni u području od 4 x 5 metara. Zbog sigurnosnih razloga u slučaju pucanja pritke, danas se prema FIG normama za sprave (FIG Apparatus Norms, 2017) kroz čeličnu pritku provlači i čelična sajla kako se pri pucanju pritke ne bi cijela konstrukcija preče srušila te se na taj način omogućuje gimnastičaru da sigurnije doskoči s preče. Kroz povijest mijenjala se i visina preče. Danas je standardna visina 280 cm od poda, tj. 260 cm mjereno od tvrde strunjače koja je obavezna ispod preče. Gimnastičari mogu uložiti zahtjev za dizanje pritke na veću visinu ukoliko za to postoji potreba. Te se ipak rijetko događa jer je prosječna visina gimnastičara koji nastupaju na preči 168 cm (Možnik, Hraski Ž. i Hraski M., 2013).

Razvoj preče pratio je i razvoj područja za doskok. U početku je ispod preče bila trava, pijesak ili u nekim slučajevima, čak i voda. Kasnije su se razvile strunjače. To je pogotovo do izražaja došlo zbog dinamičnijih vježbi koje su sadržavale sve teže i opasnije elemente, poput elemenata leta u kojima se događalo da gimnastičar ne može doskočiti prvo na noge. Osim elemenata leta i saskoci s preče postajali su sve kompleksniji i sve viši te je bilo potrebno stvoriti podlogu koja će biti sigurna za gimnastičare. Danas se ispod i oko preče nalaze strunjače, tvrđa od 20 cm na koju se postavlja dodatna, mekša strunjača od 10 cm. (Karácsony i Čuk, 2015)

1.2.2. Razvoj elemenata na preči

Kako se razvijala konstrukcija preče, tako su se razvijali i elementi koje su gimnastičari izvodili. U početku su to bili elementi uz pritku, manjih amplituda, da bi s vremenom i razvojem preče i područja za doskok gimnastičari počeli izvoditi elemente daleko od pritke, puno većih amplituda, elemente leta te saskoke s jednim i više salta i rotacija oko uzdužne osi.

Prema FIG Bodovnom pravilniku (FIG Code of Points, 2017) „suvremena vježba na preči mora biti dinamična i sastojati se od fluidno povezanih zamaha, okreta i elemenata leta, naizmjenično između izvedenih elemenata uz i daleko od pritke, raznim hvatovima ruku, kako bi se pokazao potpuni potencijal sprave“. FIG Bodovni pravilnik nalaže i da bi u vježbu gimnastičar trebao uključiti samo one elemente koje može izvesti potpuno sigurno te s visokim stupnjem estetske i tehničke izvedbe. Vježba na preči sastoji se od elemenata različitih težinskih vrijednosti iz različitih grupa elemenata, a svaka vježba završava elementom iz posljednje grupe elemenata – *Saskoci*. Zbog specifičnosti vježbi jedino na tlu i preskoku ne postoji ova grupa elemenata. Svi elementi sa slikovnim prikazom, opisom, simbolom i nazivom elementa (ukoliko postoji) nalaze se u Bodovnom pravilniku Međunarodne gimnastičke organizacije (FIG Code of Points, 2017). Bodovni pravilnik Međunarodna gimnastička organizacija izdaje na početku svakog olimpijskog ciklusa, a tijekom olimpijskog ciklusa moguće su male izmjene, poput unosa novih elemenata i prezimena gimnastičara po kojem je element dobio naziv.

Određeni elementi uz opis sadrže i naziv, tj. prezime gimnastičara koji ga je prvi u svijetu izveo. Da bi element dobio naziv, prema FIG Bodovnom pravilniku gimnastičar ga mora prijaviti i uspješno izvesti na službenom FIG natjecanju na kojem je akreditiran i tijekom natjecanja prisutan FIG Tehnički delegat ili član FIG Tehničkog odbora muške sportske gimnastike. Nakon toga, na temelju video zapisa uspješno izvedenog elementa na natjecanju FIG Tehnički odbor muške sportske gimnastike donosi odluku zadovoljava li element sve preduvjete da se upiše u FIG Bodovni pravilnik, koja će mu se težinska vrijednost dodijeliti te je li element dovoljno kompleksan i originalan da dobije prezime po gimnastičaru koji ga je prvi prijavio i uspješno izveo. U FIG Bodovnom pravilniku trenutno dva hrvatska gimnastičara imaju element upisan pod njihovim prezimenom – *Moznik*⁷ na preči i *Korosteljev*⁸ na tlu. Element *Moznik* prvi put je izveo gimnastičar iz Zagreba, Marijo Možnik na Svjetskom prvenstvu u Stuttgartu 2007. godine te je isti službeno dobio naziv u FIG Bodovnom pravilniku 2009. godine, a element *Korosteljev* prvi put je izveo gimnastičar iz Osijeka, Andrej Korosteljev na Svjetskom kupu u Osijeku 2015. godine te je isti službeno dobio naziv u FIG Bodovnom pravilniku 2017. godine.

⁷ *Moznik* – Pruženi Tkatchev s ½ okreta u mix el-grip hvat zanjihom do stoja na rukama

⁸ *Korosteljev* – Pruženi salto natrag s 3/2 okreta u zgrčeni salto naprijed

1.2.3. *Saskoci s preče*

Preča je jedna od najatraktivnijih sprava u sportskoj gimnastici. Osim što se na preči izvode elementi leta, svaka vježba na preči završava s još jednim vrlo atraktivnim elementom – saskok. Saskoci s preče su također elementi koji u sebi sadržavaju fazu leta, ali nakon te faze, odnosno izvedbe elementa u zraku, gimnastičar ne hvata ponovo pritku, već doskače na noge i završava vježbu.

Danas postoje 32 različita saskoka s preče, težinskih vrijednosti od najlakših *A* do najtežih *G* saskoka (FIG Code of Points, 2017), a 9 saskoka nosi prezime gimnastičara. Da bi se zadovoljio posebni uvjet za dobivanje bonifikacije, gimnastičar treba izvesti saskok minimalno *D* težinske vrijednosti. Zbog toga su najčešće izvođeni saskoci vrhunskih gimnastičara na preči *D* ili *E*, ponekad *F*, a iznimno rijetko i saskoci *G* težinske vrijednosti.

U FIG Bodovnom pravilniku postoje samo tri saskoka *G* težinske vrijednosti – *Rumbutis*⁹, *Fardan*¹⁰ i *Belle*¹¹. Sva tri saskoka uključuju tri okreta oko poprečne osi, a zbog iznimne kompleksnosti saskoka *G* težinske vrijednosti te uzimajući u obzir umor koji se javlja na kraju vježbe, ovi saskoci rijetko se izvode na natjecanjima.

Saskok dvostruki pruženi salto natrag izvodi se i s okretima oko uzdužne osi, pa danas postoje:

- dvostruki pruženi salto natrag s 1/1 okretom; *D* težina (slika 2)

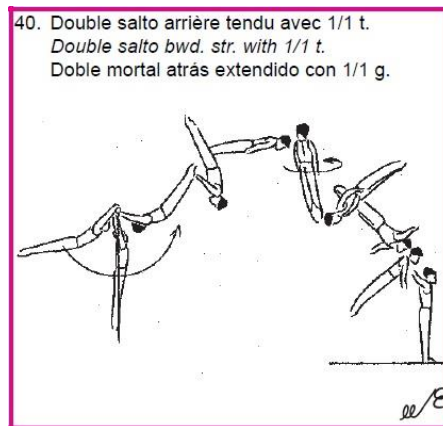
- *Watanabe* – dvostruki pruženi salto natrag s 2/1 okreta; *E* težina (slika 3)

- *Fedorchenko* – dvostruki pruženi salto natrag s 3/1 okreta; *F* težina (slika 4)

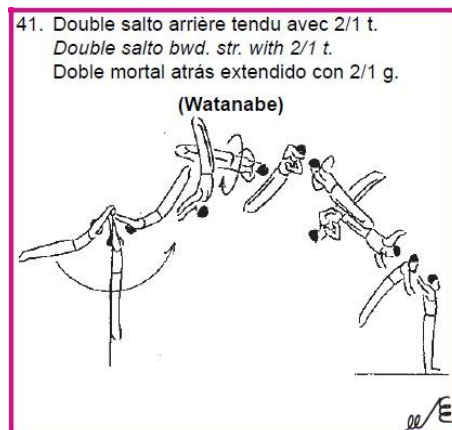
⁹ *Rumbutis* – Trostruki grčeni salto naprijed

¹⁰ *Fardan* – Trostruki sklonjeni salto natrag

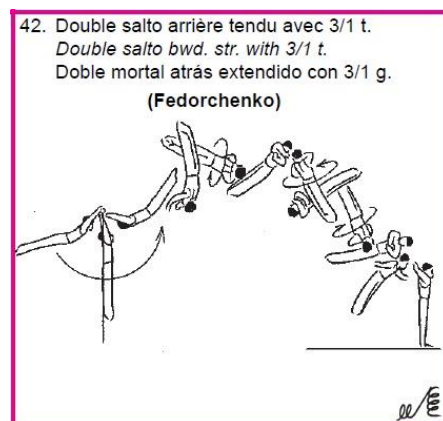
¹¹ *Belle* – Trostruki grčeni salto natrag s 1/1 okretom



Slika 2. Dvostruki pruženi salto natrag s 1/1 okretom
 (preuzeto iz FIG Code of Points, 2017)



Slika 3. Dvostruki pruženi salto natrag s 2/1 okreta – „Watanabe“
 (preuzeto iz FIG Code of Points, 2017)



Slika 4. Dvostruki pruženi salto natrag s 3/1 okreta – „Fedorchenko“
 (preuzeto iz FIG Code of Points, 2017)

Dvostruki pruženi salto natrag prvi je izveo 1974. godine na Chunishi kupu Valerij Loschkin, gimnastičar Sovjetskog Saveza. Dvostruki pruženi salto natrag s 1/1 okretom prema autoru Nakasone (2015), izveo je 1979. godine na Svjetskom prvenstvu nepoznati kubanski gimnastičar. Japanski gimnastičar Mitsuaki Watanabe na Svjetskom prvenstvu 1983. godine izveo je prvi put dvostruki pruženi salto natrag s 2/1 okreta, a Gotze i Uhr (1994) tvrde da je dvostruki pruženi salto natrag s 2/1 okreta prvi izveo već 1979. godine na juniorskom natjecanju prijateljstva između socijalističkih zemalja Jurij Koroljev, gimnastičar Sovjetskog Saveza. Kazahstanski gimnastičar Sergej Fedorchenko na Svjetskom prvenstvu 1995. godine prvi je put izveo dvostruki pruženi salto natrag s 3/1 okreta (Nakasone, 2015).

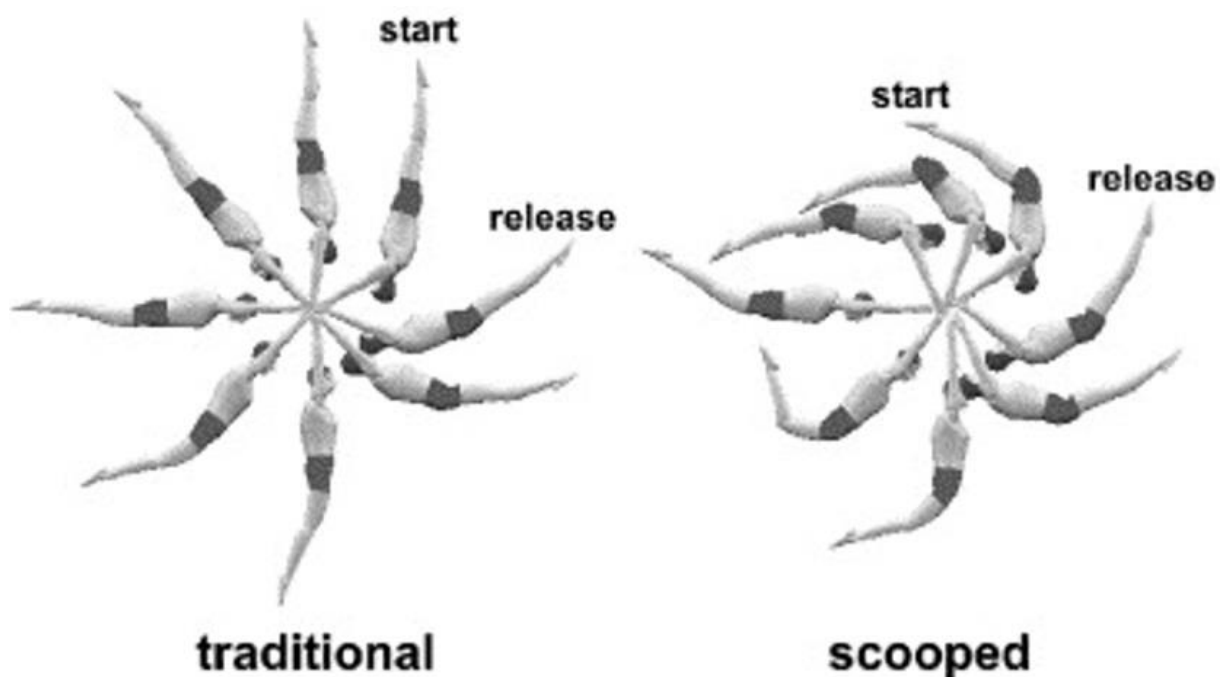
Iako se saskok dvostruki pruženi salto natrag s 3/1 okreta zove *Fedorchenko*, zanimljivo je primijetiti da je ovaj saskok uspješno izveo kineski gimnastičar Xie Bo već 1992. godine na nacionalnom gimnastičkom prvenstvu, za što je dobio i nagradu, a analizu tog saskoka napravili su autori Yang, Ma, Mao, Dang i Shen (1995). Ipak, saskok nosi ime *Fedorchenko* jer ga je taj kazahstanski gimnastičar prvi prijavio i uspješno izveo na Svjetskom prvenstvu. Radi se o jednom od najzahtjevnijih i najkompleksnijih saskoka s preče kojeg izvodi malo gimnastičara u svijetu. Iz tog razloga, osim istraživanja koje su proveli Yang i sur. (1995), prema saznanju autora, ovaj saskok je detaljnije istražio samo Knoll (2001).

Dvostruki pruženi salto natrag s 1/1 okretom gimnastičari često izvode u kvalifikacijama, dok je posljednjih desetljeća u finalima velikih natjecanja najčešće izvođeni saskok *Watanabe*. *Fedorchenko* je najteži saskok iz aspekta rotacija oko uzdužne osi u dvostrukom pruženom saltu. Zbog iznimno kompleksne strukture i potrebne preciznosti, koje su potrebne da bi se element uspješno izveo na kraju vježbe i zbog veće vjerojatnosti od greške u doskoku, *Fedorchenko* se izvodi rjeđe od prva dva saskoka.

1.2.4. Pripremni velekovrtljaji za saskok s preče

Saskoke gimnastičari izvode najčešće iz dva pripremna velekovrtljaja. Postoje različite tehnike pripremnih velekovrtljaja za saskok, ali danas za saskoke dvostrukog pruženog salta

natrag s rotacijama oko uzdužne osi gotovo svi gimnastičari (>95%) koriste tzv. *scooped* tehniku (Hiley i Yeadon, 2003b). Ovu tehniku prvi su prezentirali Kinezi početkom 80-ih godina 20. stoljeća pa se u literaturi pojavljuje i naziv *kineska* tehnika velekovrtljaja (Karácsony i Čuk, 2015), dok je Knoll (2001) ovoj tehnici dao naziv *Tong Fei* tehnika jer tvrdi kako ju je upravo taj kineski gimnastičar stvorio osamdesetih godina prošlog stoljeća. Isti autor tvrdi kako je ruska gimnastičarka Khorkina prva žena koja je izvela saskok s dvovisinskih ruča 1995. godine *Tong Fei* tehnikom. Različiti autori koriste razne nazive za kinesku Tong Fei tehniku velekovrtljaja, npr. *power technique* (Arampatzis i Brüggemann, 1999) ili *scooped technique* (Yeadon, 1998). Radi lakšeg snalaženja, u ovoj doktorskoj disertaciji koristit će se samo nazivi *tradicionalna*¹² i *moderna*¹³ tehnika velekovrtljaja za saskok. Slika 5 prikazuje razlike između izvedbe tradicionalne (traditional) i moderne (scooped) tehnike pripremnog velekovrtljaja za saskok.



Slika 5. Pripremnii velekovrtljaj za saskok izveden tradicionalnom i modernom (scooped) tehnikom (preuzeto iz Hiley i Yeadon, 2003)

¹² Tradicionalna tehnika – Tehnika velekovrtljaja sa malom hiperekstenzijom u zglobu kuka

¹³ Moderna tehnika – Tehnika velekovrtljaja sa naglašenim izmjenama fleksije i hiperekstenzije u zglobu kuka

Razlika moderne u odnosu na tradicionalnu tehniku velekovrtljaja za saskok je takva da gimnastičar tijekom prelaska vertikalne ravnine iznad pritke ne prolazi kroz stoj na rukama, već od vertikalne pozicije ispod pritke izvodi naglašenu hiperekstenziju kukova uz otvaranje kuta u ramenima te na taj način prolazeći ispred sprave i preko horizontalne ravnine on izvodi snažan luk u kukovima. Nakon vrlo dugog perioda naglašene hiperekstenzije kukova, gimnastičar zamahuje nogama najkraćim putem iznad pritke te na taj način *siječe* poziciju stoja na rukama. Razlika je upravo u tome da period naglašene hiperekstenzije kukova i pozicije tijela u obliku luka traje puno duže kod modernog, nego tradicionalnog velekovrtljaja za saskok (Karácsony i Čuk, 2015).

Modernom tehnikom gimnastičari tijekom posljednjeg velekovrtljaja prije saskoka uz brze i pravovremene promjene kutova u ramenima i kukovima, stvaraju preduvjete za postizanje pravilnog smjera kretanja te dovoljne visine, daljine, momenta impulsa i rotacije tijela tijekom faze leta kako bi se saskok izveo sigurno i uspješno, tj. s pravovremenom pripremom za doskok. Moderna tehnika velekovrtljaja je zahtjevnija i opasnija od tradicionalne jer proizvodi veće sile i opterećenje na ruke pa postoji opasnost od nekontroliranog gubitka hvata i pada gimnastičara. Iz tog razloga, ova tehnika prema autorima Karácsony i Čuk (2015) uči se postepeno, na način da iz perioda u kojem tijelo ispred pritke ima naglašenu hiperekstenziju u kukovima, gimnastičar radi zamah skupljenim nogama, tj. stopalima na pritku između ruku, zatim prolazeći velekovrtljaj kroz tu poziciju oslonca na pritku o ruke-stopala nakon prolaska gornje vertikale odvaja stopala od pritke i izvodi zamah nogama natrag do visa simulirajući tzv. *bič*¹⁴ prije puštanja pritke za saskok. Ova vježba se ponavlja dok se ne izvede bez dodirivanja pritke stopalima.

¹⁴ Bič – Brza hiperekstenzija koja prethodi brznoj fleksiji u zglobu kuka

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Sportska gimnastika je izuzetno kompleksan sport koji obuhvaća šest muških i četiri ženske sprave, ukupno osam različitih sprava. Na svakoj spravi (osim preskoka) gimnastičari izvode vježbe sastavljene od deset vrlo zahtjevnih i kompleksnih elemenata. Svaki od tih elemenata, a osobito elementi C i veće težinske vrijednosti, zanimljivi su iz aspekta biomehaničke analize.

Pregledom bibliografskih baza nađen je značajan broj radova vezanih uz analizu kinematike i kinetike izvedbe gimnastičkih elemenata na svim spravama u muškoj i ženskoj sportskoj gimnastici, a veliki dio tih radova istraživao je elemente koji sadrže i fazu leta na različitim spravama poput tla (Brüggemann, 1983; Hraski, 2000; Mkaouer, Jemni, Amara, Chaabene i Tabka, 2013; Potop, Grad, Omelyanchik, Begajlo i Boloban, 2014; Sadowski, Boloban, Mastalerz i Niznikowski, 2009), preskoka (Brüggemann, 1984; Dainis, 1979; Farana, Uchytíl, Zahradník, Jandacka i Vaverka, 2014; Hiley, Jackson i Yeadon, 2015; Kwon, Fortney i Shin, 1990) i dvovisinskih ruča (Huchez, Haering, Holvoet, Barbier i Begon, 2016; Irwin i Kerwin, 2008; Kerwin, Irwin i Exell, 2007; Manning, Irwin, Gittoes i Kerwin, 2011). Istraživali su se i saskoci s karika (Čuk, Držaj i Karácsony, 2010; Ningxiang, Mingxin, Lejun i Jiangbo 2012; Yeadon, 1994), paralelnih ruča (Gervais i Dunn, 2003; Prassas, 1995; Čuk, 1996), grede (Brown i sur., 1996; Grigore, Gavojeda i Potop, 2015; Milčić, Živčić Marković i Lanc, 2017; Potop, Rafal, Boloban i Otsupok, 2013) i dvovisinskih ruča (Sands, Smith, Westenburg, McNeal i Salo, 2004; Sheets i Hubbard, 2009). Na preči se, osim saskoka, analizirao i veći broj elemenata leta (Hraski, 1992; Čuk, 1993; Čuk, 1994; Čuk, 1995; Čuk, Atiković i Tabaković, 2009; Čuk i Piletić, 1995; Gervais i Tally, 1993; Heinen i sur., 2011; Hiley i Yeadon, 2012; Možnik i Hraski, 2014).

U pregledu dosadašnjih istraživanja, naglasak će biti stavljen na kinematiku. Kinematika je termin koji označava opis ljudskog kretanja. Za razliku od kinetike, kinematika se bavi isključivo detaljima samog pokreta, bez analize utjecaja internih ili eksternih sila koje uzrokuju ili utječu na taj pokret (Winter, 2009).

Od autora koji su se bavili istraživanjem u području biomehanike ističe se Maurice Raymond Yeadon, koji je napravio nekoliko istraživanja vezanih upravo uz kinematiku i kinetiku različitih tipova salta, a većina tih istraživanja provodila se na gimnastičarima. 1990. godine ovaj autor objavio je četiri rada o simulaciji zračnih kretanja.

Prvi dio istraživanja simulacije zračnih kretanja (Yeadon, 1990a) odnosio se na determiniranje orijentacija kutova sa snimljenih podataka. Kvantitativne mehaničke analize ljudskog kretanja zahtijevaju podatke o veličinama kutova kroz vrijeme koji određuju oblik tijela i rotaciju. Kada su ti kutovi prikupljeni sa snimljenih izvedbi, mogu se koristiti za procjenu točnosti simulacijskog modela. U ovom radu prikazana je metoda determiniranja orijentacije i količine promjene kutova sa snimljenih podataka. Faze su obuhvatile sinkronizaciju podataka prikupljenih s dvije kamere, determiniranje trodimenzionalnih koordinata centra zglobova, izračun kutova te krivulju pozicioniranja kutova koristeći krivulje četvrtog reda. Prikazane su originalne procedure za prikupljanje pojedinačnih procjena pogrešaka sa snimljenih podataka i izračunatih kutova da bi se omogućila automatska prilagodba krivulja četvrtog stupnja za interpolaciju i diferencijaciju te za dobivanje podataka o veličinama kutova kroz vrijeme kao kontinuirane funkcije iz niza sinus i kosinus vrijednosti. Metoda je primijenjena na saltu naprijed s $1\frac{1}{2}$ rotacijom, a dobivena procjena pogreške na 17 orijentacija kutova iznosila je $2,1^\circ$.

Drugi dio istraživanja simulacije zračnih kretanja (Yeadon, 1990b) odnosi se na matematički model inercije ljudskog tijela. U radu je opisan matematički model inercije koji omogućuje determiniranje vrijednosti parametara inercije pojedinih segmenata na temelju antropometrijskih mjera. Ljudsko tijelo je modelirano koristeći 40 geometrijskih tijela koja su specificirana kroz 95 antropometrijskih mjera. Ovaj postupak je točniji nego u slučaju korištenja eliptičnih diskova određenih širinom i dubinom te dopušta da bude upotrijebljen manji broj takvih krutih tijela. Vrijednosti parametara inercije mogu se dobiti za modele tijela od maksimalno 20 segmenata. U radu su raspravljene pogreške u procjeni ukupne tjelesne mase iz ovog i drugih modela, uz napomenu da je nepoznat plućni volumen.

U trećem dijelu istraživanja simulacije zračnih kretanja (Yeadon, 1990c), autor se bavio determiniranjem momenta impulsa ljudskog tijela. U radu je prikazana metoda za determiniranje momenta impulsa ljudskog tijela oko njegovog centra težišta tijekom izvedbe pokreta. Tijelo je modelirano kao povezani sistem 11 segmenata sa 17 rotacijskih stupnjeva slobode, a moment impulsa tijela izveden je kao zbroj 12 vrijednosti, od kojih je svaka vektorska funkcija samo jedne kutne brzine. Ovakva podjela vektora momenta impulsa prikazuje doprinos uslijed relativnih pokreta segmenata u svakom zglobu umjesto uobičajene metode doprinosa svakog pojedinog segmenta. Metoda normalizacije momenta impulsa predstavljena je kako bi se omogućila usporedba pokreta s rotacijama koji imaju različito vrijeme trajanja faze leta i koje izvedu sportaši s različitim inercijskim parametrima. Procjene momenta impulsa izračunate su tijekom faze leta 9 salta s rotacijama oko uzdužne osi izvedenih na trampolinu. Pogreške u digitalizaciji video zapisa uzrokovale su veliki doprinos pogrešnim procjenama momenta impulsa. Za procjenu momenta impulsa u pokretima gdje moment impulsa nije stalan, relativna pogreška procijenjena je na otprilike 10%, dok je za srednju procjenu momenta impulsa u pokretima u kojima moment impulsa ostaje konstantan, relativna pogreška procijenjena na otprilike 1%.

U četvrtom dijelu istraživanja simulacije zračnih kretanja (Yeadon, Atha i Hales, 1990) opisan je kompjuterski simulacijski model pokreta u zraku. Tijelo je modelirano kao 11 krutih povezanih segmenata sa 17 stupnjeva slobode koji su odabrani s obzirom na modeliranja salta s okretima. Preciznost modela procjenjuje se uspoređujući simulacijske vrijednosti kutova koji opisuju salto, nagib i okret s odgovarajućim vrijednostima prikupljenim sa snimljenih podataka 9 salta s rotacijama. Maksimalna devijacija između simulacije i video materijala bila je 0,04 okreta za salto, 7 stupnjeva za nagib i 0,12 okretaja za okret. Autori su utvrdili da antropometrijske greške mjerenja iz kojih su se izračunavali segmentalni parametri inercije imaju mali utjecaj na simulaciju, dok pogreške digitalizacije sa video materijala mogu objasniti znatan dio odstupanja između simulacije i snimljenih vrijednosti.

Yeadon M.R. bavio se i teoretskim istraživanjem salta s rotacijama. Korišteni su jednostavni i kompleksni matematički modeli kako bi se doprinijelo razumijevanju načina generiranja momenta impulsa te kontrole i zaustavljanja rotacije u saltima. Vrijednovane su

različite tehnike rotacija te je razvijena metoda za podjelu cjelokupne izvedbe na doprinos tih tehnika rotacija.

U prvom dijelu istraživanja biomehanike salta s rotacijama oko uzdužne osi (Yeadon, 1993a) izvedena su analitička rješenja za rotacijske pokrete krutog tijela bez momenta impulsa. Osnovom dobivenih rezultata zaključeno je da postoje dva različita načina kretanja koja se mogu okarakterizirati kao salta s rotacijama i valovita salta. U smislu ovih načina objašnjen je fenomen nestabilnih rotacija oko središnje osi.

U drugom dijelu istraživanja biomehanike salta s rotacijama oko uzdužne osi tijela (Yeadon, 1993b) proučavale su se rotacije inicirane tijekom odraza, tj. faze kontakta. Za proučavanje je korišten simulacijski model i model krutog tijela. Pokazalo se da je moguće proizvesti cijeli okret oko uzdužne osi isključivo povećanjem momenta impulsa u rukama tijekom faze kontakta. Ova metoda samo je upola učinkovita kao generiranje momenta impulsa cijelim tijelom tijekom kontakta. Uvođenje rotacije oko uzdužne osi u salto mijenja brzinu salta za manje od 1%. Pravovremenom adukcijom ruku moguće je iskoristiti prednosti nutacije¹⁵ te povećati početnu vrijednost kuta nagiba te tako postići i veću količinu rotacije oko uzdužne osi. Rotacija oko uzdužne osi se može zaustaviti sklonjenjem, budući da se pokret mijenja iz rotacijskog u valovit način pokreta krutog tijela. Prijelaz između ova dva načina može se koristiti za povećanje ili smanjenje kuta nagiba i količine rotacije.

Treći dio istraživanja (Yeadon, 1993c) odnosi se na rotacije oko uzdužne osi tijela inicirane u zraku, tzv. *Aerial twist*¹⁶. Simulacijski model i model krutog tijela su korišteni za vrjednovanje tehnike rotacija iniciranih u zraku. Otkriveno je da je, kad nema rotacije oko poprečne osi tijela, potrebno više ciklusa kontra-rotacije segmenata da bi se generirao jedan okret oko uzdužne osi tijela. Kad je rotacija oko poprečne osi tijela prisutna, okret se može uvesti stvaranjem nagiba koristeći asimetrične pokrete ruku, prsa ili kukova po sagitalnoj

¹⁵ *Nutacija* (Yeadon, 1986) – Oscilacija kuta nagiba koja se događa kada su svi glavni momenti inercije cijelog tijela različiti

¹⁶ *Aerial twist* – Tehnika iniciranja rotacije u zraku (bez kontakta)

ravnini. Isti asimetrični pokreti mogu se koristiti za uklanjanje nagiba, iako je efikasnost ovih tehnika zavisna o antropometrijskim karakteristikama vježbača i smjeru rotacije.

U četvrtom dijelu istraživanja (Yeadon, 1993d) prezentirana je metoda za određivanje doprinosa tehnika rotacija generiranih s površine zadnjeg kontakta te u fazi leta, u snimljenim izvedbama salta s rotacijama oko uzdužne osi. Simulacijski model od 11 segmenata korišten je za određivanje efekata otklanjanja asimetrija oko sagitalne ravnine. Za četiri natjecateljska elementa koje je izveo vrhunski gimnastičar na trampolinu, determinirani su doprinosi nagiba rotaciji oko uzdužne osi. Otkriveno je da čak i u elementima u kojima je rotacija oko uzdužne osi evidentirana pri odrazu, tehnika rotacije generirane u fazi leta napravila je veći doprinos nego tehnika rotacije generirana zadnjim kontaktom stopala s trampolinom.

Biomehanička istraživanja bavila su se raznim saskocima s preče, koja uključuju i pripremni velekovrtljaj za saskok. Većina autora smatra kako se velekovrtljaj natrag prije saskoka izvodi zbog stvaranja momenta impulsa oko poprečne osi koji je gimnastičaru potreban da bi izveo saskok s više salta te da saskoci u kojima gimnastičari izvode dva salta u pruženoj poziciji tijela zahtijevaju najveći moment impulsa. Iako se pojavljuju dvije različite tehnike koje koriste vrhunski gimnastičari kada izvode velekovrtljaje za dvostruki pruženi salto natrag saskok, evidentno je da je *moderna* tehnika gotovo u potpunosti istisnula *tradicionalnu* tehniku izvedbe pripremnih velekovrtljaja.

Tijekom izvedbe velekovrtljaja događa se konstantna izmjena energije između tijela gimnastičara i preče, a ta izmjena energije vrlo je važna za kvalitetu samog velekovrtljaja (Brüggemann, Cheetham, Alp i Arampatzis, 1994). Na temelju tog zaključka Arampatzis i Brüggemann (1999) istraživali su mehaničke energetske procese tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja za saskok i elemente leta na preči i dvovisinskim ručama. Cilj istraživanja bio je istražiti izmjenu energije između tijela gimnastičara i preče/dvovisinskih ruča tijekom izvedbe velekovrtljaja naprijed i natrag te ispitati razlike između proizvedene i apsorbirane mehaničke energije mišićima tijekom izvedbe velekovrtljaja naprijed i natrag na preči/dvovisinskim ručama. Za ovo istraživanje prikupljeni su podaci iz finala Svjetskog prvenstva 1994. godine. Snimanje je izvršeno s dvije video kamere (50 Hz) i dvije pritke za mjerenje sile (500 Hz).

Ukupno je analiziran 101 pripremni velekovrtljaj za saskoke i elemente leta koje su izvela 33 gimnastičara i 34 gimnastičarke. Od toga je analizirano devet saskoka s preče izvedenih tradicionalnom i devetnaest saskoka s preče izvedenih modernom tehnikom pripremnog velekovrtljaja. Za prezentaciju kretanja gimnastičara korišten je 15-segmentalni model ljudskog tijela. Težišta i momenti inercije izračunati su koristeći vrijednosti Zaciorskog i Selujanova (1983). U prvoj fazi razmjene energije između tijela gimnastičara i preče energija se prenosi u preču, a ukupna tjelesna energija gimnastičara se smanjuje. Razlika u prvoj fazi između količine energije prenijete u preču i smanjenja energije u gimnastičaru, tj. ukupna tjelesna energija pokazatelj je koristi li gimnastičar efikasno elastičnost preče. U slučaju kad je količina energije prenijete u preču veća od smanjenja tjelesne energije gimnastičara, gimnastičar je stvorio pozitivnu energetska ravnotežu. Po tom kriteriju, energetsko povećanje sustava *pritka-ljudsko tijelo* tijekom prve faze velekovrtljaja natrag detektirano je samo kod gimnastičara koji su koristili modernu tehniku velekovrtljaja. Korištenjem takve tehnike gimnastičar može sačuvati energiju u preči tijekom prvog dijela silazne faze velekovrtljaja korištenjem mišićne akcije koja rezultira hiperekstenzijom u zglobovima ramena i kuka. Moderna tehnika pokazala je i veće vrijednosti momenta impulsa na kraju velekovrtljaja, tj. prije puštanja pritke. Zaključak ovog istraživanja je da se deficit primijećen u prvoj fazi velekovrtljaja može poboljšati modernom tehnikom velekovrtljaja. Da bi se to postiglo, gimnastičar mora započeti posljednji velekovrtljaj prije puštanja pritke u poziciji fleksije kuta u kukovima i ramenima kako bi se energija mogla sačuvati u preči kroz aktivnu ekstenziju spomenutih zglobova.

Velekovrtljaj natrag na preči koristi se kako bi se generirala rotacija oko poprečne osi koja je gimnastičaru potrebna da izvede elemente puštanja i saskok. Bauer (1983) je prezentirao model velekovrtljaja na preči te je identificirao da bi se u idealnom slučaju gimnastičar trebao sklanjati kad se centar težišta tijela nalazi ispod pritke i ispružati se u najvišoj točki velekovrtljaja kako bi maksimalizirao povećanje energije. U praksi gimnastičari prate ovu tehniku samo u generalnom smislu te se sklanjaju nakon najniže točke i ispružaju prije najviše točke centra težišta tijela tijekom izvedbe velekovrtljaja. Yeadon i Hiley (2000) razvili su četverosegmentalni 2D simulacijski model gimnastičara kako bi se istražile ove razlike u tehnici. Model se sastoji od segmenata ruke, trupa, bedra i noge s prigušenom linearnom oprugom koja spaja segmente ruku i trupa. Preča je također modelirana kao prigušena linearna opruga. Model je prikazan u obliku krivulje korištenjem prikaza veličina kutova zgloba ramena i kukova tijekom izvedbe velekovrtljaja. Otkriveno je da pojednostavljenost izvedbe

velekovrtljaja predstavljena u Bauerovom modelu (Bauer, 1983), zanemarujući inercije segmenata i elastične karakteristike gimnastičara i pritke, nije odgovorna za razlike između idealne tehnike i tipične tehnike gimnastičara. Razlike u tehnici mogle bi se pripisati limitiranim maksimalnim momentom impulsa u zglobovima, a za što se uzrok može pretpostaviti u ograničenoj snazi gimnastičara ili trudu koji gimnastičari odluče uložiti.

Knoll (2001) je istražio kinematičku dinamičku strukturu djelotvorno izvedenih velekovrtljaja natrag koji prethode teškim saskocima i elementima leta na preči i dvovisinskim ručama. Za potrebe istraživanja snimljeni su saskoci s jednom kamerom (50 f/s) i dinamometrom (500 Hz) sinkronizirano, kako bi se prikupili kinematički i dinamički podaci tijekom Svjetskog gimnastičkog prvenstva 1994. i 1997. godine, uz odobrenje FIG-e. Dinamometri na principu elektronskog mjerenja naprezanja postavljeni su na preču u suradnji s proizvođačem sprave Spieth (Knoll, Drenk i Krug, 1996). Video snimke analizirane su pomoću 2D-fotogrametrijske procedure (Drenk, 1994). Moment impulsa izračunat je iz procedure autora Hay, Wilson, Dapena i Woodworth (1977), u odnosu na unificiranu tjelesnu težinu i vrijednosti težišta tijela. Rezultati su pokazali da moment impulsa dostiže svoj maksimum ubrzo nakon prelaska donje vertikalne ravnine zbog akcije zamaha nogama te da je moment impulsa velekovrtljaja uvijek veći od momenta impulsa salta. To vrijedi za sve pripremne elemente prije saskoka i elemenata leta na preči i dvovisinskim ručama, ali također i na paralelnim ručama, tlu, preskoku i karikama. Zaključak istraživanja je da dva vrha sile reakcije tijekom pripremnih velekovrtljaja ukazuju na to da djelotvoran zamah nogama generira veliku količinu kinetičke energije. Preduvjet za formiranje dva vrha sile reakcije je generiranje maksimuma prve sile aktivnim uvinućem tijela. Uvjet za to je prethodni moderni prednjih s prelaskom gornje vertikalne ravnine u blago sklonjenoj poziciji. Autori tvrde da na preči nije potrebna moderna tehnika velekovrtljaja (snažna fleksija u zglobovima ramena i kukova), već se može primijeniti tehničko rješenje s harmoničnim prelaskom njimom kroz poziciju stoja na rukama i otvorenijim kutovima u zglobovima. Prijelaz iz translacijskog u rotacijski pokret događa se u prednjihu, prije puštanja pritke. Moment impulsa se smanjuje, a vertikalna brzina raste. Iz tog razloga puštanje pritke ne događa se u trenutku najvećeg momenta impulsa jer bi rezultat bio premala visina leta budući da je brzina u tom trenutku još uvijek premala. U tom kratkom dijelu od maksimalnog momenta impulsa do puštanja, događaju se suštinski pokreti za kontrolu saskoka ili elemenata leta. U slučaju bržih velekovrtljaja za saskok, uvinuće se mora izvesti ranije, tj. maksimum prve sile mora se dosegnuti ranije jer je pozicija drugog

maksimuma sile fiksno pozicionirana u trenutku nakon prelaska donje vertikalne ravnine pa se područje između prvog i drugog maksimuma prolazi u kraćem vremenskom periodu.

Hiley i Yeadon (2003a) istraživali su optimalnu tehniku za generiranje momenta impulsa u ubrzanim velekovrtljajima natrag prije saskoka s preče. Kako bi se odredilo je li moderna tehnika bolja za generiranje momenta impulsa, korišten je simulacijski model za optimizaciju momenta impulsa oko centra težišta tijela u trenutku puštanja pritke. Model je vrjednovan korištenjem podataka dobivenih iz video analize ubrzanih velekovrtljaja. Model je bio u mogućnosti procijeniti sile reakcije mjerene naprezanjem sajli na preči unutar 9% maksimuma sile te kut rotacije tijela unutar 1% ukupne rotacije. Tijekom optimizacije veličina kutova kroz vrijeme u zglobovima modela podešavana je kako bi se maksimalizirao moment impulsa oko modelovog centra težišta tijela u trenutku puštanja pritke. Nađena su dva optimalna stanja koja su karakteristična za dvije tehnike velekovrtljaja koju koriste vrhunski gimnastičari. U ovom istraživanju tradicionalna tehnika velekovrtljaja proizvela je više momenta impulsa nego moderna tehnika, ili barem jednaki moment impulsa, ali izvedba moderne tehnike iziskuje više uloženog truda gimnastičara. Obje su pak tehnike bile sposobne proizvesti dovoljan moment impulsa za dvostruki pruženi salto natrag saskok. Autori su zaključili da generiranje momenta impulsa nije razlog zašto gotovo svi vrhunski gimnastičari preferiraju modernu tehniku pripremnih velekovrtljaja za saskok, već da je prednost moderne tehnike velekovrtljaja utemeljena na nekim drugim faktorima.

Isti autori (Hiley i Yeadon, 2003b) istražili su razlike između dvije tehnike u tzv. „prostoru za pogrešku“ u trenutku puštanja pritke za saskok. Na Olimpijskim igrama u Sydneyu 2000. godine 95% gimnastičara koristilo je modernu tehniku velekovrtljaja u odnosu na tradicionalnu tehniku. S obzirom da je već uspostavljeno da prednost moderne tehnike nije u proizvodnji momenta impulsa, nagađalo se da su gimnastičari prednost ove tehnike pronašli u povećanju područja za pogrešku u određivanju najboljeg trenutka za puštanje pritke. Četvosegmentalni 2D simulacijski model gimnastičara i preče korišten je da bi se odredio prostor za pogrešku kod puštanja preče na Olimpijskim igrama u Sydneyu 2000. godine. Za analizu je odabrano osam finalista na preči koji su koristili modernu tehniku i tri gimnastičara koji su za saskok koristili tradicionalnu tehniku. Modelni parametri optimizirani su kako bi se postigla bliska poveznica između simulirane i stvarne izvedbe u pogledu kuta rotacije ($1,2^\circ$),

pomicanja pritke (0,014 m) i brzine puštanja (2%). Simulacije su korištene kako bi se odredio vremenski period oko stvarne točke puštanja pritke za koji bi model imao adekvatne parametre puštanja da sigurno izvede saskok. Na temelju dobivenih podataka autori su zaključili da moderna tehnika saskoka rezultira većim prostorom za pogrešku (okvir puštanja 88-157 ms) prilikom određivanja najboljeg trenutka za puštanja pritke u odnosu na tradicionalnu tehniku (okvir puštanja 73-84 ms).

Grupa autora istraživala je puštanje preče u trostrukim salto saskocima (Kerwin, Yeadon i Harwood, 1993). Puštanje preče analizirano je na šest izvedbi trostrukog zgrčenog salta natrag. Za razliku od većine istraživanja u kojima se kao pozicija puštanja preče određuje u trenutku vidljivog praznog prostora između šaka gimnastičara i pritke, u ovom radu kao pozicija puštanja preče određen je prvi trenutak (sličica) u kojem je zabilježena promjena udaljenosti između zgloba gimnastičara i pritke. Svih šest gimnastičara puštalo je prtku s njihovim centrom težišta tijela ispod horizontalne razine pritke. Srednja horizontalna brzina centra težišta od preče bila je 1,2 m/s. Ova horizontalna brzina podijeljena je na doprinose iz tangencijalnih i radijalnih pokreta centra težišta tijela u odnosu na prtku te kretanja pritke u odnosu na njezin neutralni položaj. Otkriveno je da je tangencijalni pokret dao glavni doprinos, iako je i radijalni pokret proizveo značajne pozitivne doprinose, a pokret pritke je imao negativan doprinos u oba slučaja.

Hiley i Yeadon (2005) istraživali su maksimalne mogućnosti izvedbi saskoka s preče. Zanimalo ih je može li gimnastičar izvesti saskok trostruki pruženi salto natrag. Kao limitirajuće faktore za izvedbu maksimalnih saskoka uzeli su sposobnost gimnastičara da proizvede dovoljnu količinu momenta impulsa i leta uz dovoljno veliko područje za pogrešku u tajmingu puštanja pritke. Koristili su 2D simulacijski model gimnastičara i preče (Hiley i Yeadon, 2003a) za optimizaciju tehnike $1\frac{3}{4}$ velekovrtljaja natrag prije puštanja za saskok. Istraživali su i tzv. vremenski okvir puštanja kao period vremena tijekom kojeg gimnastičar ima dovoljno momenta impulsa da uspješno izvede željeni saskok (Hiley i Yeadon, 2003b). Na uzorku od 11 dvostrukih pruženih saskoka izvedenih na Olimpijskim igrama u Sydneyu 2000. godine otkriveno je da vremenski okvir puštanja ima srednju vrijednost 107 ms (od 73-157 ms). Moderna tehnika velekovrtljaja povezana je s većim vremenskim okvirima puštanja. Rezultati su pokazali da je za procijenjene parametre snage i inercije olimpijskog prvaka iz Sydneya

moguće proizvesti dovoljan moment impulsa za saskok trostruki pruženi salto natrag. To ne mora značiti da isto vrijedi i za ostale gimnastičare, s njihovim različitim karakteristikama snage i inercije. Izračunati vremenski okvir puštanja za saskok trostruki pruženi salto natrag skoro je dvostruko manji (57 ms) u usporedbi sa srednjom vrijednosti koju su imali sudionici Olimpijskih igara u Sydneyu (107 ms) te u tom smislu i područje za pogrešku je vrlo malo (28 ms), a gimnastičari moraju koristiti i gotovo maksimalan napor u pripremnim velevrtljajima za saskok da bi proizveli dovoljno momenta impulsa za sigurnu i uspješnu izvedbu tog saskoka. Iako se pokazalo da je teoretski moguće izvesti saskok trostruki pruženi salto natrag, gimnastičari će se na kraju vježbe ipak odlučiti za saskok koji im omogućava konzistentnu uspješnu izvedbu uzimajući u obzir njihove mogućnosti s obzirom na snagu. Autori su spoznali i da je, uz realno postavljeno područje za pogrešku, model mogao proizvesti dovoljno momenta impulsa za izvedbu trostrukog grčenog salta natrag s dvije rotacije oko uzdužne osi.

U FIG Bodovnom pravilniku od 2017. godine (FIG Code of Points, 2017) u odnosu na prethodne olimpijske cikluse povećane su težinske vrijednosti saskoka s tri salta jer su dvostruki pruženi salto natrag saskoci s jednim i dva okreta oko uzdužne osi postali sveprisutni na gimnastičkim natjecanjima. Od trostrukih salto natrag saskoka za sada u FIG Bodovnom pravilniku postoje trostruki grčeni salto natrag (*Andrianov*), trostruki zgrčeni salto natrag s jednom rotacijom oko uzdužne osi (*Belle*) i trostruki sklonjeni salto natrag (*Fardan*). *Andrianov* je izveden na Svjetskom prvenstvu 1974. godine, *Belle* na Europskom prvenstvu 1987. godine, a *Fardan* na Europskom prvenstvu 1996. godine (Nakasone, 2015). S obzirom da saskoci *Fardan* i *Belle* imaju težinsku vrijednost G , ukoliko netko od gimnastičara izvede saskok trostruki grčeni salto natrag s dvije rotacije oko uzdužne osi ili trostruki pruženi salto natrag, za očekivati je da će tim saskocima biti dodijeljena težinska vrijednost H ili više.

Prassas i sur. (2006) napravili su pregledni rad biomehaničkih istraživanja u gimnastici. U pogledu generiranja rotacija oko uzdužne osi tijekom saskoka s preče, možemo ih podijeliti na rotacije koje su generirane tijekom kontakta s prečom, tzv. *contact rotacije*¹⁷ i one koje su generirane u fazi leta, tzv. *airborn rotacije*¹⁸. Kao glavna prednost *airborn* rotacija, navodi se sposobnost sigurnog zaustavljanja rotacije prije doskoka pokretom ruku (Yeadon i Kerwin,

¹⁷ *Contact* rotacija - Rotacija generirana s površine zadnjeg kontakta (kontakt rotacija)

¹⁸ *Airborn* rotacija - Rotacija generirana u fazi leta (zračna rotacija)

1999). Nedostatak ove tehnike može biti u brzini proizvedenih okreta. Gimnastičari su uglavnom ograničeni vremenom leta što daje manju mogućnost *airborne* rotacijama da proizvedu višestruka salta s rotacijama, nego okreti koji su generirani s površine zadnjeg kontakta. Ipak, u praksi gimnastičari najčešće za izvedbu salta s rotacijama izvode kombinaciju ove dvije metode (Prassas i sur., 2006). Uspoređujući dvostruke pružene i trostruke salto saskoke zaključili su da dvostruki pruženi saskoci zahtijevaju veći moment impulsa, dok su za trostruke salto natrag saskoke od veće važnosti vertikalna brzina, vrijeme leta i maksimalna visina (Prassas i sur., 2006). Slične rezultate dobili su autori Park i Prassas (1995).

Yeadon (1999) je prezentirao način učenja jednog i dvostrukog salta naprijed s $1\frac{1}{2}$ okretom oko uzdužne osi te salta natrag i dvostrukog salta natrag s jednim okretom oko uzdužne osi. Tehnike učenja ovih rotacija predstavljene su na trampolinu, ali se principi mogu prenijeti i na ostale sprave, uključujući preču. Autor je zaključio kako je za lakšu i sigurniju fazu odraza, tj. puštanja i doskoka bolje raditi rotacije zračnom tehnikom okreta, tzv. *aerial twist*. Kao nedostatak *contact* tehnike iniciranja rotacije navodi da ta tehnika uzrokuje nagib tijela tijekom faze leta koji u saskocima s preče može ostati do trenutka doskoka pa postoji opasnost od ozljede gležnja. Osim toga, ovom tehnikom izvođenja gimnastičar doskače pod rotacijom, što predstavlja dodatnu opasnost od ozljeda gležnja i koljena.

Yeadon, Lee i Kerwin (1990) istražili su izvedbu saskoka salto natrag s jednim okretom oko uzdužne osi koje je prilikom izvedbe obavezne vježbe izvelo osam finalista Olimpijskih igara u Seoulu 1988. godine. Određeni su kutovi koji opisuju konfiguraciju i orijentaciju tijela te su uneseni u kompjuterski model simulacije zračnih kretanja. Devijacija između simulacije i video zapisa bila je manja od $2,5^\circ$ u kutovima nagiba i manja od 0,07 okretaja u kutovima rotacija. Izvedene tehnike rotacija kvantificirane su koristeći kut nagiba kao mjeru potencijala rotacije. Svaki od analiziranih gimnastičara postigao je većinu nagiba koristeći zračnu tehniku generiranja rotacije, više nego kontakt tehniku, a većina doprinosa zračnoj tehnici pripala je asimetričnom pokretu ruku i kukova.

Isti autori (Kerwin, Yeadon i Lee, 1990) istraživali su konfiguraciju tijela u saskocima s više salta. 11-segmentalni trodimenzionalni simulacijski model upotrijebljen je za

modifikaciju konfiguracije tijela osam gimnastičara koji su izveli saskoke s više salta s preče tijekom Olimpijskih igara u Seoulu 1988. godine. Modificirane su izvedbe četiri saskoka dvostrukog pruženog salta natrag kako bi se promijenio karakterističan luk u leđima u poziciju ravnog tijela. Ova modifikacija reducirala je rotaciju salta za 0,01 do 0,1 salta. Modificirana su i četiri saskoka trostruki sklonjeni salto natrag na način da se kut abdukcije natkoljenica reducirao na nulu. Ova modifikacija rezultirala je podrotacijom u rasponu od 0,01 do 0,34 salta, zavisno o količini kuta natkoljenice u izvornom kretanju. Dodatni moment impulsa koji je bio potreban za uspješno izvršenje modificiranih pokreta općenito je bio mali, tj. niti u jednom slučaju nije bio veći od 13%.

Yeadon (1997) je istraživao saskoke s preče s dvostrukim saltom natrag s rotacijama oko uzdužne osi izvedenih na Olimpijskim igrama u Seoulu 1998. godine. Četiri dvostruka salto natrag saskoka s 1/1 okretom i četiri dvostruka salto natrag saskoka s 2/1 okreta snimljena su s dvije 16 mm kamere tijekom natjecanja gimnastičara na preči. Kao mjera potencijala rotacija različitim tehnikama korišten je njihov doprinos kutu nagiba koji je postignut usred rotacije, a determinirana je korištenjem kompjuterske simulacije bazirane na modifikaciji podataka dobivenih sa snimke. Količina proizvedenog kuta nagiba bila je veća kad je ukupan broj okreta bio veći i kada je tijelo bilo zgrčeno, nego kada je bilo pruženo. Tehnika okreta varirala je s trenutkom okreta tijekom dva salta. Doprinos kontakta bio je veći kada se radilo više okreta u prvom saltu. Kada nije bilo uopće ili je bilo malo okreta u prvom saltu, najveći doprinos rotacijama bio je od zračne tehnike koja se sastojala od pokreta rukama i asimetričnih pokreta kukovima u fazi leta.

Analiza najkompleksnijeg dvostrukog pruženog salto natrag saskoka s 3/1 okreta oko uzdužne osi pronađena je u samo dva istraživanja. Yang i sur. (1995) analizirali su kineskog gimnastičara Xie Bo koji je 1993. godine izveo saskok dvostruki pruženi salto natrag s tri rotacije oko uzdužne osi (tada ovaj saskok još nije bio u službenom FIG Bodovnom pravilniku). Oni su snimili tri, a analizirali dvije (najbolju i najlošiju) izvedbe saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s 3/1 okreta. Zaključak istraživanja bio je da su inicijalna brzina i kut u trenutku puštanja pritke glavni faktori koji utječu na visinu leta. U boljoj izvedbi saskoka vertikalna brzina puštanja bila je veća (5,56 m/s) u odnosu na lošiju izvedbu (5,06 m/s), a centar težišta tijela u trenutku puštanja kod bolje izvedbe nalazio se 12 cm iznad pritke, dok se kod lošije

izvedbe nalazio 15 cm ispod pritke. Kada je kut leta bio između 81° i 83° , gubitak brzine bio je manji te je i izvedba bila uspješnija.

Druga analiza ovog saskoka pronađena je u istraživanju koje je proveo Knoll (2001). Jedan od ispitanika bio je kazahstanski gimnastičar Fedorchenko, a analizirala se njegova izvedba saskoka *Fedorchenko*. U radu su prikazani samo parametri momenta impulsa oko poprečne osi i vertikalne brzine centra težišta tijela. U trenutku druge maksimalne sile, prije puštanja, postiže se moment impulsa od 100 Nm/s koji do trenutka puštanja pritke pada i u tom trenutku je oko 50 Nm/s. Za razliku od momenta impulsa, brzina centra težišta tijela je u trenutku postizanja maksimalnog momenta impulsa 2 m/s, a do trenutka puštanja raste i u tom trenutku dostiže se maksimalna brzina od 6 m/s.

Uvidom u bibliografsku bazu podataka primijećen je nedostatak istraživanja na većem uzorku koje će pokazati koji kinematički parametri i u kojoj mjeri utječu i razlikuju izvedbu dvostrukih pruženih salto natrag saskoka s različitom količinom rotacija oko uzdužne osi. Posebno se to odnosi na razlike između saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s tri u odnosu na jedan i dva okreta oko uzdužne osi jer saskoke s tri okreta izvodi malo gimnastičara u svijetu i nađena su samo dva istraživanja ovog saskoka, na uzorku od ukupno dva gimnastičara.

3. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Temeljni cilj ovog istraživanja je utvrditi kinematičku uvjetovanost izvedbe saskoka s preče dvostrukog pruženog salta natrag s različitim količinama rotacija oko uzdužne osi gimnastičara.

Sekundarni cilj ovog istraživanja je utvrditi razlikuju li se i u kojim varijablama saskoci prema kriteriju broja rotacija oko uzdužne osi.

Hipoteze koje će se ovim istraživanjem testirati glase:

H1: Izvedbu različite količine rotacija oko uzdužne osi karakterizira specifičan odnos biomehaničkih varijabli i parametara koji definiraju trajektoriju leta te iniciranje i kontrolu rotacija oko poprečne i uzdužne osi gimnastičara.

H2: Grupe saskoka, klasificirane temeljem kriterija broja rotacija oko uzdužne osi, razlikovat će se po parametrima unutar pojedinih varijabli.

4. METODE ISTRAŽIVANJA

4.1. UZORAK ISPITANIKA

Uzorak ispitanika činili su vrhunski gimnastičari, sudionici službenog FIG turnira Svjetskog Challenge kupa u Osijeku 2016. godine.

U uzorak je ušao po jedan gimnastičar iz Ukrajine, Kube, Turske, Sjedinjenih Američkih Država, Velike Britanije, Rusije, Slovenije i Norveške te po dva gimnastičara iz Republike Hrvatske i Brazila. Ukupno 12 vrhunskih gimnastičara, predstavnika nacionalne reprezentacije iz 10 različitih zemalja čine uzorak ovog istraživanja.

Uzorak ispitanika obuhvaća gimnastičare od 18 do 29 godina, visine od 159 do 183 cm, težine od 55 do 80 kg.

Istraživanje se provodilo tijekom treninga, kvalifikacija i finala službenog FIG turnira Svjetskog Challenge kupa na preči 2016. godine.

4.2. UZORAK ELEMENATA

Za kinematičku analizu odabrano je 15 uspješnih izvedbi saskoka s preče dvostrukog pruženog salta natrag s rotacijama oko uzdužne osi. Saskoci su grupirani prema broju okreta oko uzdužne osi (1, 2, 3 okreta). U uzorak su ušli najuspješniji saskoci, tj. saskoci s najmanjim sudačkim odbitkom za izvedbu.

Prva grupa obuhvaća pet saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s jednim okretom oko uzdužne osi (360°), kojeg je izvelo pet gimnastičara (u smislu rotacije oko uzdužne osi, tri s rotacijom u desnu i dva s rotacijom u lijevu stranu).

Druga grupa obuhvaća pet saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s dva okreta oko uzdužne osi (720°) – *Watanabe*, kojeg je izvelo pet gimnastičara (četiri s rotacijom u lijevu i jedan s rotacijom u desnu stranu).

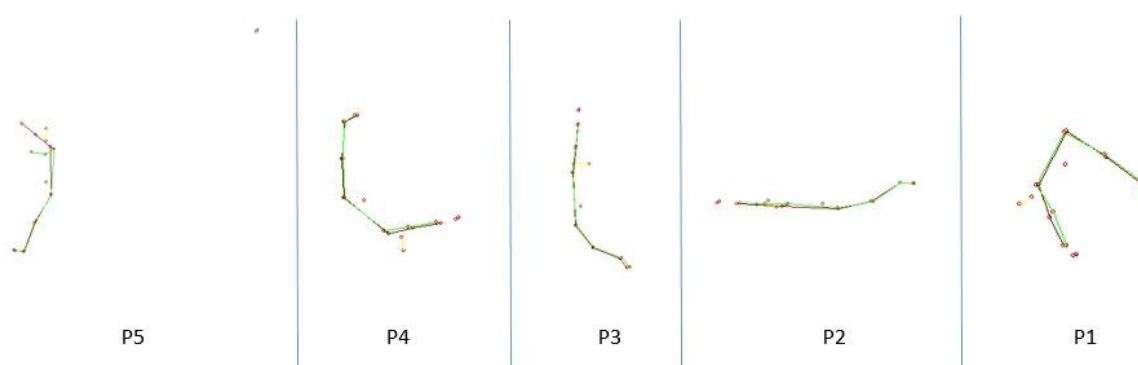
Treća grupa obuhvaća pet saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s tri okreta oko uzdužne osi (1080°) – *Fedorchenko*, kojeg su izvela dva gimnastičara (četiri s rotacijom u desnu i jedan s rotacijom u lijevu stranu).

4.3. UZORAK VARIJABLI

Za potrebe analize određene su pozicije (tablica 1; slika 6) u kojima su se analizirale i uspoređivale vrijednosti odabranih varijabli koje su se u tim pozicijama pokazale značajne u diferencijaciji grupa saskoka. Pozicije su određene prema položaju centra težišta tijela u odnosu na pritku uzimajući u obzir da tehnika modernog velekovrtljaja podrazumijeva sklanjanje tijela tijekom prolaska centra težišta tijela iznad pritke, zatim ispružanje i uvinuće tijela tijekom prolaska centra težišta tijela iza i ispod pritke, a sve to prethodi trenutku puštanja pritke. Ovako određene pozicije za analizu obuhvaćaju tipične i prepoznatljive položaje tijela te se analizirao i trenutak kontakta stopala s podlogom jer se radi o poziciji koja opisuje tijelo u trenutku doskoka, a što je važno iz aspekta identifikacije varijabli koje razlikuju grupe saskoka pri doskoku. U rezultatima istraživanja će biti prikazane sve varijable koje su se nakon obrade podataka pokazale značajne u diferencijaciji između grupa saskoka u navedenim pozicijama.

Tablica 1. *Pozicije za kinematičku analizu*

	FAZA	TRENUTAK ODREĐIVANJA POZICIJE
P1	Pripremni velekovrtljaj	Centar težišta tijela u vertikali iznad pritke (x os)
P2	Pripremni velekovrtljaj	Centar težišta tijela u horizontali iza pritke (y os)
P3	Pripremni velekovrtljaj	Centar težišta tijela u vertikali ispod pritke (x os)
P4	Puštanje pritke	Zapešća lijeve i desne ruke 10 cm udaljena od pritke (x os)
P5	Kontakt stopala s podlogom pri doskoku	Stopala zaustavila svoj put prema dolje (y os)



Slika 6. *Pozicije za kinematičku analizu*

4.4. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Snimanje video zapisa izvršeno je s dvije mini DV kamere (Sony HDR-HC9E), frekvencijom 50 slika u sekundi. Zbog velike brzine analiziranih gibanja, brzina zatvarača na kamerama bila je podešena na 1/1000. Kamere su locirane na tribini, 3-5 metara iznad razine pritke, a udaljenost kamera od preče bila je 6-9 metara. Za izračunavanje kinematičkih parametara koristili su se video zapisi s dvije kamere.

Za kalibraciju prostora i mogućnost kasnije provedbe trodimenzionalne analize, sa svim kamerama snimljen je referentni okvir (180 x 180 x 90 cm), a redoslijed učitavanja točaka bio je takav da se os x podudara s dužinom, os y s visinom, a os z s dubinom analiziranog gibanja (slika 7). Ishodište koordinatnog sustava, tj. nulta točka koordinatnog sustava nalazi se u razini pritke i strunjače za doskok, 1,2 m lijevo od lijeve strane pritke u odnosu na pozitivan pravac x . Sa svim kamerama locirana je i snimljena tzv. čvrsta točka, vidljiva tijekom cijelog snimanja. Referentni okvir pozicioniran je na povišenje od 75 cm zbog postizanja velike visine u fazi leta. Zbog snimanja u natjecateljskim uvjetima i kratkog vremenskog perioda za postavljanje, okvir se pozicionirao samo ispred pritke, tj. u smjeru izvođenja saskoka. Podaci koje obuhvaća referentni okvir, kao i područje 90 cm od okvira u dužinu i visinu, tj. 45 cm u širinu sa svake strane, smatraju se preciznima, dok podaci koji izlaze iz ovog područja uključuju određenu količinu greške nastale kao posljedica optičke distorzije.



Slika 7. Referentni okvir

4.5. IZRAČUNAVANJE KINEMATIČKIH PARAMETARA

Kinematička 3D analiza za potrebe ovog istraživanja izvršena je sustavom APAS¹⁹ (APAS, 2016), uvažavajući specifičnosti nametnute modelima i stereotipima gibanja koji su bili predmet analize.

Snimljeni materijali pohranjeni su na tvrdi disk računala kao *Microsoft avi* nekomprimirani video u digitaliziranom formatu te su za svaki od izvedenih saskoka vremenski usklađeni zapisi obje kamere koji su podvrgnuti daljnjoj analizi.

Za svaku sliku zapisa izvršena je *identifikacija i digitalizacija* 18 referentnih točaka koje definiraju 14-segmentalni model tijela: stopala (2), potkoljenice (2), natkoljenice (2), trup (2), dlanovi (2), podlaktice (2), nadlaktice (2) i glava. Primijenjeni antropometrijski model zasniva se na modelu autora Zaciorski, Aurin i Selujanov (1981), prilagođenom specifičnostima koje pretpostavlja sustav APAS. Osim digitalizacije referentnih točaka tijela, za svaku je kameru manualno digitalizirano i osam točaka koje definiraju kalibracijski okvir. Dodatno je s dvije točke određena pritka (pritka lijevo i pritka desno). Određeni su i trenuci sinkronizacije za obje kamere.

U *transformacijskom modulu* izvršeno je objedinjavanje pojedinačnih digitaliziranih zapisa s obje kamere u trodimenzionalni prostor metodom linearne transformacije (Abdel-Aziz i Karara, 1971). Na taj način dobivene su realne trodimenzionalne koordinate položaja referentnih točaka tijela pomoću kojih je moguće locirati i orijentirati svaki segment tijela te tako i čitavo tijelo sportaša pri izvedbi kretnih struktura.

Sljedeći korak bio je izvršiti redukciju šumova nastalih pri digitalizaciji referentnih točaka, a za to se koristio *modul za filtriranje*. Za potrebe ovog istraživanja filtriranje podataka izvršeno je *Cubik Spline* filterom (McLaughlin, Dillman i Lardner, 1977), nezavisno za svaku

¹⁹ APAS – Ariel Performance System

referentnu točku analizirane sekvence. Za brze i kompleksne pokrete, kao što je saskok s preče, nužno je filtriranje podataka dobivenih manualnom digitalizacijom kako bi se uklonile subjektivne greške nastale u lociranju referentnih točaka tijela.

Izračunavanje kinematičkih veličina iz prethodno pripremljenih podataka (digitalizacija, transformacija, filtriranje) odnosilo se na parametre i veličine koje opisuju saskoke s preče. U ovoj fazi izračunati su prostorni pomaci te brzine i ubrzanja referentnih točaka tijela, kutovi i kutne brzine zglobnih sustava.

Za prikaz rezultata prethodnih analiza korišten je modul za *prezentaciju podataka*. Izdvojene karakteristične pozicije gibanja prikazane su u obliku tzv. *stick figure*²⁰ i kao slike. Ekstrakcijom podataka u Excel formatu za prezentaciju podataka koristili su se i grafovi dobiveni iz izračunatih veličina.

²⁰ *Stick figure* – eng., Štapićasta figura

4.6. METODE OBRADE PODATKA

Za obradu prikupljenih podataka koristio se programski paket SPSS²¹ ver. 22.0, Inc.

Putem deskriptivne statistike za svaku varijablu izračunati su sljedeći parametri: Kolmogorov-Smirnov test normalne raspodjele varijabli, aritmetička sredina (AS), standardna devijacija (SD), najmanji (MIN) i najveći (MAX) rezultat.

Za varijable koje su bile normalno raspoređene, napravljena je analiza varijance ANOVA s grupiranjem u pojedinu vrstu saskoka te razlike među skupinama, u slučaju homogenih varijanaca (po metodi Levena) između grupa po metodi LSD, a u slučaju nehomogenih varijanaca po metodi Tamahne. Za varijable koje nisu imale normalne raspodjele, napravljena je Kruskal-Wallis analiza između grupa saskoka.

Napravljena je i regresijska analiza u pojedinom analiziranom trenutku, gdje je zavisna varijabla bila broj okreta oko uzdužne osi, a neovisne biomehaničke varijable u datom trenutku.

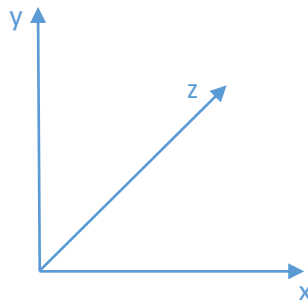
Razina statističke značajnosti postavljena je na $p < 0,05$.

²¹ SPSS – Statistical Package for the Social Sciences

5. REZULTATI I RASPRAVA

Nakon što su podaci obrađeni, za svaki je saskok napravljena analiza prostornih pomaka, te brzine i ubrzanja referentnih točaka tijela, kutova i kutnih brzina zglobnih sustava. Svaka varijabla analizirana je u tri osi kretanja: x , y , z . Da bi se lakše interpretirali rezultati, potrebno je sagledati koordinatni sustav, tj. položaje osi x , y , z u prostoru (slika 8). Ishodište koordinatnog sustava, tj. nulta točka koordinatnog sustava nalazi se u razini pritke i strunjače za doskok, 1,2 m lijevo od lijeve strane pritke u odnosu na pozitivan pravac x . Ovako postavljen koordinatni sustav znači da os x prikazuje prostorne pomake naprijed-natrag, os y gore-dolje, a os z lijevo-desno. Svi saskoci su se izvodili u smjeru negativnog pravca osi x .

Pri interpretaciji podataka potrebno je uzeti u obzir da je referentni okvir snimljen samo u jednoj poziciji koja precizno pokriva područje 270 cm ispred i 90 cm iza pritke te 345 cm iznad strunjače za doskok. Podaci koji su obuhvaćeni prostorom izvan tog područja uključuju određenu količinu greške nastale kao posljedica optičke distorzije.



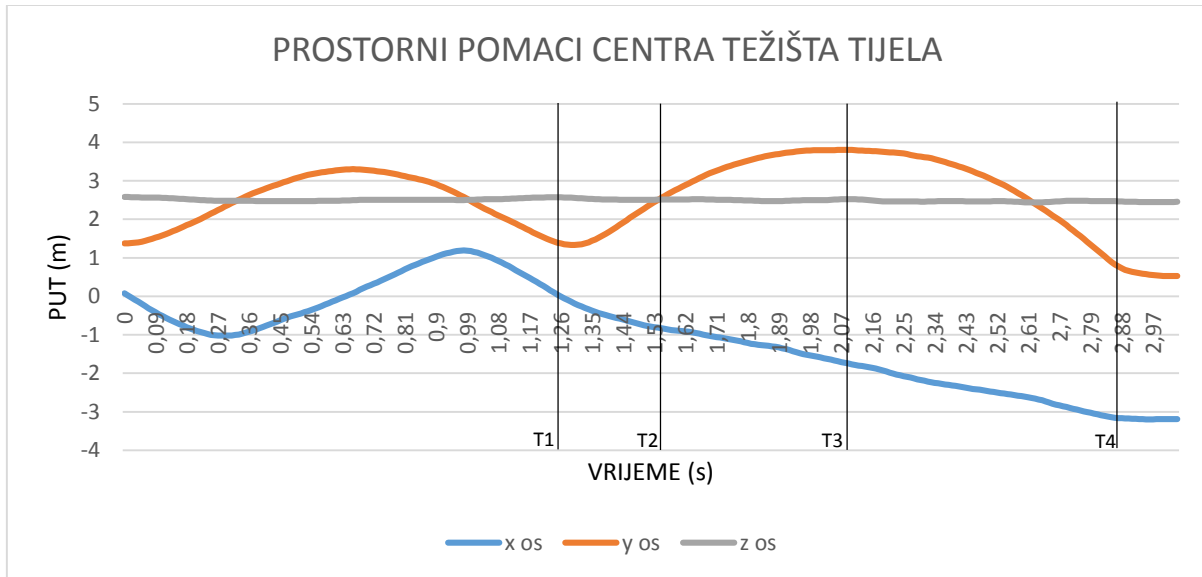
Slika 8. Koordinatni sustav

Zbog velikog broja podataka, u nastavku će se navesti primjer rezultata i analize samo jednog saskoka – **dvostruki pruženi salto natrag s tri rotacije oko uzdužne osi u desnu stranu (ispitanik: 20 god, 159 cm, 63 kg)**, a radi prikaza metodologije istraživanja. Istim principom obrađeno je i preostalih 14 izvedbi saskoka.

SASKOK FEDORCHENKO

➤ PROSTORNI POMACI

Grafički prikaz 1. *Prostorni pomaci centra težišta tijela u tri osi*

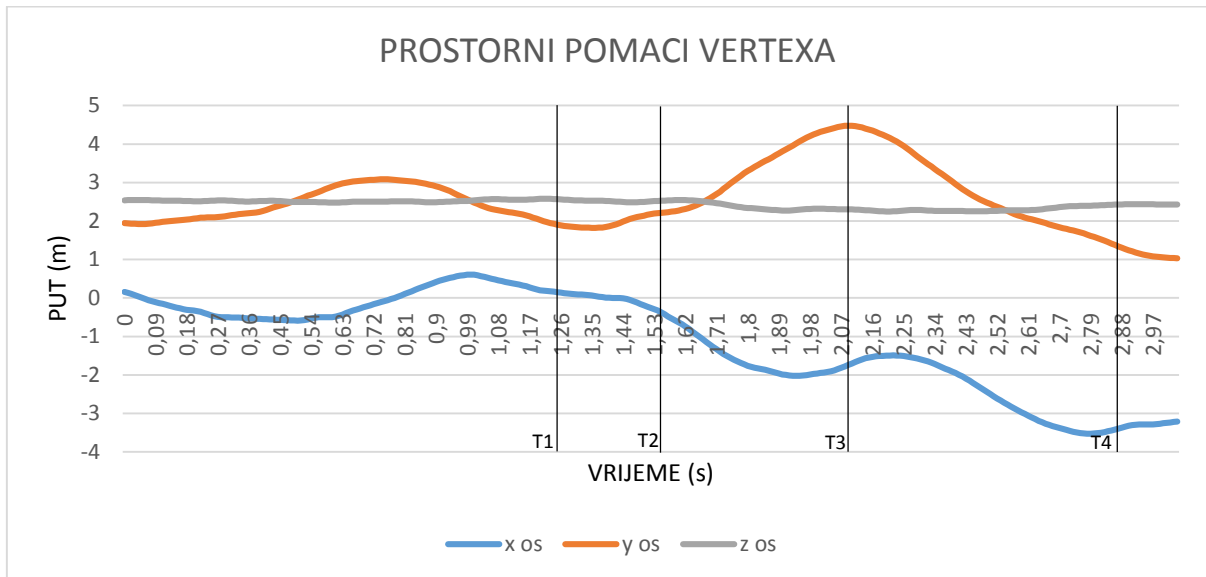


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja i saskoka iz 1. grafičkog prikaza vide se prostorni pomaci centra težišta tijela u tri osi. Faza leta, od puštanja pritke do trenutka doskoka, traje 1,32 s. Iz pomaka po osi x vidljivo je kako centar težišta tijela kruži oko pritke, u trenutku puštanja pritke udaljen je -83,69 cm od pritke, a u trenutku maksimalne visine udaljen je -173,32 cm te se kontinuirano nastavlja udaljavati do trenutka doskoka na -317,09 cm od pritke. Kretanje tijela u saskoku po osi x ide u negativnom smjeru (nulta točka je pritka) pa su i vrijednosti u smjeru izvedbe saskoka negativnog predznaka. Pomaci po osi y pokazuju također kružnu kretanju oko pritke tijekom pripremnog velekovrtljaja, a nakon trenutka u kojem je centar težišta tijela točno ispod pritke, nastavlja kratko kretanje prema dolje da bi zatim kretanje nastavilo kontinuirano prema gore do maksimalne visine. U trenutku puštanja pritke centar težišta tijela nalazi se 0,64 cm iznad pritke. Najviša točka centra težišta od 380,84 cm postignuta je 0,53 s nakon puštanja pritke. Silazni put leta do trenutka doskoka traje 0,79 s, a u trenutku doskoka centar težišta tijela nalazi se na 77,27 cm visine od strunjače. Nakon kontakta stopala

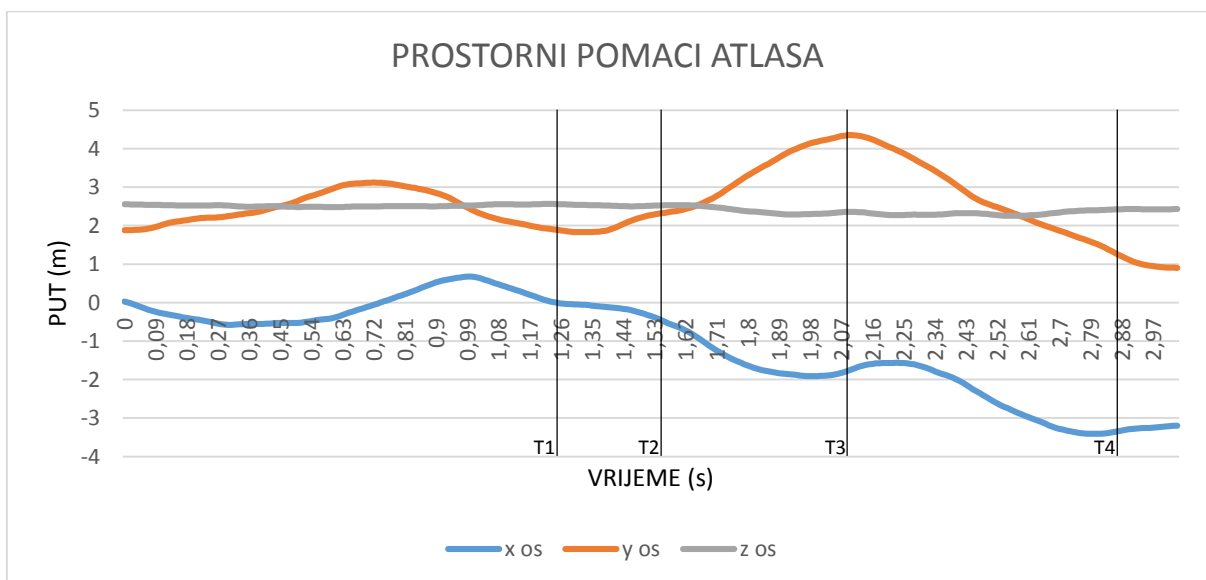
s podlogom, centar težišta tijela nastavlja se spuštati još nekoliko centimetara uslijed amortizacije doskoka grčenjem koljena.

Grafički prikaz 2. *Prostorni pomaci vertexa u tri osi*



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

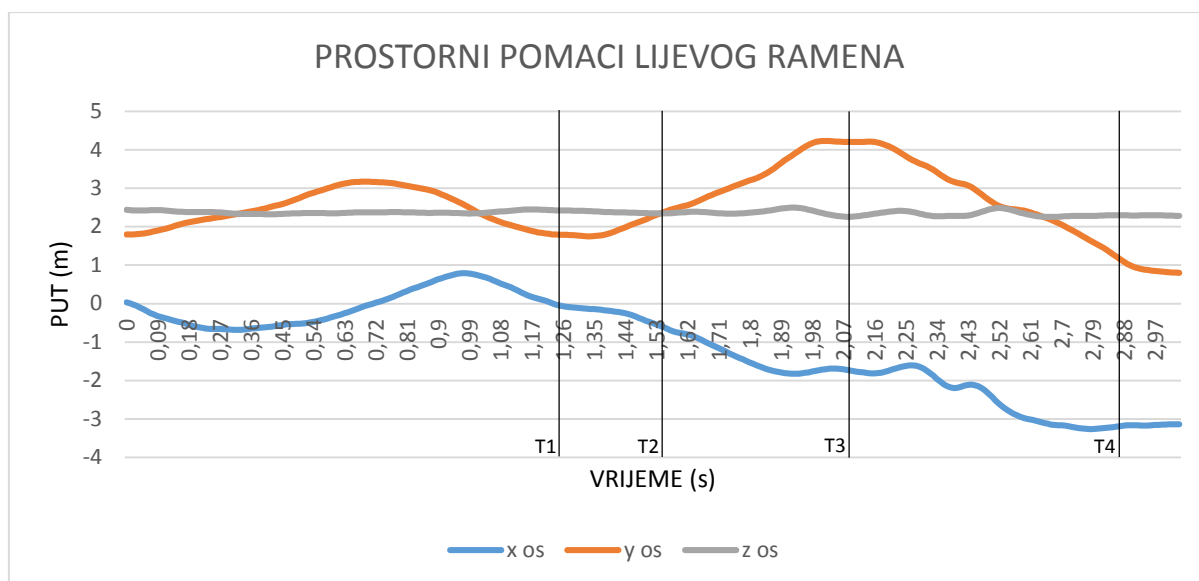
Grafički prikaz 3. *Prostorni pomaci atlasa u tri osi*



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

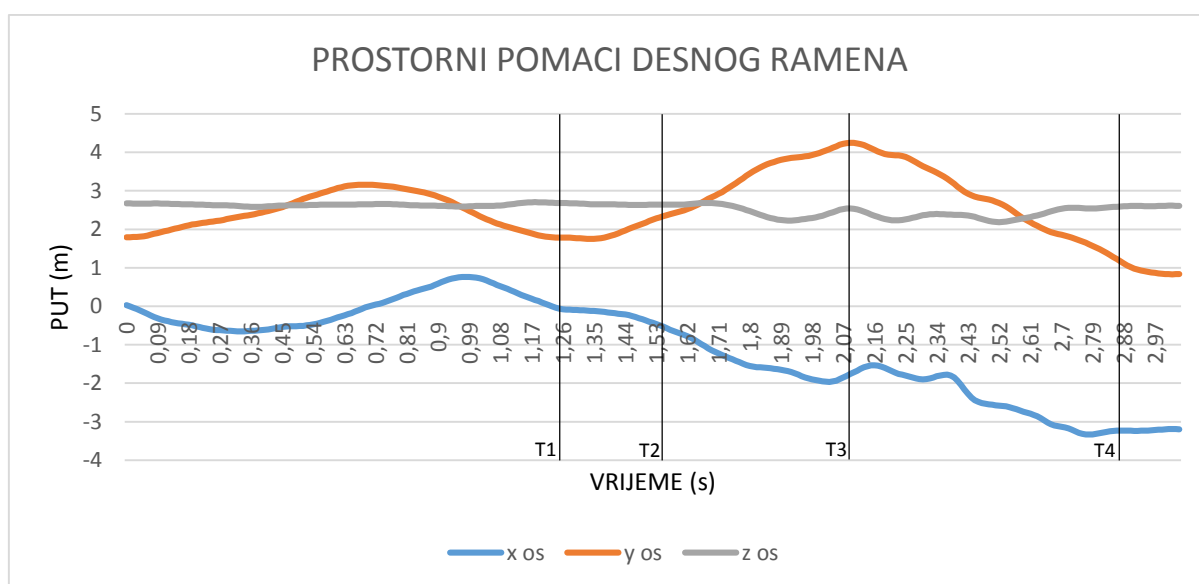
Kretanje glave vidljivo je iz prikaza prostornih pomaka vertexa i atlasa na grafičkim prikazima 2 i 3. Kada se centar težišta tijela nalazi ispod pritke, glava je 5,39 cm udaljena od pritke po osi x , a u trenutku puštanja pritke -41,8 cm, dok je po osi y glava 28,04 cm ispod razine pritke. Prije puštanja pritke, vidi se kako glava kruži oko pritke tijekom pripremnih velekovrtljaja. Nakon puštanja pritke, glava nastavlja kretanju po osi y u obliku parabole do doskoka, a najviša točka glave (4,48 m) preklapa se s trenutkom maksimalne visine centra težišta tijela. Nakon što dostigne trenutak maksimalne visine, trajektorija kretanja glave prema doskoku je gotovo identična kretanju od puštanja pritke do maksimalne visine. Nakon prvog kontakta stopala s podlogom, glava nastavlja svoj put prema dolje, a zatim se uslijed amortizacije doskoka to kretanje zaustavlja. Po osi x glava se postepeno udaljava od pritke, dok se u trenutku ulaska u drugi salto zbog rotacije oko poprečne osi na trenutak približava pritci, što se događa i u trenutku doskoka zbog velike rotacije tijela oko poprečne osi i uspravljanja tijela kao pripreme za doskok. Osim po osi x i y , od vrijednosti u trenutku puštanja do doskoka vidljivo je odmicanje glave do -23,86 cm po osi z . Odmicanje glave pojavljuje se u kratkom periodu od trenutka puštanja pritke, a zadržava se tijekom cijele faze leta, da bi se pred doskok glava vratila u položaj koji nije isti kao u trenutku puštanja pritke, već je nekoliko centimetara lijevo od trenutka puštanja pritke. Ovdje se radi o tzv. tiltu, tj. nagibu tijela tipičnom za rotacije tijela oko uzdužne osi. Gimnastičar je izvodio rotaciju oko uzdužne osi u desnu stranu, a nagib tijela, tj. glava je tijekom rotacije bila izvan pravocrtne putanje u suprotnoj, lijevoj strani. Osim nagiba tijela, podaci pokazuju kako tijekom faze leta ni cijelo tijelo nije imalo pravocrtnu putanju, već je smjer kretanja tijela bio blago u lijevu stranu, suprotnu od strane u koju se izvodila rotacija oko uzdužne osi tijela.

Grafički prikaz 4. Prostorni pomaci lijevog ramena u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 5. Prostorni pomaci desnog ramena u tri osi

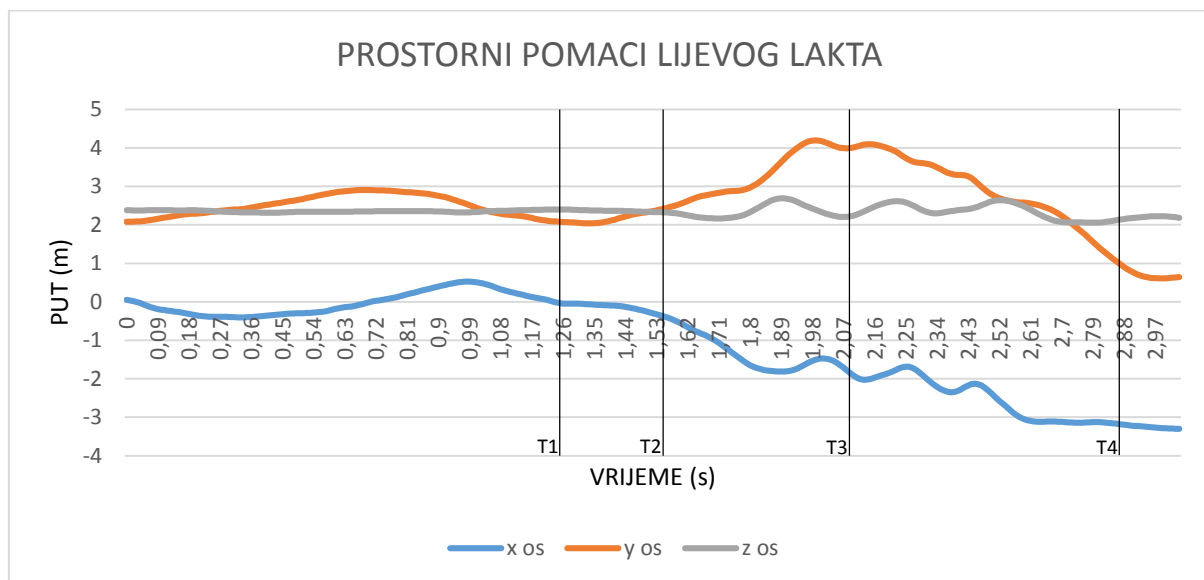


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Iz grafičkih prikaza 4 i 5 vidi se kretanje ramena. Tijekom pripremnog velekovrtljaja, ramena rade simetričan pokret kruženja oko pritke, s približno istim vrijednostima cijelim putem. Iz kretanja po osi x vidljivo je da ramena kontinuirano putuju od trenutka maksimalne udaljenosti od pritke po osi x, do trenutka dolaska u poziciju centra težišta tijela ispod pritke. U trenutku kada se centar težišta tijela nalazi ispod pritke, ramena na trenutak zadržavaju istu

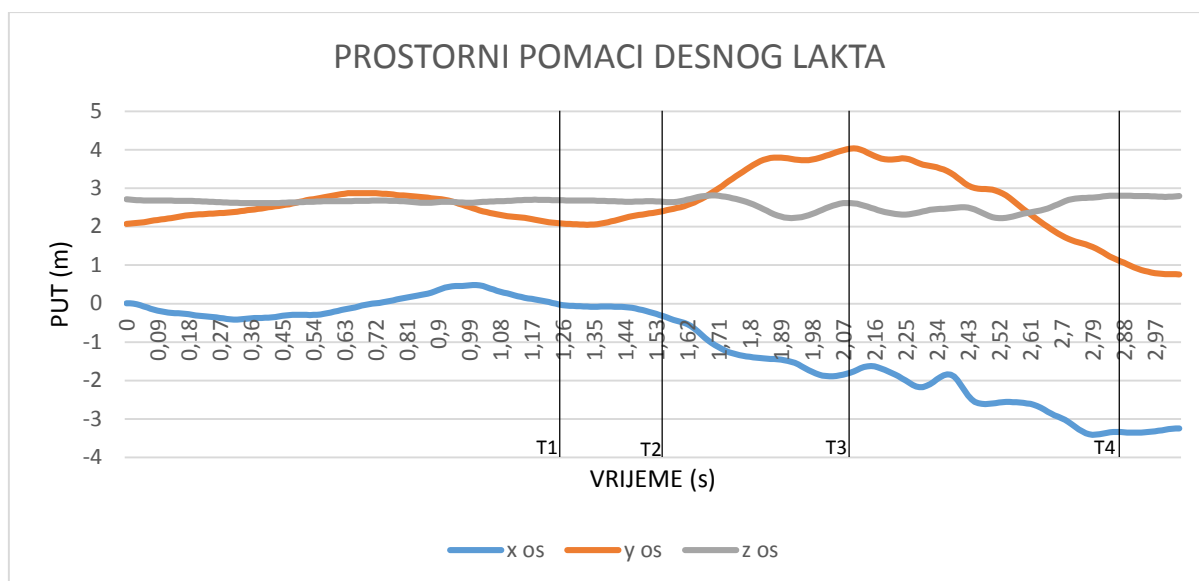
poziciju po osi x i y da bi nakon toga kontinuirano putovala od pritke, po osi y u obliku parabole, a po osi x pravocrtno s minimalnim odstupanjima do trenutka pred maksimalnom visinom centra težišta tijela. U trenutku kad centar težišta tijela prolazi kroz maksimalnu visinu uslijed rotacije i nagiba tijela, događa se da lijevo rame zadržava postignutu maksimalnu visinu (0,15 s; 4,20 m) kroz duži period u odnosu na desno rame (0,03 s; 4,24 m), tj. postoji odstupanje u kretanju lijevog i desnog ramena. Ovo je pokazatelj da se tijekom faze leta, a posebno tijekom faze od puštanja pritke do dolaska na maksimalnu visinu leta, kontrola rotacije vrši i minimalnim korekcijama položaja ramena. Slično se događa i s položajem ramena u osi x , gdje je vidljivo odstupanje u simetričnosti kretanja tijekom prolaska kroz maksimalnu visinu leta. U trenutku puštanja pritke i doskoka, ramena imaju približno iste vrijednosti po osi x i y , tj. rotacija oko uzdužne osi u području ramena kreće nakon puštanja pritke i završava prije kontakta stopala s podlogom. U trenutku puštanja pritke, ramena su 19,05 cm ispod razine pritke po osi y . Od vrijednosti u trenutku puštanja do doskoka vidljivo je još veće odmicanje ramena po osi z nego kod glave, do -26,61 cm. Uzrok ovakvom rezultatu može biti u približavanju glave ramenima (skupljanju tijela) kako bi se zadržala postignuta brzina rotacije.

Grafički prikaz 6. *Prostorni pomaci lijevog lakta u tri osi*



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

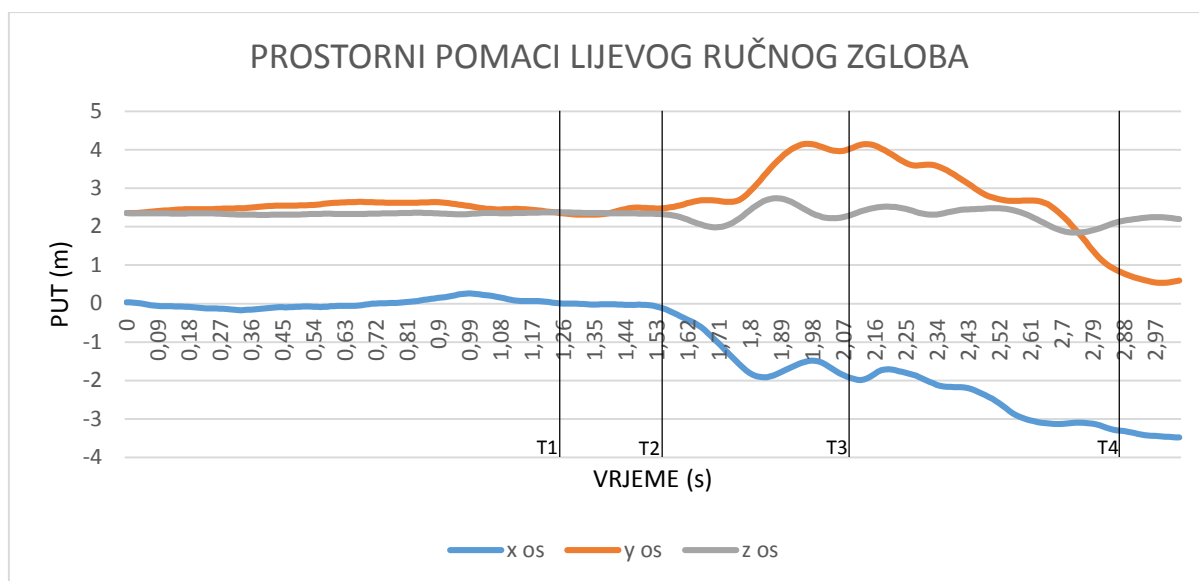
Grafički prikaz 7. Prostorni pomaci desnog lakta u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

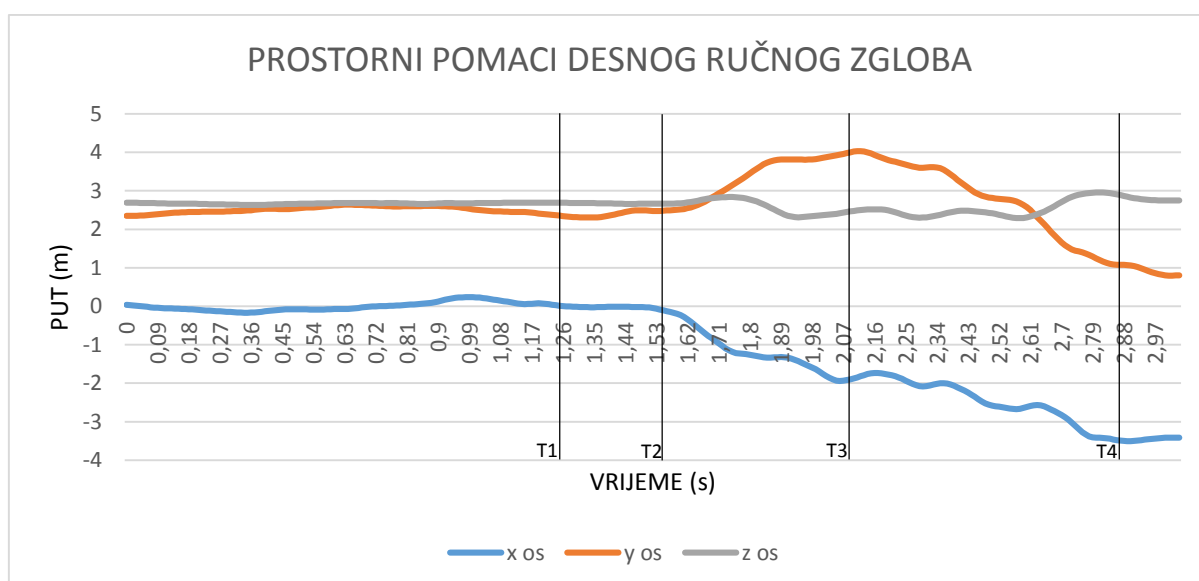
Grafički prikazi 6 i 7 prikazuju prostorne pomake laktova. Tijekom izvedbe pripremnih velekovrtljaja, vrijednosti za lijevi i desni lakat su gotovo identične. U trenutku puštanja pritke laktovi također imaju približno jednake vrijednosti po osi x i y , a nalaze se 13,53 cm ispod razine pritke. Iz grafičkog prikaza vidljivo je kako laktovi nemaju istu trajektoriju kretanja, tj. da tijekom faze leta rade nesimetrične kretnje. To se pogotovo odnosi na prvi dio faze leta, nakon puštanja pritke. Kao i kod ramena, u laktovima je vidljiva razlika u kretanju tijekom prolaska kroz maksimalnu visinu leta. Lijevi lakat duže se zadržava na većoj visini (iznad 4 m), što je pokazatelj nagiba tijela, ali i da se kontrola rotacije događa pomicanjem laktova tijekom faze leta. Razlika se vidi i u kretanju laktova po osi x , prije doskoka. Desni lakat zaustavlja svoje kretanje prije lijevog lakta, ali pred sami doskok radi kontra pokret odmicanjem lakta suprotno od smjera rotacije kako bi zaustavio rotaciju tijela oko uzdužne osi. U trenutku doskoka laktovi imaju približno jednake vrijednosti po osi y , ali po osi x kao posljedica kontra pokreta prije doskoka, vidljiva je razlika u udaljenosti od pritke, tj. desni lakat u odnosu na lijevi lakat nalazi se 15,37 cm dalje od pritke. Iako je visina laktova pri kontaktu stopala s podlogom približno jednake vrijednosti, tijekom amortizacije doskoka lijevi lakat zbog velike rotacije spušta se na manju visinu od desnog lakta.

Grafički prikaz 8. Prostorni pomaci lijevog ručnog zgloba u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 9. Prostorni pomaci desnog ručnog zgloba u tri osi

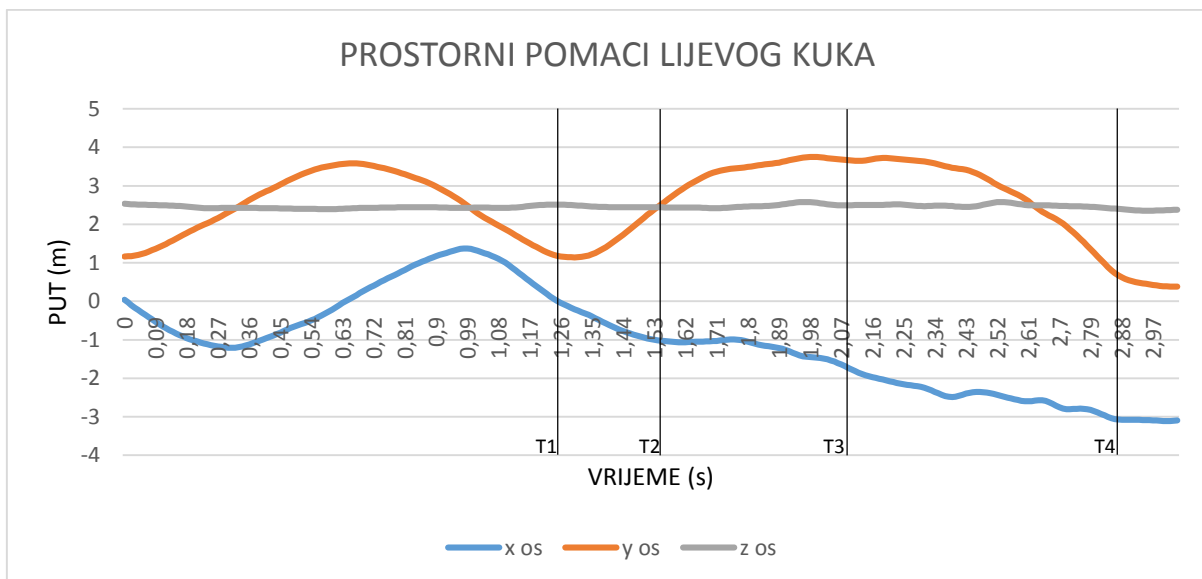


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikazi 8 i 9 prikazuju prostorne pomake ručnih zglobova. Tijekom pripremnog velekovrtljaja, ručni zglob radi kružne pokrete malom amplitudom, budući da je centar rotacije pritka. Zbog fleksibilnosti pritke, u trenutku kada se centar težišta tijela nalazi ispod pritke, dolazi do umjerenog savijanja pritke prema dolje, što se vidi i na trajektoriji ručnog zgloba po osi y. Iz grafičkog prikaza vidljivo je da su u trenutku puštanja pritke ručni zglobovi u istoj

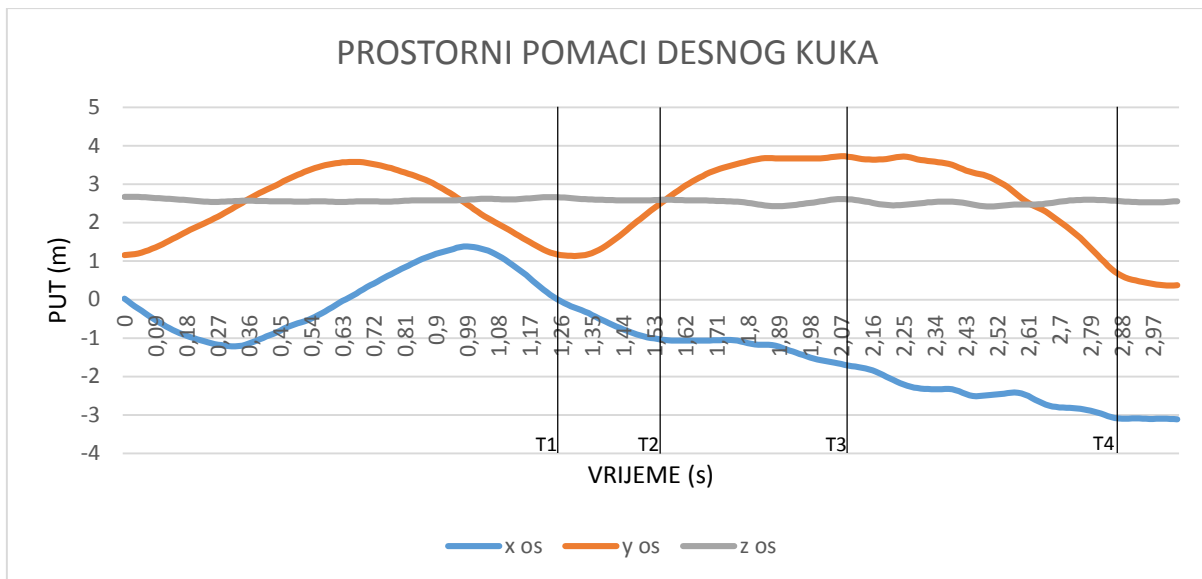
razini po osi x i y , ali nakon puštanja desni ručni zglob po osi y dostiže veće vrijednosti brže nego lijevi, ali ipak manju maksimalnu visinu (l. zglob 4,15 m; d. zglob 4,0 m), dok se po osi x lijevi ručni zglob brže udaljava od pritke u prvim trenucima nakon puštanja. Po osi z vidljivo je kretanje zglobova u obliku krivulje, s tim da se rotacija zbog nagiba tijela događa izvan ravnine u trenutku puštanja. Lijevi zglob ranije zaustavlja rotaciju u završnoj fazi leta, a prije doskoka ima kretanje od pritke dok desni zglob uslijed rotacije kasnije zaustavlja kretanje prema pritci te u trenutku doskoka zadržava konstantnu udaljenost od pritke. U trenutku doskoka, zglobovi tj. šake kreću se prema unutra po osi z kako bi se zaustavila rotacija oko uzdužne osi.

Grafički prikaz 10. *Prostorni pomaci lijevog kuka u tri osi*



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

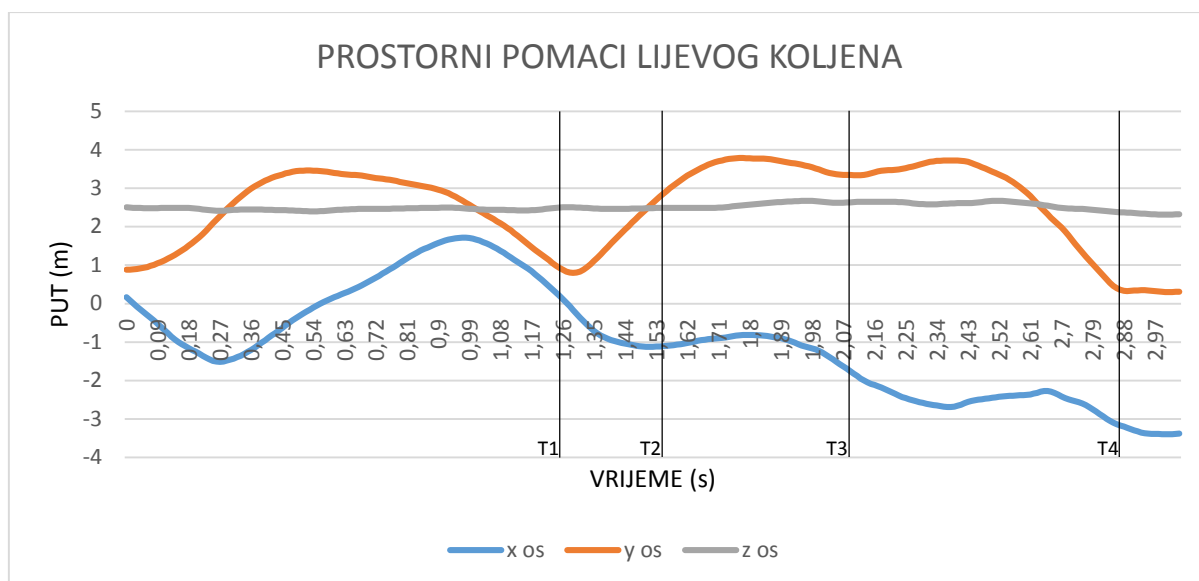
Grafički prikaz 11. *Prostorni pomaci desnog kuka u tri osi*



Legenda: $T1$ = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, $T2$ = trenutak puštanja pritke, $T3$ = maksimalna visina centra težišta po y osi, $T4$ = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

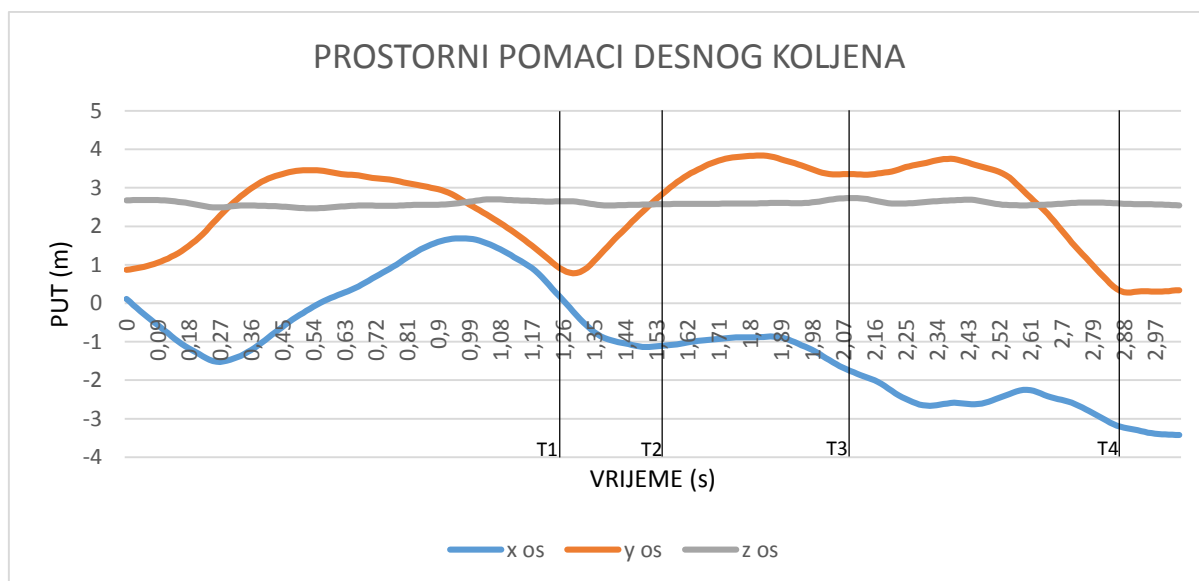
Prostorni pomaci kukova vide se na grafičkom prikazu 10 i 11. U trenutku puštanja kukovi se nalaze 2,92 cm ispod razine pritke prema y osi. Iz grafičkog prikaza vidljivo je da su u trenutku kada je centar težišta tijela ispod pritke i kukovi točno ispod pritke po osi x, a zatim se udaljavaju. Nakon puštanja pritke, kukovi se zadržavaju na istoj udaljenosti, a tijekom tog perioda naglo se povećava visina po osi y. Na pola puta od puštanja pritke do maksimalne visine od 3,75 m, kukovi se počinju kontinuirano udaljavati od pritke, a u tom trenutku povećanje visine po osi y se usporava. Kukovi se dugo (0,41 s) zadržavaju u blizini maksimalnih vrijednosti po osi y, do pola vremena između maksimalne visine i doskoka imaju blagi pad, a od tog trenutka do doskoka nastavlja se brži pad te se ponovo usporava od trenutka doskoka zbog amortizacije u zglobovima donjih ekstremiteta.

Grafički prikaz 12. Prostorni pomaci lijevog koljena u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 13. Prostorni pomaci desnog koljena u tri osi

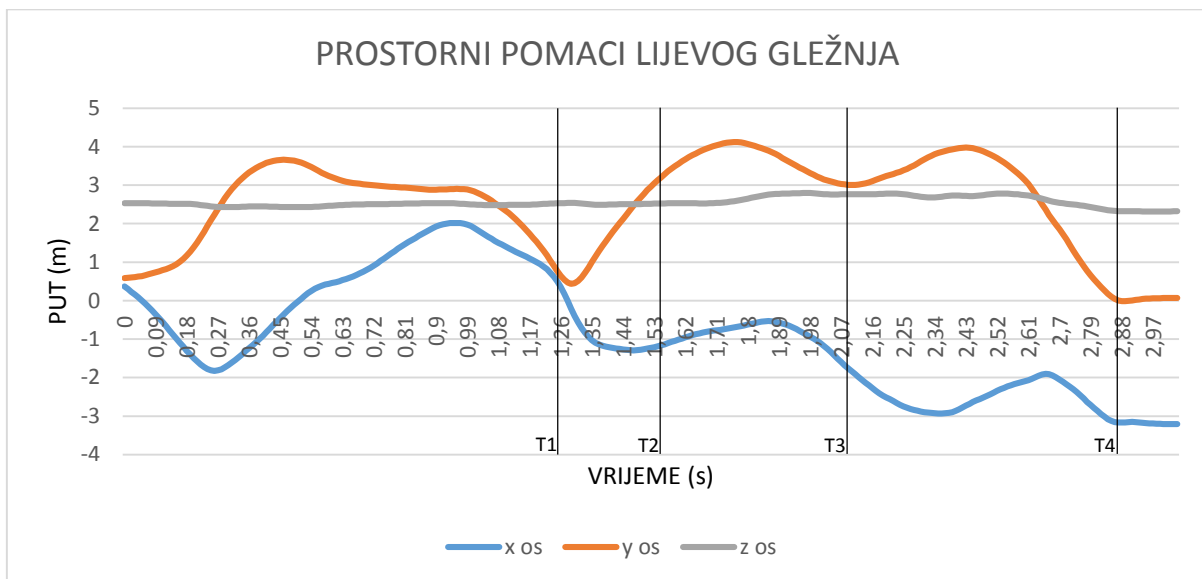


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Prostorni pomaci koljena vide se na grafičkom prikazu 12 i 13. Koljena, nakon trenutka centra težišta tijela ispod pritke, nastavljaju s kretanjem dolje po osi y da bi zatim imala brzu putanju gore, u trenutku puštanja pritke nalaze se 30,9 cm iznad razine pritke. Maksimalnu visinu postižu u prvom saltu da bi pri izvedbi drugog salta opet postigla vrijednosti blizu maksimalnih te potom dolazi do brzog i pravocrtnog pada, a zbog amortizacije koljena nastavlja

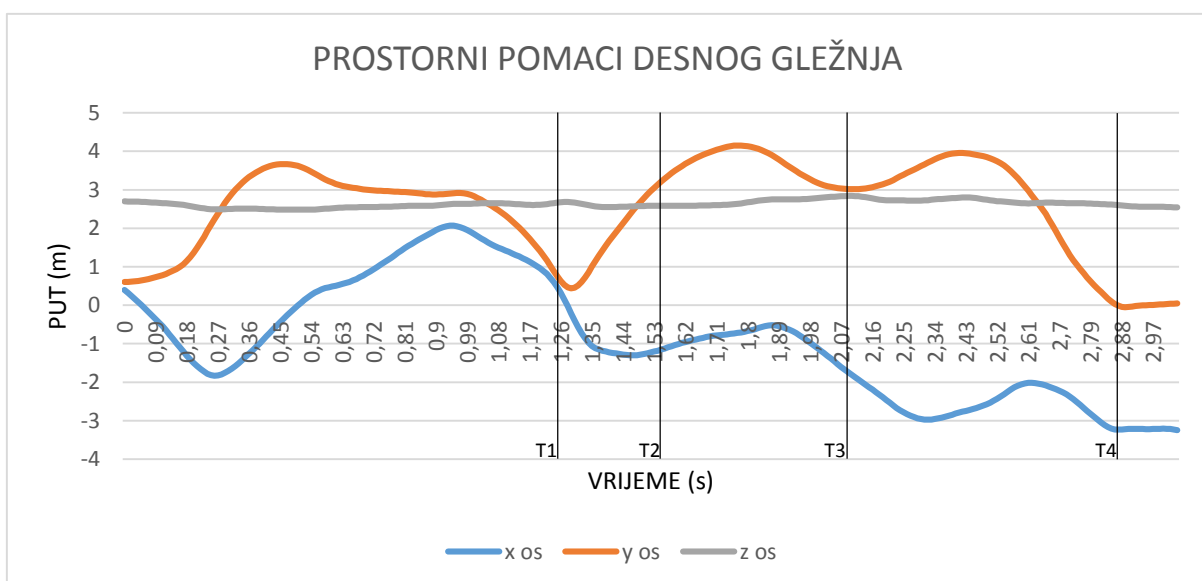
se kraći period spuštanja koljena nakon kontakta s podlogom. U trenutku centra težišta tijela ispod pritke, koljena se po osi x nalaze 29 cm iza ravnine pritke. Nakon puštanja, koljena se uslijed rotacije oko poprečne osi vraćaju prema pritci, da bi ulaskom u drugi salto krenulo udaljavanje od pritke. Po osi z , zbog nagiba tijela, vidi se odstupanje do 15,77 cm od trenutka puštanja, suprotno od smjera odstupanja glave i ramena.

Grafički prikaz 14. *Prostorni pomaci lijevog gležnja u tri osi*



Legenda: $T1$ = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, $T2$ = trenutak puštanja pritke, $T3$ = maksimalna visina centra težišta po y osi, $T4$ = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

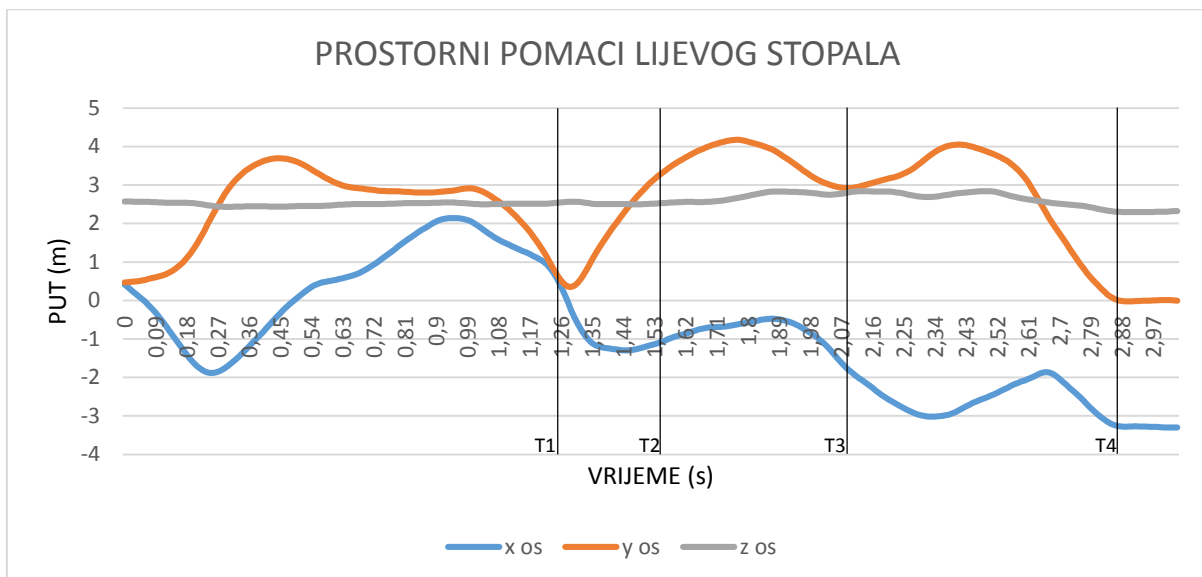
Grafički prikaz 15. *Prostorni pomaci desnog gležnja u tri osi*



Legenda: $T1$ = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, $T2$ = trenutak puštanja pritke, $T3$ = maksimalna visina centra težišta po y osi, $T4$ = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

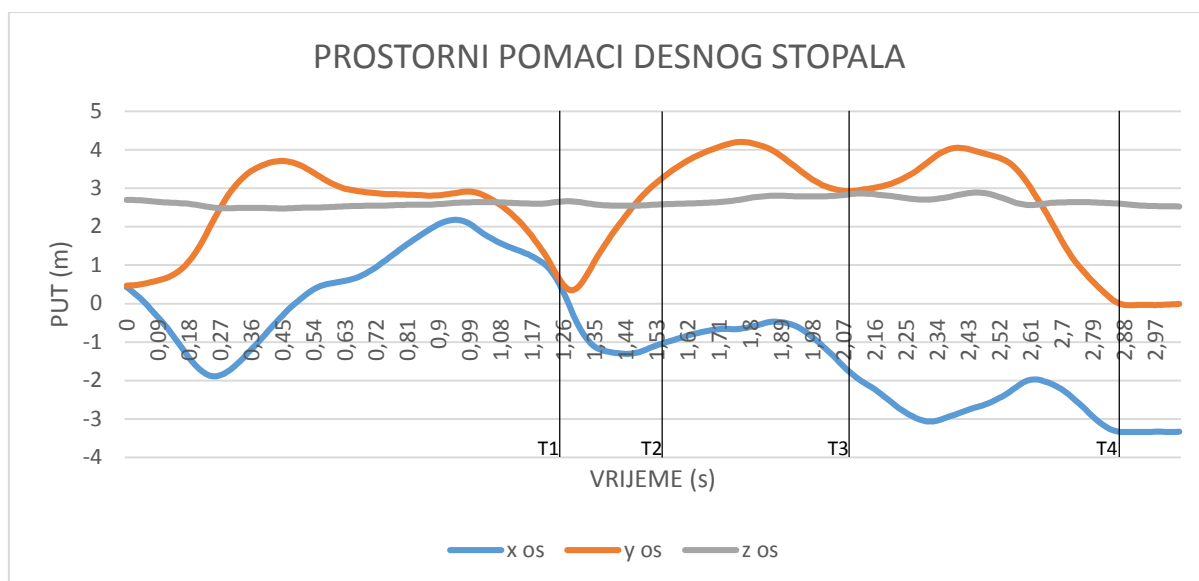
Prostorni pomaci gležnjeva vide se iz grafičkog prikaza 14 i 15. Nakon što je centar težišta tijela prošao ispod pritke, gležnjevi nastavljaju s kretanjem dolje po osi y da bi zatim imali oštru putanju gore, u trenutku puštanja pritke nalaze se 66,39 cm iznad razine pritke, maksimalnu visinu (4,14 m) postižu u prvom saltu, da bi pri izvedbi drugog salta opet postigla vrijednosti blizu maksimalnih te potom dolazi do brzog i pravocrtnog pada do kontakta s podlogom. Po osi x u trenutku centra težišta tijela ispod pritke, gležnjevi se nalaze 47,97 cm iza ravnine pritke. Nakon puštanja, gležnjevi se vraćaju prema pritci, da bi ulaskom u drugi salto krenulo udaljavanje od pritke. Po osi z zbog nagiba tijela, vidljivo je odstupanje do 24,88 cm od trenutka puštanja pritke, suprotno od smjera odstupanja glave i ramena.

Grafički prikaz 16. *Prostorni pomaci lijevog stopala u tri osi*



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 17. Prostorni pomaci desnog stopala u tri osi

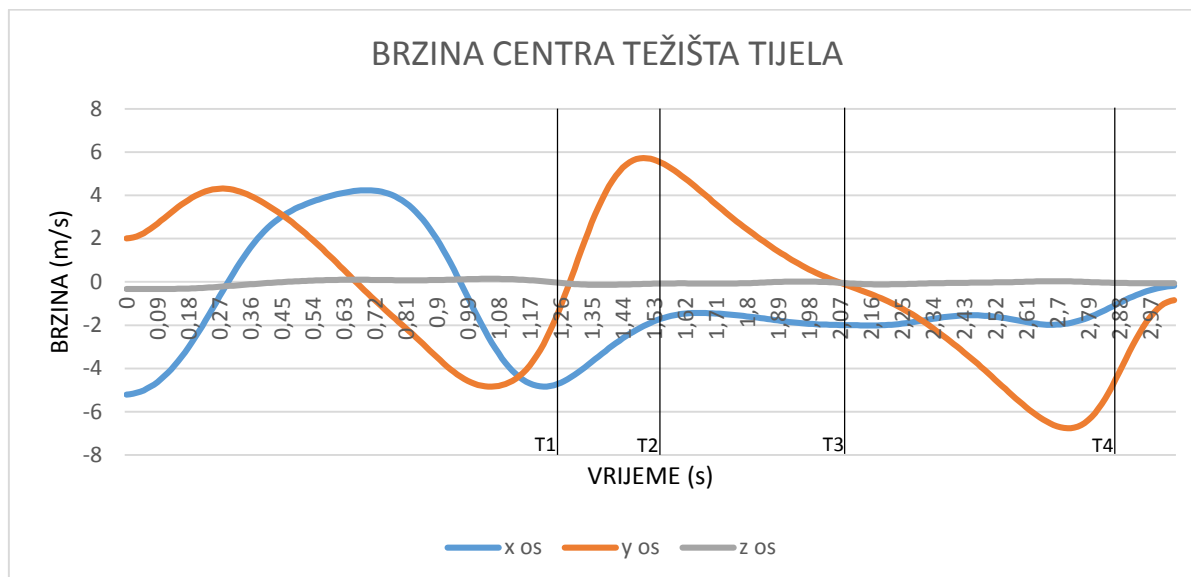


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Prostorni pomaci stopala vide se iz grafičkog prikaza 16 i 17. Stopala prate put gležnjeva te se u trenutku puštanja pritke nalaze 74,27 cm iznad razine pritke, maksimalnu visinu postižu u prvom saltu, da bi pri izvedbi drugog salta opet postigla vrijednosti blizu maksimalnih te potom dolazi do brzog i pravocrtnog pada do kontakta s podlogom. Po osi x u trenutku centra težišta tijela ispod pritke, gležnjevi se nalaze 64,64 cm iza ravnine pritke. Nakon puštanja, gležnjevi se vraćaju natrag, da bi ulaskom u drugi salto krenulo udaljavanje od pritke. Po osi z, zbog nagiba tijela, vidljivo je odstupanje do 30,26 cm od trenutka puštanja pritke, suprotno od smjera odstupanja glave i ramena.

➤ BRZINE

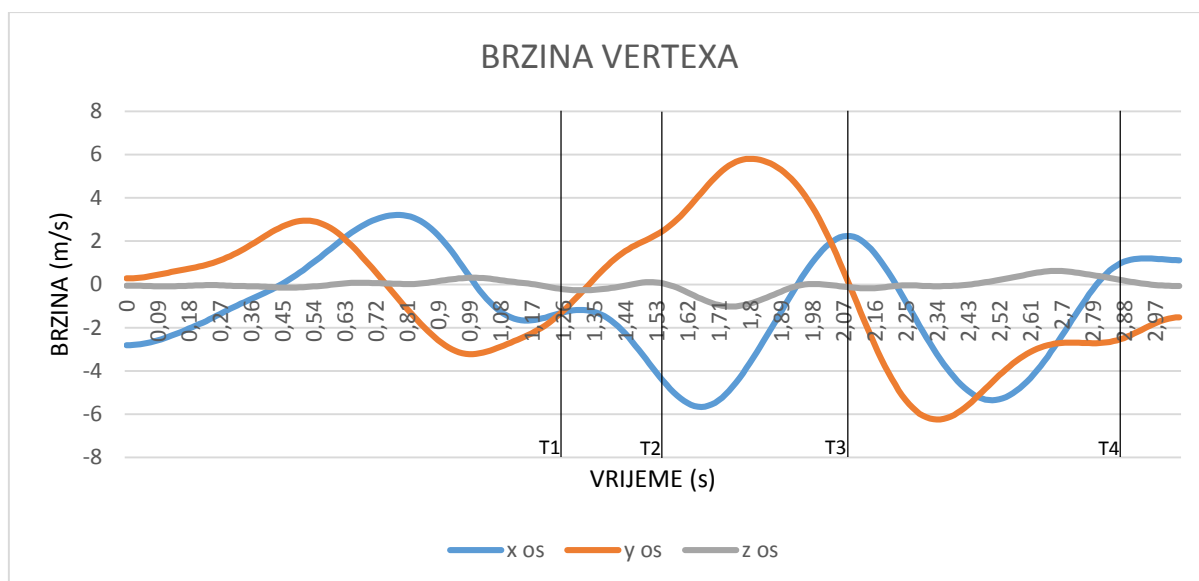
Grafički prikaz 18. *Brzina centra težišta tijela u tri osi*



Legenda: $T1$ = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, $T2$ = trenutak puštanja pritke, $T3$ = maksimalna visina centra težišta po y osi, $T4$ = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

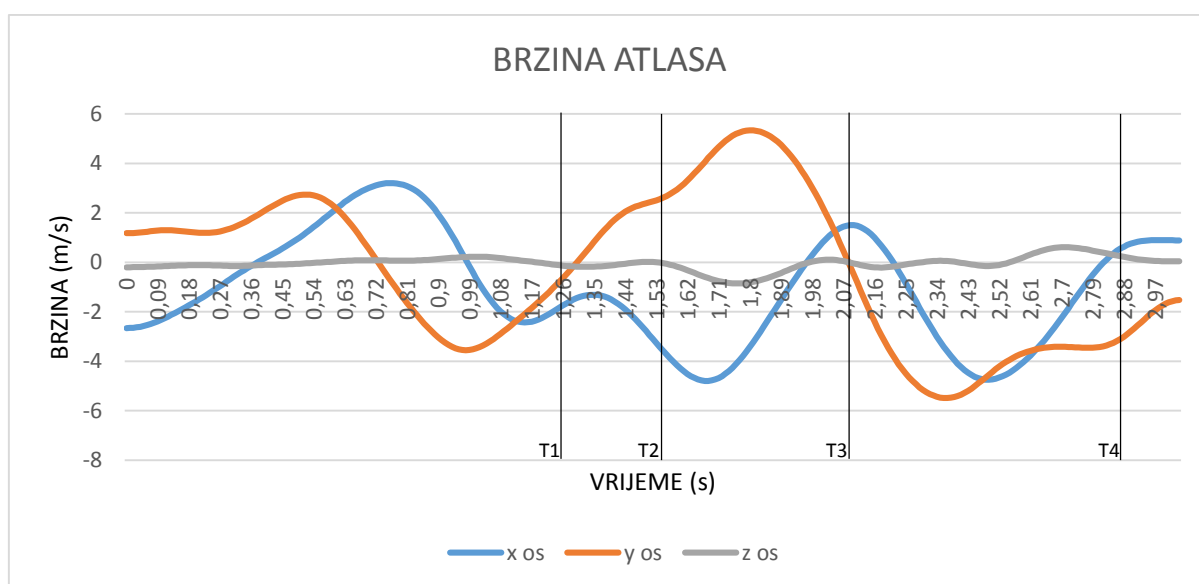
Grafički prikaz 18 prikazuje brzine centra težišta tijela tijekom saskoka u tri osi. Zbog izvedbe različitih kretanja različitim brzinama u odnosu na pojedinu os, prikazane su i negativne vrijednosti komponenti brzina tijekom izvedbe saskoka. Iz grafičkog prikaza vidi se kako centar težišta tijela postiže najveću vertikalnu brzinu prema gore (5,72 m/s), u trenucima prije puštanja pritke. U trenutku kada se pritka pušta, vertikalna brzina je smanjena i nastavlja se smanjivati do trenutka kada je centar težišta u najvišoj točki. Nakon toga, vertikalna brzina se opet povećava u drugoj fazi leta (brzina ima negativan predznak kad centar težišta tijela putuje prema dolje), a trenutak prije doskoka maksimalna vertikalna brzina prema dolje je veća (6,76 m/s), nego u trenutku kada je centar težišta imao putanju prema gore (5,72 m/s). Horizontalna brzina se smanjuje od trenutka kad je centar težišta tijela ispod pritke (4,83 m/s) do trenutka puštanja pritke, a tijekom cijele faze leta do doskoka je manja od 2 m/s. Po osi z vidi se najmanja varijabilnost u brzini te se može uočiti da tijekom faze pripremnog velekovrtljaja i leta uglavnom ne mijenja brzinu do doskoka.

Grafički prikaz 19. Brzina vertexa u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 20. Brzina atlasa u tri osi

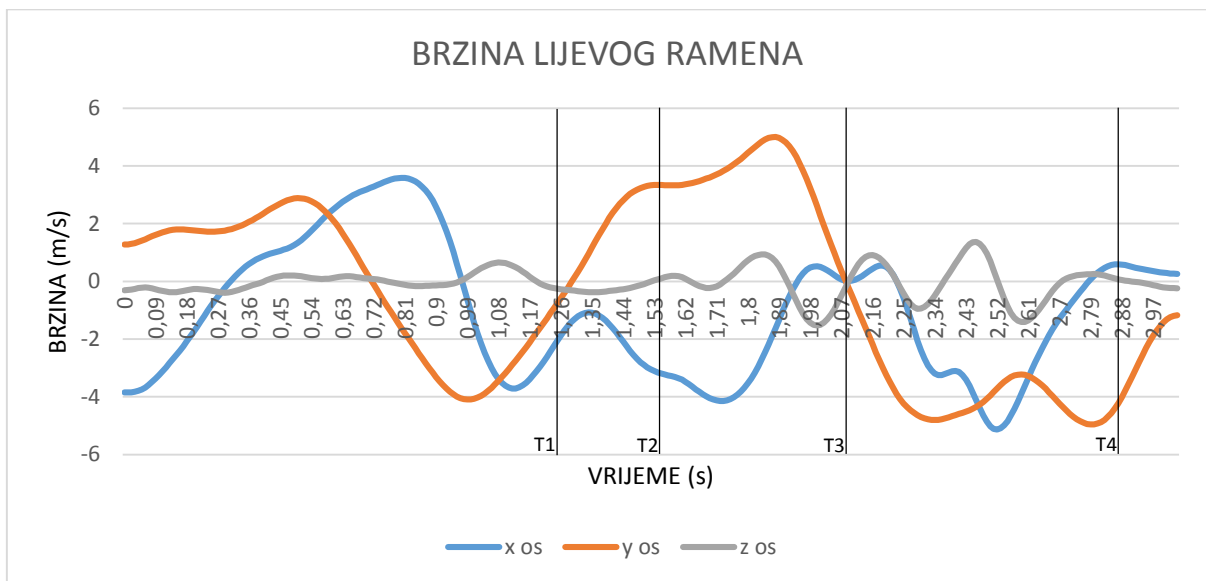


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Iz grafičkog prikaza 19 i 20 analizirat će se brzina kretanja glave tijekom izvedbe saskoka, kao prosječna vrijednost vertexa i atlasa. Glava nakon puštanja pritke postiže veliku vertikalnu brzinu prema gore (do 5,60 m/s), kao i horizontalnu brzinu u smjeru od pritke (do 5,22 m/s). Prema trenutku dolaska do najviše točke centra težišta tijela, vertikalna brzina se smanjuje, nakon prolaska najviše točke centra težišta opet povećava (do 5,87 m/s) ulaskom u

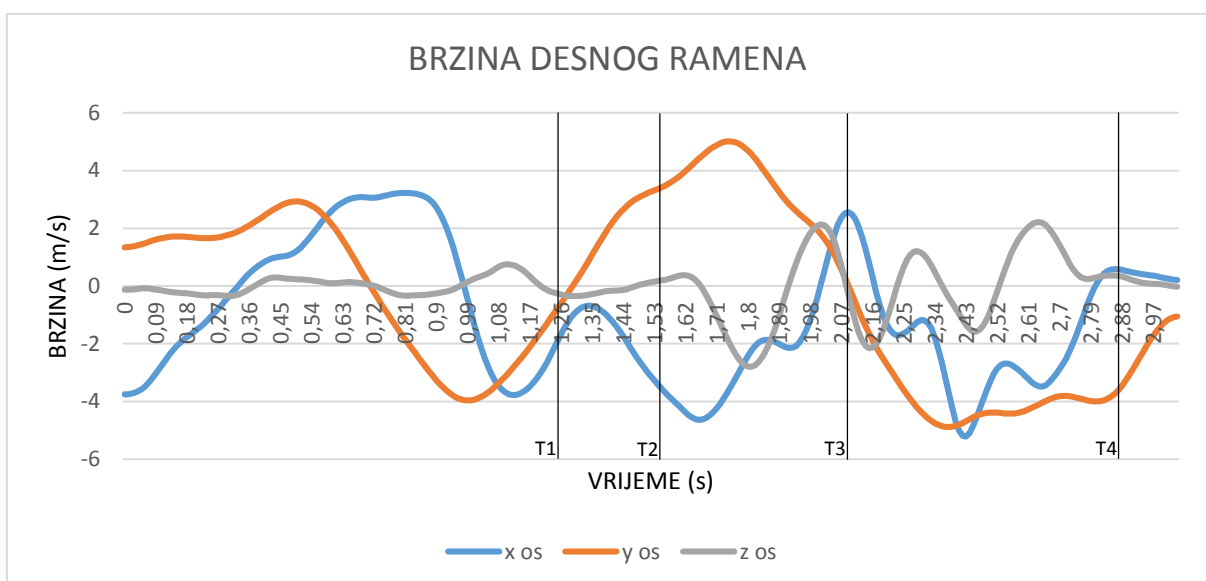
drugi salto, a zatim približavanjem trenutku doskoka vertikalna brzina se smanjuje. Horizontalna brzina 0,12 s nakon puštanja pritke postiže maksimalnu vrijednost od 5,23 m/s. Nakon prolaska točke maksimalne visine centra težišta tijela, horizontalna brzina povećava se u smjeru od pritke do maksimalne brzine od 5,12 m/s. Prema trenutku doskoka vertikalna i horizontalna brzina se smanjuju.

Grafički prikaz 21. Brzina lijevog ramena u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

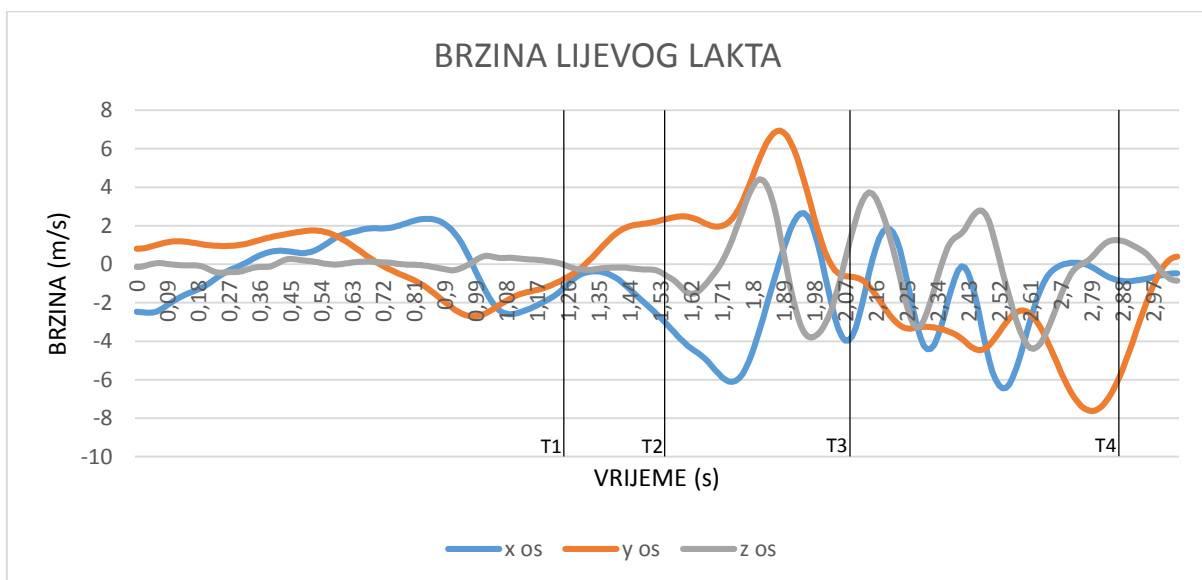
Grafički prikaz 22. Brzina desnog ramena u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

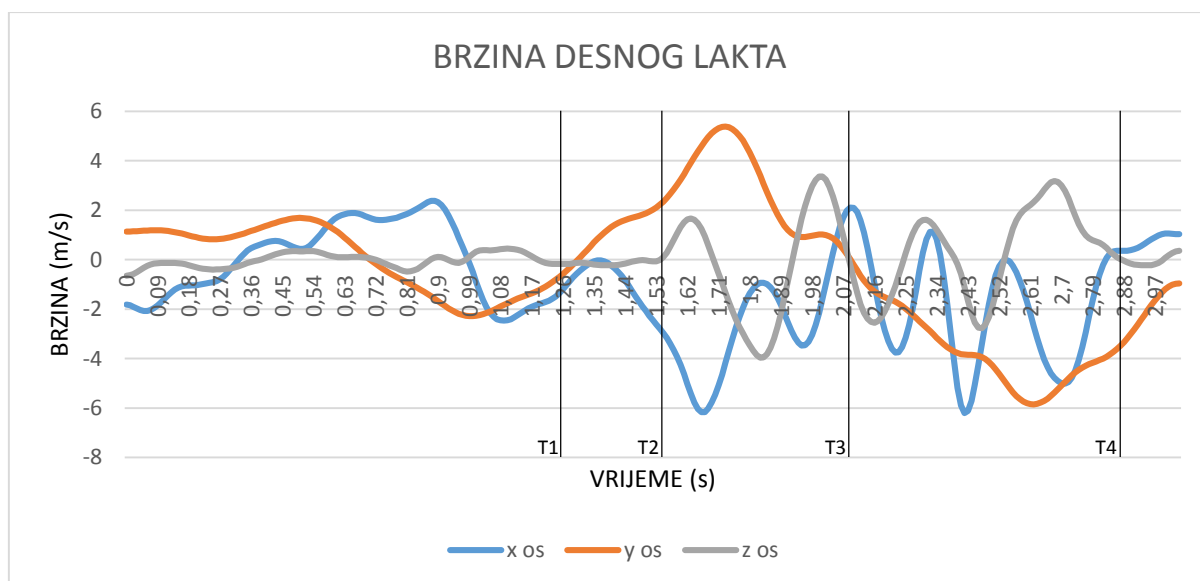
Iz grafičkog prikaza 21 i 22 vidi se brzina kretanja ramena. Do trenutka prije puštanja pritke, ramena imaju približno istu brzinu po svim osima, ali u trenutku puštanja pritke, desno rame ima veće brzine u svim osima. Desno rame zbog rotacije oko uzdužne osi nakon puštanja pritke odmah povećava vertikalnu brzinu prema gore i dolazi do maksimalne vertikalne brzine brže od lijevog ramena. Iako vertikalne brzine lijevog i desnog ramena imaju gotovo identične maksimalne vrijednosti tijekom faze leta (5 m/s), desno rame uslijed rotacije oko uzdužne osi postiže veću horizontalnu brzinu (2,36 m/s) prema pritci u trenutku prolaska centra težišta tijela kroz maksimalnu visinu. U trenutku doskoka vidljiva je nesimetrija u brzinama lijevog i desnog ramena zbog rotacija po uzdužnoj i poprečnoj osi, budući da se ramena ne zaustavljaju istovremeno.

Grafički prikaz 23. Brzina lijevog lakta u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

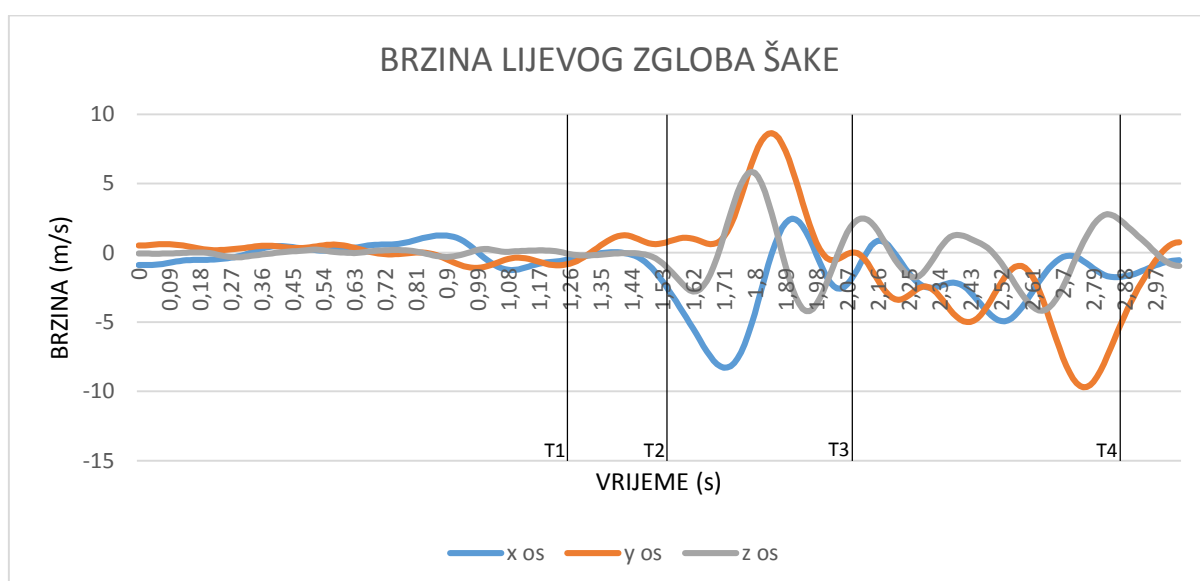
Grafički prikaz 24. Brzina desnog lakta u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

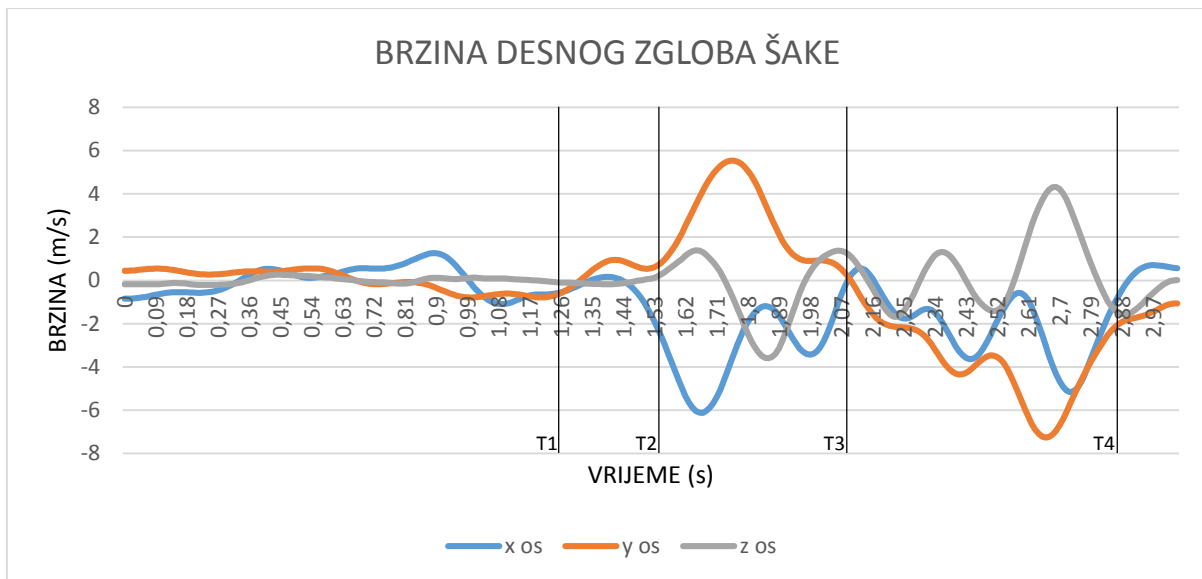
Tijekom pripremnog velekovrtljaja laktovi variraju u brzini po svim osima i neovisno jedan od drugoga, što je utjecaj i povremenog grčenja laktova tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja. U trenutku puštanja pritke, kao i u trenutku doskoka, lijevi lakat ima veću brzinu kretanja po svim osima (grafički prikaz 23 i 24).

Grafički prikaz 25. Brzina lijevog zgloba šake u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

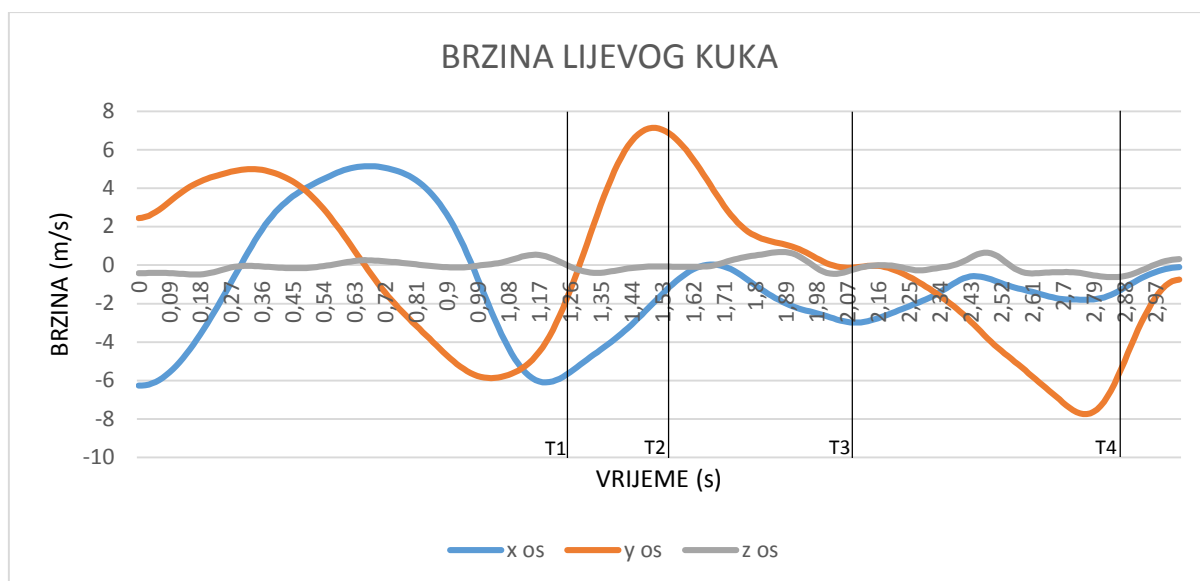
Grafički prikaz 26. Brzina desnog zgloba šake u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

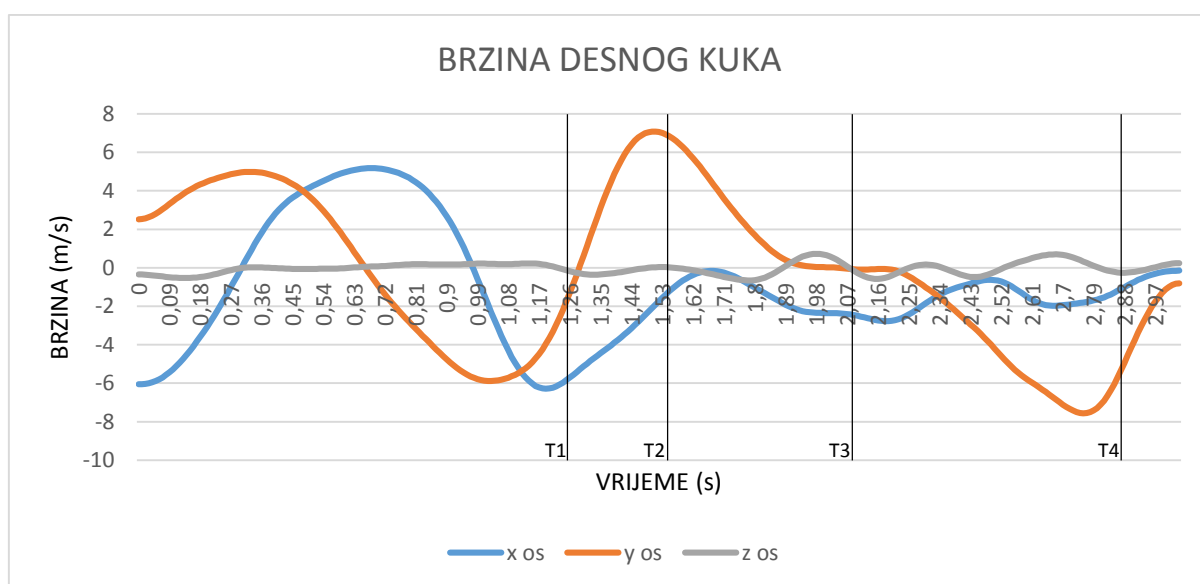
Vertikalna brzina zgloba šake nakon prolaska centra težišta tijela ispod pritke povećala se na 0,82 m/s u trenutku puštanja pritke, da bi nakon puštanja pritke desni zglob šake nastavio povećavati vertikalnu brzinu prema gore, dok lijevi zglob šake nakon početnog ubrzanja smanjuje brzinu, a nakon toga postiže vertikalnu brzinu prema gore 8,5 m/s, što je brže od maksimalne vertikalne brzine lijevog zgloba šake. Lijevi zglob šake nakon puštanja pritke postiže i veću horizontalnu maksimalnu brzinu (8,3 m/s) od desnog zgloba šake (grafički prikaz 25 i 26).

Grafički prikaz 27. Brzina lijevog kuka u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 28. Brzina desnog kuka u tri osi

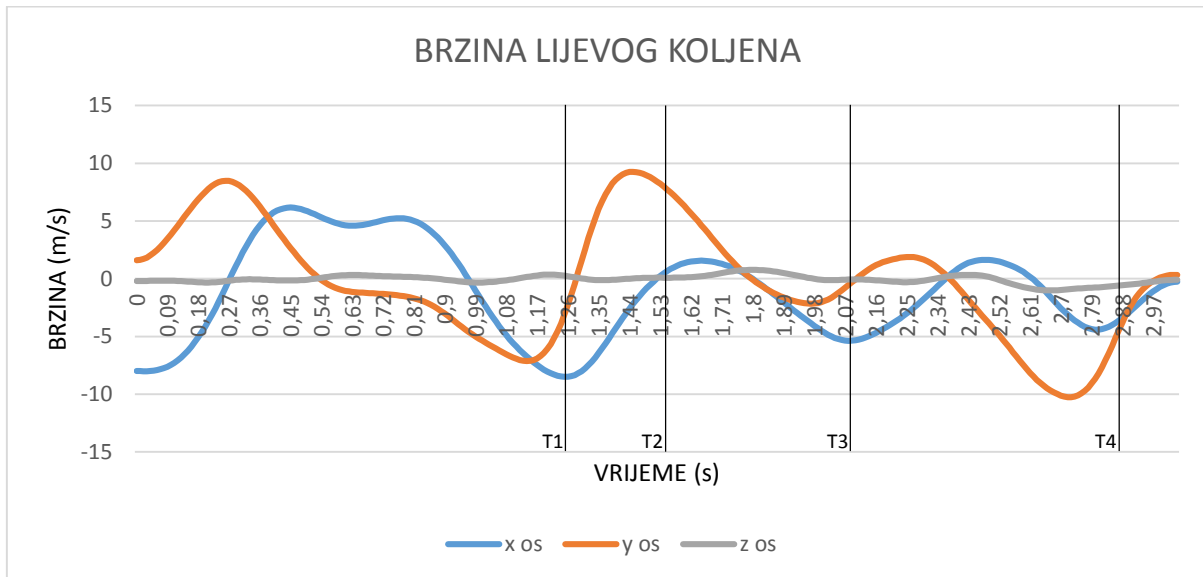


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Maksimalna vertikalna brzina kukova (7,1 m/s) tijekom pripremnog velevrtljaja postiže se 0,05 s prije puštanja pritke, a u trenutku puštanja pritke brzina je manja. Horizontalna brzina kukova povećava se do maksimalne vrijednosti (6,2 m/s) koja se postiže prije nego što centar težišta tijela prođe ispod pritke. Nakon što centar težišta tijela prođe ispred pritke, horizontalna brzina se kontinuirano smanjuje, a vertikalna brzina prema gore istovremeno naglo raste. Nakon puštanja pritke, kukovi potpuno zaustavljaju horizontalno kretanje. Maksimalna

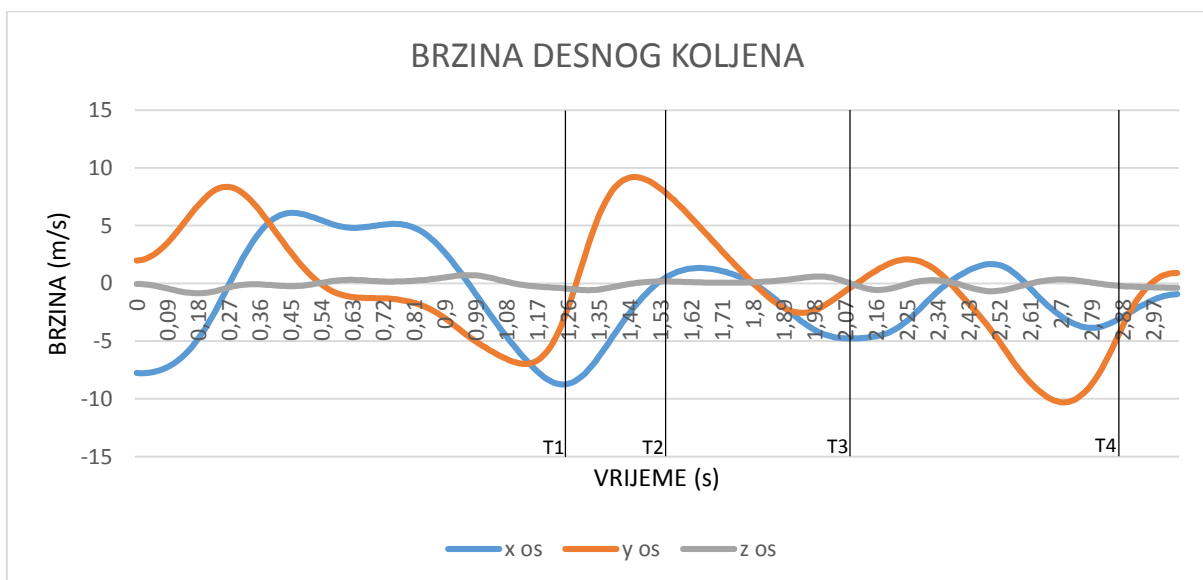
vertikalna brzina (7,7 m/s) postignuta je prije doskoka. Nakon kontakta stopala sa strunjačom zaustavlja se horizontalno, a nakon toga vertikalno kretanje kukova (grafički prikaz 27 i 28).

Grafički prikaz 29. Brzina lijevog koljena u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 30. Brzina desnog koljena u tri osi

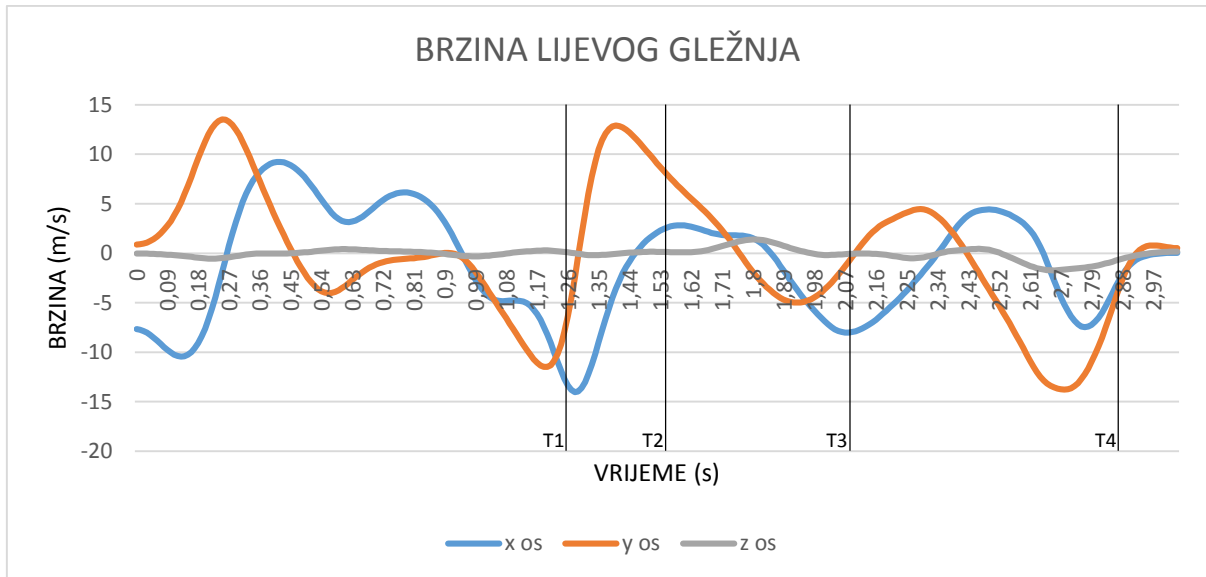


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Koljena postižu maksimalnu vertikalnu brzinu prije puštanja pritke od 9,23 m/s, što je brže od maksimalne vertikalne brzine kukova. Nakon prolaska centra težišta tijela ispod pritke

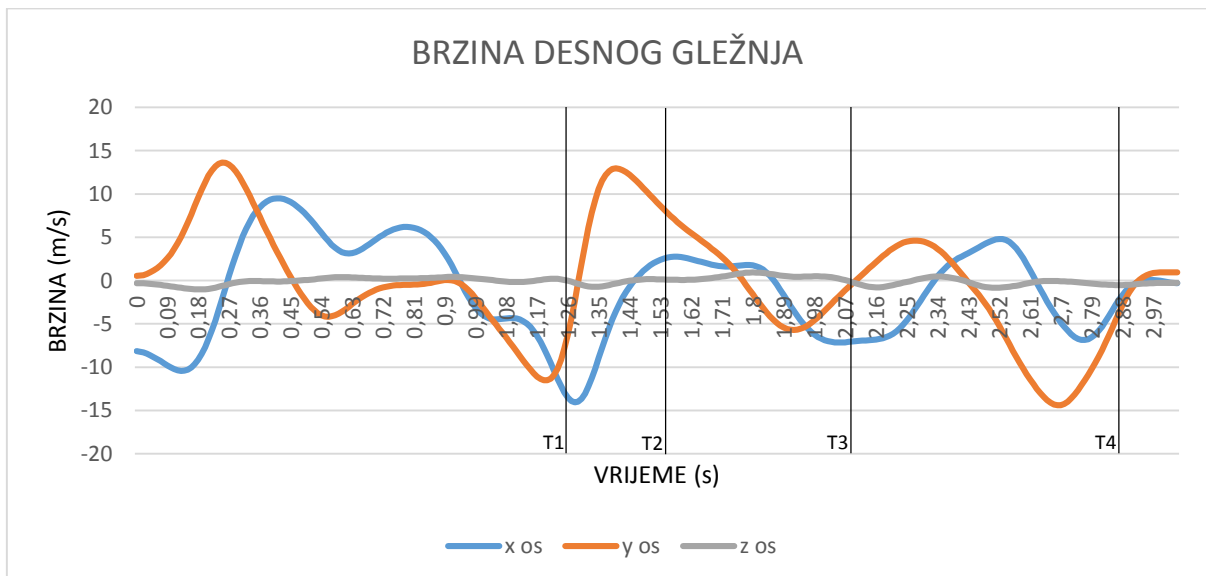
horizontalna brzina koljena je 8,65 m/s, a nakon toga se smanjuje. U trenutku puštanja pritke, koljena u potpunosti zaustavljaju horizontalno kretanje, a nakon puštanja povećava se horizontalna brzina uslijed rotacije gimnastičara oko poprečne osi (grafički prikaz 29 i 30).

Grafički prikaz 31. Brzina lijevog gležnja u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

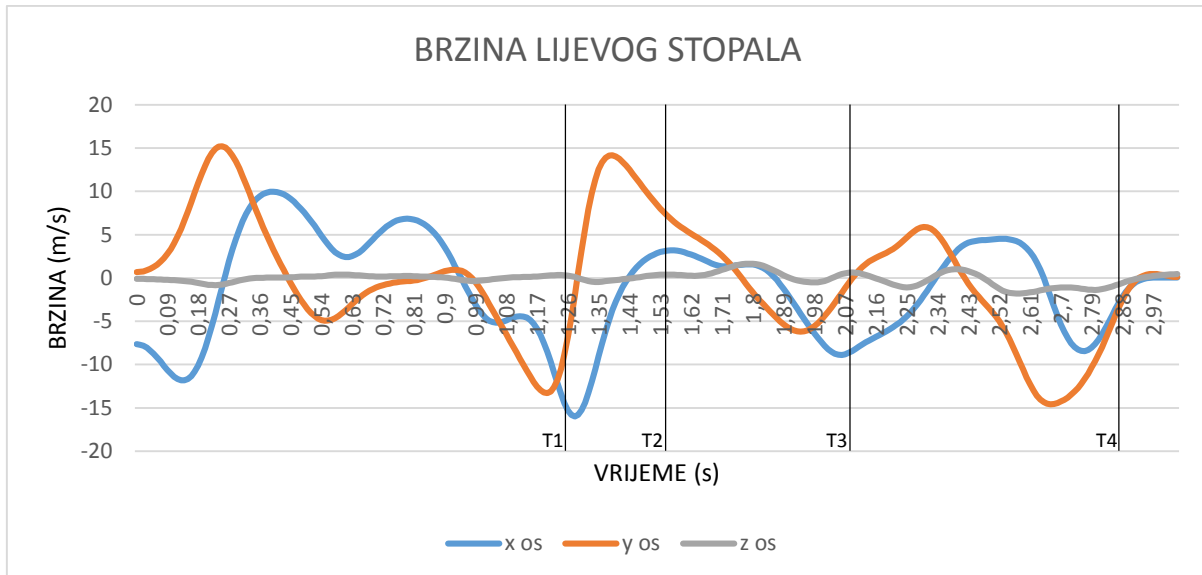
Grafički prikaz 32. Brzina desnog gležnja u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

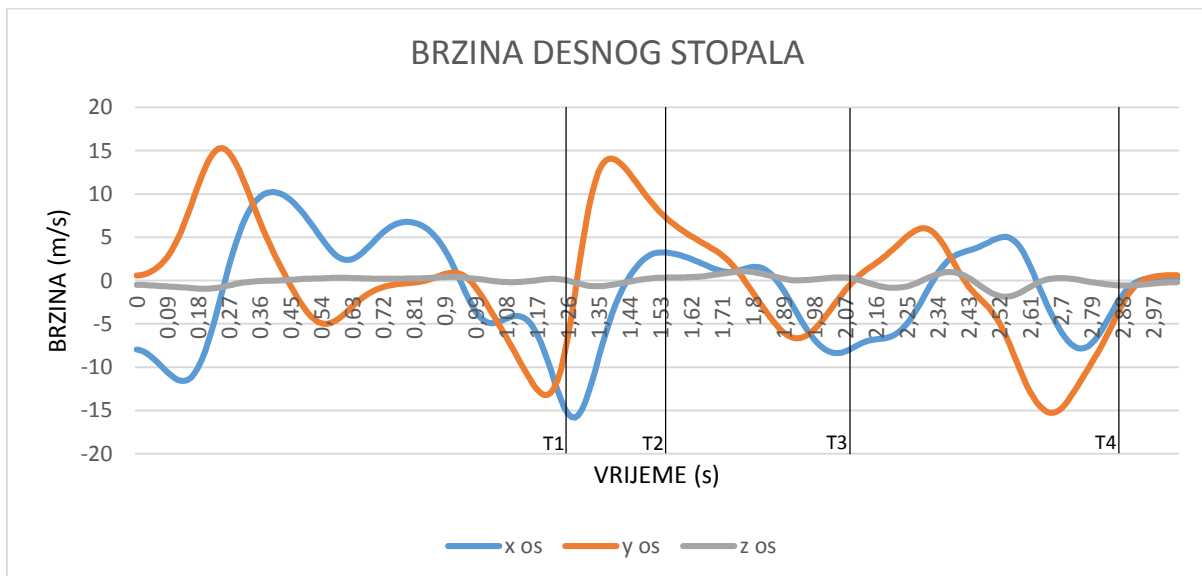
Maksimalne horizontalne (14 m/s) i vertikalne (12,9 m/s) brzine gležnjeva prije puštanja pritke postižu se nakon prolaska centra težišta tijela ispod pritke. U trenucima pripreme za doskok, postignuta je najveća vertikalna brzina od 14 m/s (grafički prikaz 31 i 32).

Grafički prikaz 33. Brzina lijevog stopala u tri osi



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 34. Brzina desnog stopala u tri osi

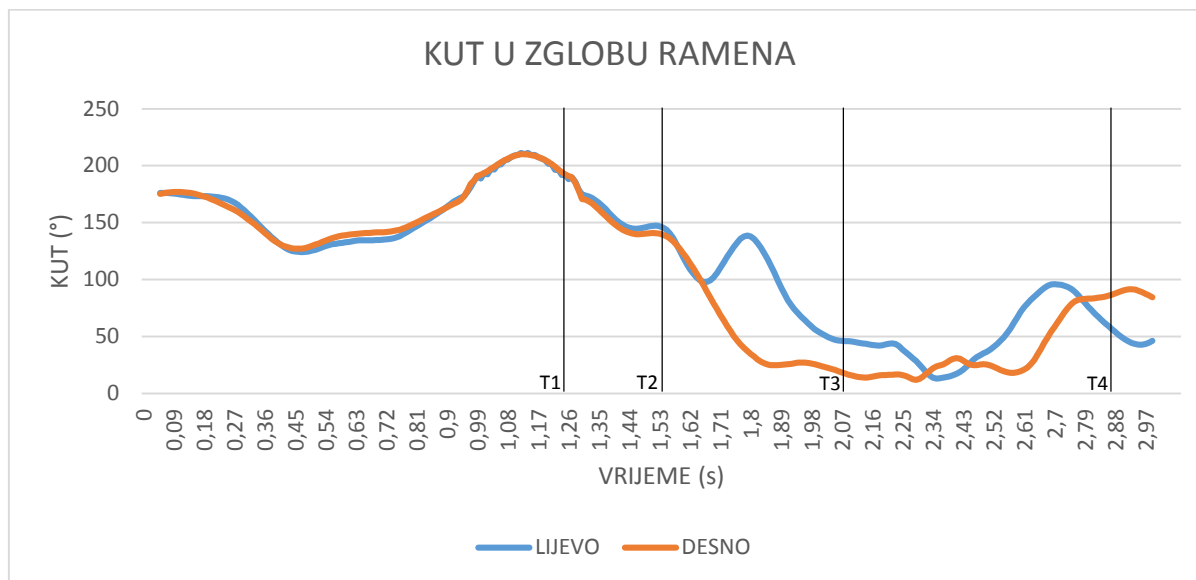


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Brzine stopala gotovo su identične kao brzine gležnjeva, ali uz malu razliku u maksimalnim brzinama, budući da su stopala udaljenija točka od osi rotacije u pripremnom vlekovrtljaju i tijekom leta pa postižu veće brzine od segmenata koji su bliži osi rotacije (grafički prikaz 33 i 34). Generalno se kroz sve analizirane referentne točke po pitanju brzina vidi da udaljenije točke od osi rotacije postižu i veće brzine.

➤ KUTOVI

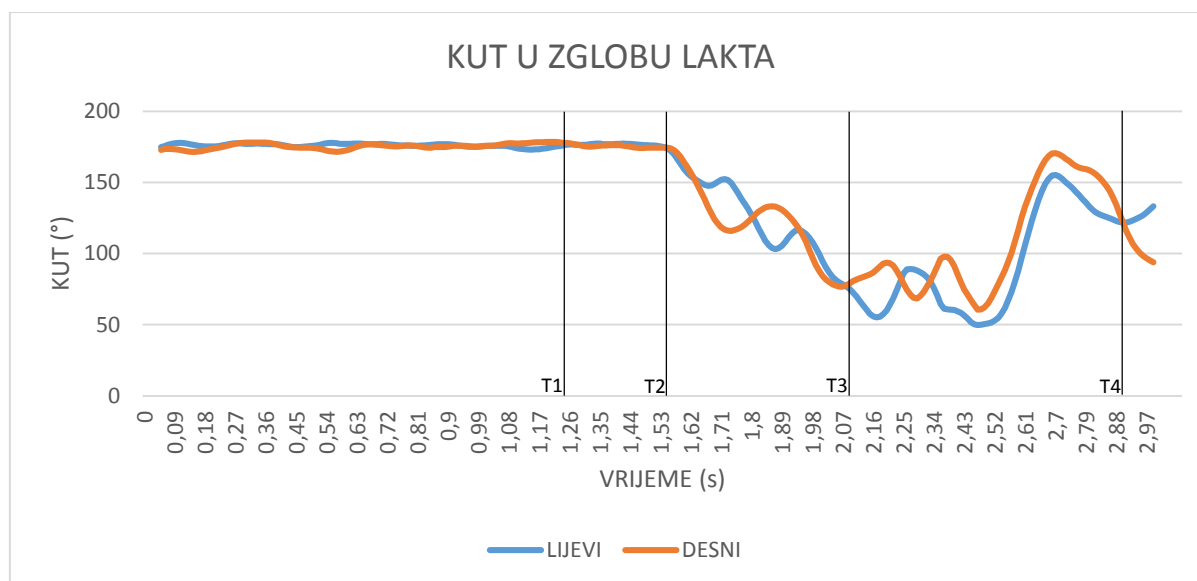
Grafički prikaz 35. *Kut u zglobu ramena*



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

U grafičkom prikazu 35 prikazani su kutovi u zglobu lijevog i desnog ramena, tj. kut koji tvore nadlaktice i trup. Iz grafičkog prikaza vidljivo je kako se za vrijeme pripremnog velekovrtljaja pojavljuju manje oscilacije između kuta u lijevom i desnom ramenu, ponajprije u trenutku prije samog puštanja pritke. Ovi podaci, kao i podaci o brzinama ramena ukazuju na iniciranje rotacije oko uzdužne osi za vrijeme dok gimnastičar drži pritku. Maksimalan kut koji se događa 0,1 s prije dolaska centra težišta tijela ispod pritke je 210° . Nakon prolaska centra težišta ispod pritke kutovi se zatvaraju, a trenutak prije puštanja opet dolazi do laganog porasta kutova kako bi gimnastičar dobio trajektoriju kretanja od pritke nakon puštanja. Nakon puštanja pritke, kut u zglobu ramena naglo se smanjio zbog adukcije ruku. Budući da se rotacija izvodi u desnu stranu, desna ruka nakon puštanja izvodi adukciju najkraćim i najbržim putem, dok lijeva ruka nakon početne adukcije ima naglu abdukciju te zatim opet nastavlja s adukcijom. Tijekom faze leta lijeva ruka ima veći kut u zglobu ramena u odnosu na desnu ruku, osim u drugoj fazi leta kad se na period od 0,15 s nadlaktica lijeve ruke primakne trupu, a nadlaktica desne ruke odmakne, te tijekom pripreme za doskok kad desna ruka ima veći kut u zglobu ramena (86°) u odnosu na kut u zglobu lijevog ramena (56°). Tijekom faze leta nadlaktice kontinuirano vrše adukciju i abdukciju u odnosu na trup, do doskoka.

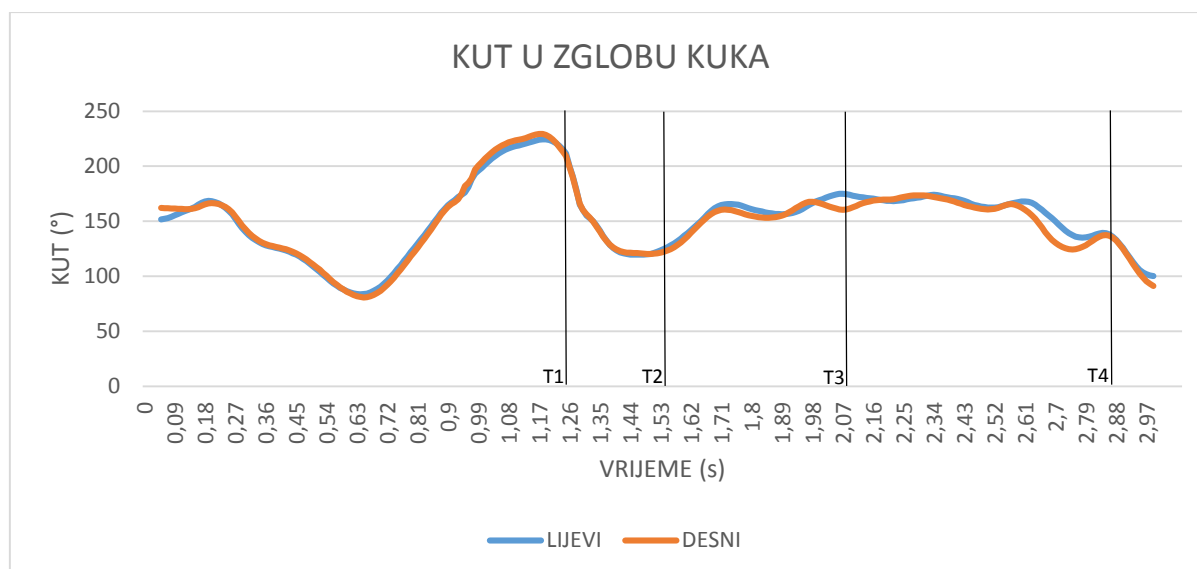
Grafički prikaz 36. Kut u zglobu lakta



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 36 predstavlja kutove u zglobu lijevog i desnog lakta, tj. kut koji tvore nadlaktica i podlaktica. Tijekom pripremnog velekovrtljaja, veličine kutova u zglobu lakta kreću se oko 180°, tj. laktovi su u poziciji maksimalne ekstenzije uz manje oscilacije. Nakon puštanja pritke, kutovi se uslijed fleksije smanjuju, a desna ruka brže dolazi do grčene pozicije. Lijeva ruka nakon puštanja zaustavlja fleksiju, pa čak radi i kontra pokret kratkom i brzom ekstenzijom kuta u laktu, da bi nakon toga nastavila s fleksijom. Iz grafičkog prikaza je vidljivo kako gimnastičar uz određene oscilacije postepeno zatvara kut u laktovima sve do dolaska u poziciju maksimalne visine centra težišta tijela i zadržava te vrijednosti uz manje oscilacije do trenutka pripreme za doskok te da tijekom cijele faze leta ruke izvode fleksiju i ekstenziju u laktovima neovisno jedna o drugoj. To se izvodi na način da kada se kut u laktu jedne ruke zatvara, otvara se kut u drugom laktu i obrnuto. Tijekom pripreme za doskok ruke se postepeno opružaju kako bi se usporila rotacija. Iako u trenutku nakon puštanja pritke desna ruka brže postiže manji kut u laktovima, tijekom faze leta desna ruka ima veći kut u laktu, pogotovo u završnoj fazi leta. U trenutku doskoka dolazi do promjene, kut desnog lakta se zatvara, a kut u lijevom laktu se otvara te na taj način gimnastičar kontrolira rotaciju pri doskoku. Kut u zglobovima laktova nakon doskoka nastavlja se kretati u obrnutim smjerovima, tj. lijeva ruka nastavlja s ekstenzijom, a desna ruka s fleksijom.

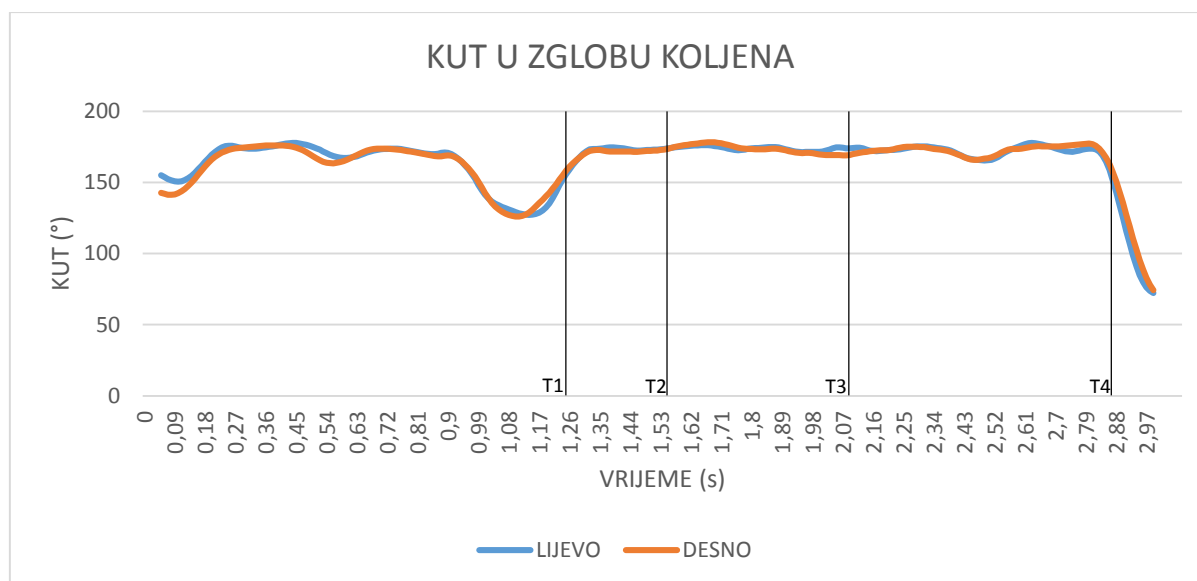
Grafički prikaz 37. Kut u zglobu kuka



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

U grafičkom prikazu 37 prikazani su kutovi u zglobu kuka, tj. kut koji tvore natkoljenice i trup. Tijekom pripremnog velekovrtljaja kut u zglobu kuka se zatvara tijekom prolaska centra težišta tijela iznad pritke, da bi se zatim do trenutka prolaska centra težišta tijela ispod pritke kontinuirano otvarao do 230°. Prije nego što centar težišta tijela dođe ispod pritke, kut se počinje zatvarati sve do trenutka prije puštanja pritke, kada dolazi do postepenog otvaranja. U trenutku puštanja pritke tijelo ima blago sklonjenu poziciju. Nakon puštanja pritke opet dolazi do povećanja kuta u kukovima, a potpuno opružanje tijela događa se tek nakon prolaska kroz poziciju maksimalne visine centra težišta tijela. Tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja tijelo je simetrično, tj. kutovi lijeve i desne strane su podjednaki tijekom cijele izvedbe velekovrtljaja, ali tijekom faze leta kut u kukovima lijeve i desne strane u određenim fazama leta nije isti, tj. gimnastičar kontrolira rotaciju promjenama kuta u kukovima koje nisu simetrične. Najveća asimetrija u kutu između lijeve i desne natkoljenice s trupom, događa se u trenutku prolaska centra težišta tijela kroz maksimalnu visinu leta te u fazi pripreme za doskok. U fazi pripreme za doskok prvo se zatvara kut desne strane, a nakon toga slijedi zatvaranje kuta lijeve strane, da bi se u trenutku kontakta stopala s podlogom kutovi izjednačili, tj. gimnastičar u tom trenutku ima simetričan oblik tijela po vrijednostima kutova u zglobu kuka.

Grafički prikaz 38. Kut u zglobu koljena

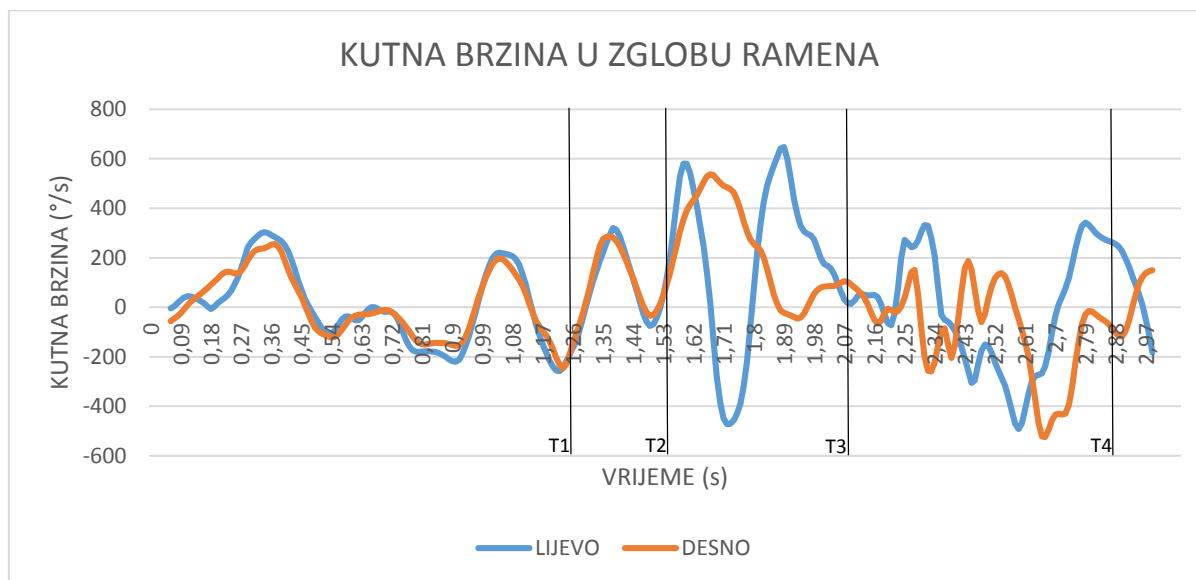


Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 38 prikazuje kutove u zglobu koljena, tj. kut koji tvore natkoljenice i potkoljenice. Tijekom pripremnog velekovrtljaja kut u koljenima se zadržava na vrijednostima od približno 180°, tj. noge su ispružene. U trenutku kada tijelo putuje prema točki centra težišta tijela ispod pritke, vidljivo je smanjenje kuta u koljenima, da bi se do trenutka puštanja pritke koljena opet ispružila. U fazi neposredno prije trenutka centra težišta tijela ispod pritke, kada se tijelo nalazi u maksimalnoj hiperekstenziji, dolazi do vidljivog smanjenja kuta u koljenima, tj. grčenja koljena, a prema grafičkom prikazu vidi se i da to smanjenje nije simetrično, tj. kut u desnom koljenu počinje s otvaranjem prije lijevog koljena. Tijekom faze leta vidi se da gimnastičar izvodi fleksiju i ekstenziju u koljenima, i to neovisno lijevo od desnog koljena. To najviše dolazi do izražaja trenutak prije najviše točke centra težišta tijela te u fazi pripreme za doskok. U drugoj fazi leta, prije pripreme za doskok, dolazi do kratkotrajnog smanjenja kuta u koljenu, vjerojatno uslijed nedostataka rotacije. Što se tiče samog doskoka, iz grafičkog prikaza je vidljivo da gimnastičar radi pripremu za doskok grčenjem koljena već u fazi leta, tj. u trenucima prije prvog kontakta stopala s podlogom, a nakon doskoka nastavlja se naglo smanjenje kuta u koljenima zbog amortizacije doskoka. Grčenje koljena koje se vidi u pripremnom velekovrtljaju, a pogotovo tijekom faze leta ljudskom oku je gotovo nevidljivo zbog velike brzine rotacije, ali grafički prikaz pokazuje da ipak postoje oscilacije u kutu koljenog zgloba tijekom izvedbe saskoka.

➤ KUTNE BRZINE

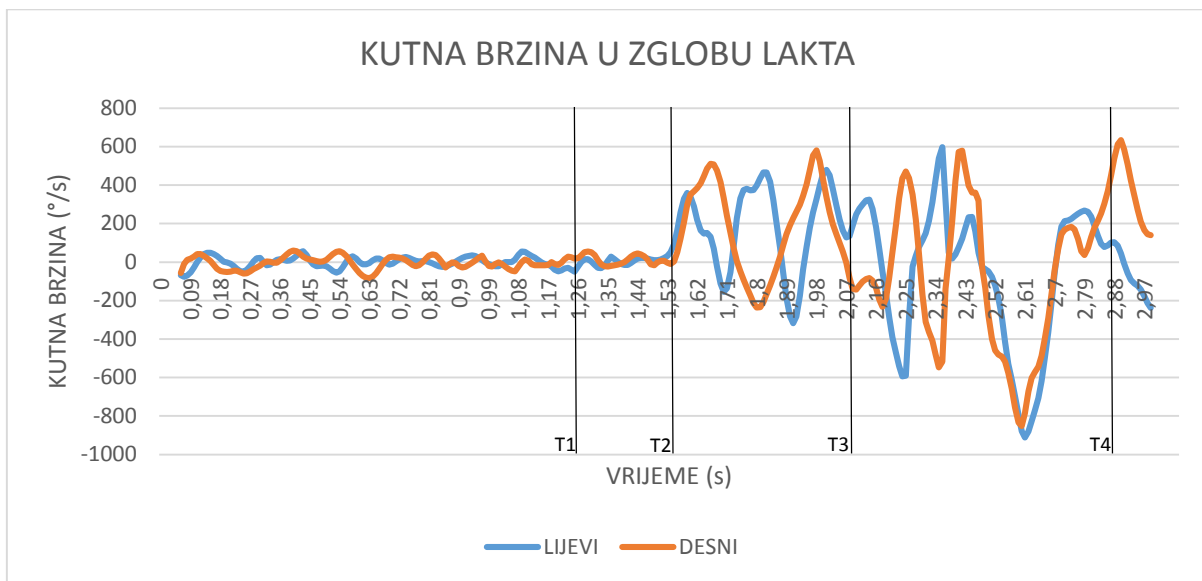
Grafički prikaz 39. *Kutna brzina u zglobu ramena*



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 39 prikazuje kutne brzine u zglobovima lijevog i desnog ramena, tj. kutne brzine između nadlaktice i trupa tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja i saskoka. Kutne brzine tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja su simetrične za lijevo i desno rame, uz povremena manja odstupanja. U prvom trenutku nakon puštanja pritke ramena nastavljaju s povećanjem kutne brzine u pozitivnom smjeru, tj. zatvaranjem kuta između nadlaktice i trupa, nakon toga se u desnom ramenu postepeno smanjuje kutna brzina privlačenjem ruke uz tijelo, dok lijeva ruka izvodi nagli pokret otvaranja kuta u ramenu zglobu brzinom od 480 °/s. Nakon toga kutnom brzinom od 650 °/s ruka se približava tijelu. Na taj način inicira se rotacija oko uzdužne osi u desnu stranu. Tijekom prolaska centra težišta tijela kroz maksimalnu visinu leta, kutna brzina u zglobovima lijevog i desnog ramena je približno jednaka da bi zatim u drugoj fazi leta kutne brzine opet postale nesimetrične za lijevo i desno rame uslijed kontroliranja rotacije abdukcijom i adukcijom ruku. Tijekom doskoka vidi se kako se i dalje zadržava kutna brzina, u lijevom ramenu 267 °/s, a u desnom ramenu 58 °/s.

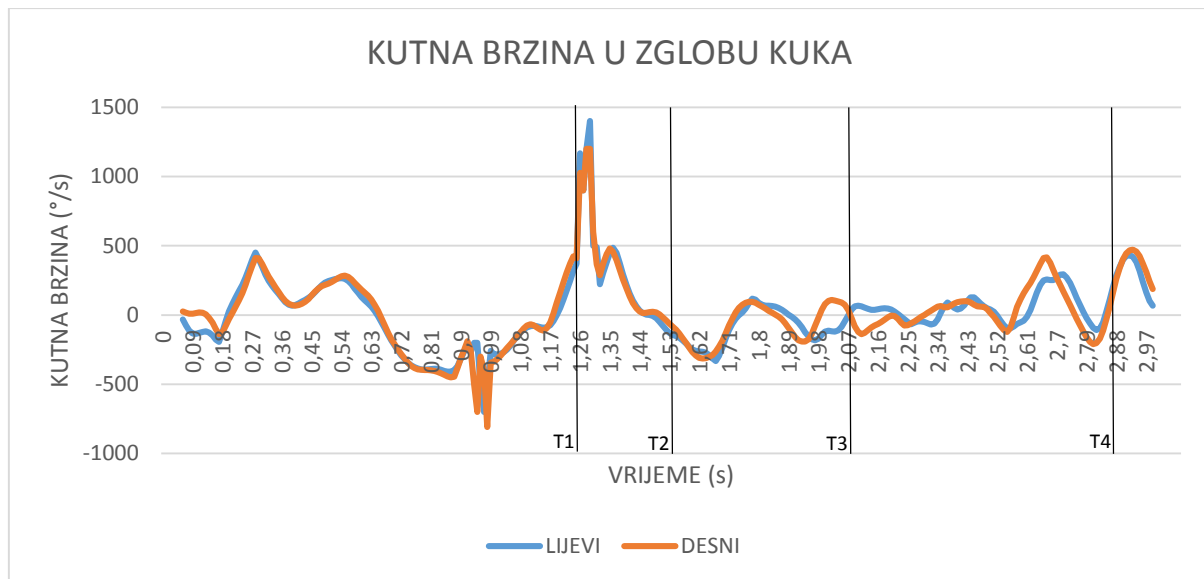
Grafički prikaz 40. Kutna brzina u zglobu lakta



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 40 prikazuje kutne brzine u zglobovima lijevog i desnog lakta, tj. kutne brzine između nadlaktice i trupa. Tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja primjećuje se konstantno variranje kutne brzine u zglobovima laktova, neovisno jedan o drugom. Odstupanja od nulte vrijednosti su minimalna tako da se navedene oscilacije osim malom grčenju laktova mogu pripisati i šumovima uslijed manualne digitalizacije podataka. Budući da su laktovi tijekom pripremnog velekovrtljaja uglavnom ispruženi, ovakva minimalna odstupanja zadržavaju se sve do trenutka puštanja pritke. Nakon puštanja pritke, kutne brzine u zglobovima laktova se konstantno mijenjaju i variraju. Tijekom cijele faze leta i tijekom doskoka promjene kutnih brzina u zglobovima lakta lijeve i desne ruke su nesimetrične. Najveće vrijednosti, tj. najbrža otvaranja i zatvaranja kuta u zglobovima lakta događaju se u drugoj fazi leta. Vrijednosti kutnih brzina lijeve i desne ruke u zglobovima lakta izjednačavaju se samo u trenucima pripreme za doskok. Brzim izmjenama kuta u zglobovima lakta gimnastičar kontrolira rotaciju tijekom izvedbe saskoka. U zadnjoj fazi leta, tijekom pripreme za doskok, kut u laktovima otvara se brzinom do 850 °/s te se potom kutna brzina u zglobovima laktova smanjuje prema trenutku doskoka. U trenutku doskoka dolazi do povećanja kutne brzine u zglobovima desnog lakta uslijed naglog zaustavljanja rotacije.

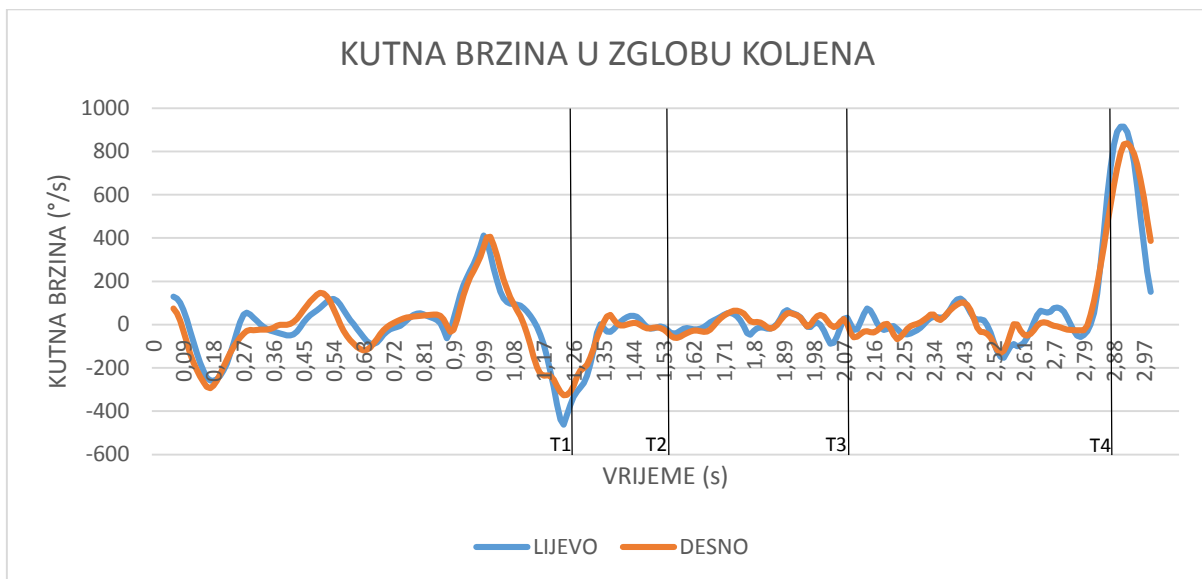
Grafički prikaz 41. Kutna brzina u zglobu kuka



Legenda: T1 = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, T2 = trenutak puštanja pritke, T3 = maksimalna visina centra težišta po y osi, T4 = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 41 predstavlja kutne brzine u zglobu kuka, tj. kuta koji tvori trup s lijevom i desnom natkoljenicom. Kutne brzine u zglobu kuka lijeve i desne strane podjednake su tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja, a tijekom faze leta kutne brzine lijeve i desne strane se razlikuju. Razlike su najviše izražene u trenutku prije i nakon prolaska centra težišta tijela kroz najvišu točku. U trenutku prolaska centra težišta tijela ispod pritke kutna brzina se naglo povećava uslijed brog zatvaranja kuta u kukovima, a postiže najveću brzinu od 1400 °/s u desnom kuku. U trenutku puštanja pritke gotovo da i nema kutne brzine u zglobu kuka, ali odmah nakon puštanja dolazi do otvaranja kuta, tj. opružanja tijela brzinom većom od 300 °/s. Već ovdje se vidi nesimetrična brzina otvaranja lijeve i desne strane u zglobu kuka. Tijekom cijele faze leta, a posebno u trenutku prolaska centra težišta kroz najvišu točku kutne brzine lijeve i desne strane su nesimetrične, sve do zadnjih trenutaka prije doskoka i u trenutku doskoka, kada se vrijednosti izjednačavaju. U trenutku dovršetka drugog salto okreta, uslijed nedostatka rotacije vidljivo je naglo povećanje brzine tijekom zatvaranja kuta u kukovima kako bi se sigurno i uspješno izveo doskok, a desna strana postiže veću kutnu brzinu od lijeve. Zatim dolazi do brzog otvaranja kuta, tj. uspravljanja tijela kako bi se doskok izveo u opruženoj poziciji, a u trenutku doskoka, zbog velike brzine i sile te uslijed amortizacije kroz čučanj, tj. zatvaranja kuta između natkoljenica i trupa dolazi do velikog povećanja kutne brzine, preko 450 °/s.

Grafički prikaz 42. Kutna brzina u zglobu koljena



Legenda: $T1$ = centar težišta tijela ispod pritke po x osi, $T2$ = trenutak puštanja pritke, $T3$ = maksimalna visina centra težišta po y osi, $T4$ = prvi kontakt stopala s podlogom pri doskoku

Grafički prikaz 42 predstavlja kutne brzine u zglobu koljena, tj. kuta koji tvore natkoljenica i potkoljenica. Tijekom pripremnog velekovrtljaja kutna brzina se u određenim trenucima povećava uslijed grčenja koljena. Najveća kutna brzina od preko 400 °/s događa se u trenutku približavanja maksimalnoj hiperekstenziji tijela koja prethodi puštanju preče jer u tom trenutku uslijed brze hiperekstenzije tijela gimnastičar nije uspio zadržati ispružena koljena. Tijekom faze leta vidljive su male oscilacije u kutnim brzinama uslijed kontrole rotacije, a u trenutku doskoka i amortizacije kutna brzina dostiže brzinu do 900 °/s u lijevom kuku. Uslijed rotacije oko uzdužne osi vidi se da gimnastičar amortizira doskok nesimetričnom kutnom brzinom u zglobu koljena.

5.1. PRIPREMNI VELEKOVRTLJAJ ZA SASKOK S PREČE

S obzirom na cilj istraživanja i hipoteze koje se testiraju, napravljena je analiza i usporedba pripremnog velekovrtljaja za saskok kroz tri različita trenutka, zatim trenutak puštanja pritke te trenutak kontakta stopala s podlogom pri doskoku. Odabrane pozicije obuhvaćaju tipične i prepoznatljive položaje tijela tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja, trenutak puštanja pritke koji određuje trajektoriju leta te se analizirao i trenutak kontakta stopala s podlogom jer se radi o poziciji koja opisuje tijelo u trenutku doskoka, a što je važno iz aspekta identifikacije varijabli koje razlikuju grupe saskoka pri doskoku. Sve varijabe koje statistički značajno diferenciraju grupe saskoka prema broju okreta oko uzdužne osi mogu se vidjeti u tablici 2.

Tablica 2. Varijable koje statistički značajno diferenciraju grupe saskoka

br.	NAZIV VARIJABLE	SKRAĆENI NAZIV	MJERNA JEDINICA
1	Položaj vrha glave po y osi	VERTEX_Dy	cm
2	Položaj atlasa po x osi	ATLAS_Dx	cm
3	Položaj atlasa po y osi	ATLAS_Dy	cm
4	Položaj lijevog ramena po x osi	L.RAME_Dx	cm
5	Položaj desnog ramena po y osi	D.RAME_Dy	cm
6	Položaj desnoga kuka po x osi	D.KUK_Dx	cm
7	Položaj desnoga kuka po y osi	D.KUK_Dy	cm
8	Položaj lijevoga kuka po x osi	L.KUK_Dx	cm
9	Položaj lijevoga kuka po y osi	L.KUK_Dy	cm
10	Položaj desnoga koljena po x osi	D.KOLJENO_Dx	cm
11	Položaj desnoga koljena po y osi	D.KOLJENO_Dy	cm
12	Položaj lijevoga koljena po x osi	L.KOLJENO_Dx	cm
13	Položaj lijevoga koljena po y osi	L.KOLJENO_Dy	cm
14	Položaj desnoga gležnja po x osi	D.GLEŽANJ_Dx	cm
15	Položaj lijevoga gležnja po x osi	L.GLEŽANJ_Dx	cm
16	Položaj lijevoga gležnja po y osi	L.GLEŽANJ_Dy	cm
17	Položaj desnog stopala po x osi	D.STOPALO_Dx	cm
18	Položaj desnog stopala po y osi	D.STOPALO_Dy	cm
19	Položaj lijevog stopala po x osi	L.STOPALO_Dx	cm
20	Položaj centra težišta tijela po x osi	C.T.T._Dx	cm
21	Brzina centra težišta tijela po y osi	C.T.T._Vy	m/s
22	Brzina centra težišta tijela po z osi	C.T.T._Vz	m/s
23	Brzina vrha glave po y osi	VERTEX_Vy	m/s
24	Brzina atlasa po x osi	ATLAS_Vx	m/s
25	Brzina atlasa po y osi	ATLAS_Vy	m/s
26	Brzina desnog lakta po y osi	D.LAKAT_Vy	m/s
27	Brzina lijevog lakta po y osi	L.LAKAT_Vy	m/s
28	Brzina lijevog zapešća po z osi	L.ZAPEŠĆE_Vz	m/s
29	Brzina desnoga kuka po x osi	D.KUK_Vx	m/s
30	Brzina desnoga kuka po y osi	D.KUK_Vy	m/s

31	Brzina lijevoga kuka po z osi	L.KUK_Vz	m/s
32	Brzina desnoga koljena po y osi	D.KOLJENO_Vy	m/s
33	Brzina desnoga koljena po z osi	D.KOLJENO_Vz	m/s
34	Brzina lijevoga koljena po y osi	L.KOLJENO_Vy	m/s
35	Brzina desnog stopala po y osi	D.STOPALO_Vy	m/s
36	Brzina lijevog stopala po y osi	L.STOPALO_Vy	m/s
37	Ubrzanje centra težišta tijela po x osi	C.T.T._Ax	m/s ²
38	Ubrzanje centra težišta tijela po y osi	C.T.T._Ay	m/s ²
39	Ubrzanje centra težišta tijela po z osi	C.T.T._Az	m/s ²
40	Ubrzanje vertexa po y osi	ATLAS_Ay	m/s ²
41	Ubrzanje atlasa po y osi	VERTEX_Ay	m/s ²
42	Ubrzanje desnog ramena po y osi	D.RAME_Ay	m/s ²
43	Ubrzanje desnog ramena po z osi	D.RAME_Az	m/s ²
44	Ubrzanje lijevog ramena po y osi	L.RAME_Ay	m/s ²
45	Ubrzanje desnog lakta po y osi	D.LAKAT_Ay	m/s ²
46	Ubrzanje desnog lakta po z osi	D.LAKAT_Az	m/s ²
47	Ubrzanje lijevog lakta po z osi	L.LAKAT_Az	m/s ²
48	Ubrzanje desnog zapešća po y osi	D.ZAPEŠĆE_Ay	m/s ²
49	Ubrzanje desnog zapešća po z osi	D.ZAPEŠĆE_Az	m/s ²
50	Ubrzanje lijevog zapešća po x osi	L.ZAPEŠĆE_Ax	m/s ²
51	Ubrzanje lijevog zapešća po y osi	L.ZAPEŠĆE_Ay	m/s ²
52	Ubrzanje lijevog zapešća po z osi	L.ZAPEŠĆE_Az	m/s ²
53	Ubrzanje lijevoga kuka po z osi	L.KUK_Az	m/s ²
54	Ubrzanje desnoga koljena po x osi	D.KOLJENO_Ax	m/s ²
55	Ubrzanje desnoga koljena po y osi	D.KOLJENO_Ay	m/s ²
56	Ubrzanje lijevoga koljena po x osi	L.KOLJENO_Ax	m/s ²
57	Ubrzanje lijevoga koljena po y osi	L.KOLJENO_Ay	m/s ²
58	Ubrzanje lijevoga koljena po z osi	L.KOLJENO_Az	m/s ²
59	Ubrzanje desnoga gležnja po x osi	D.GLEŽANJ_Ax	m/s ²
60	Ubrzanje desnoga gležnja po y osi	D.GLEŽANJ_Ay	m/s ²
61	Ubrzanje lijevoga gležnja po y osi	L.GLEŽANJ_Ay	m/s ²
62	Ubrzanje desnog stopala po x osi	D.STOPALO_Ax	m/s ²
63	Ubrzanje desnog stopala po y osi	D.STOPALO_Ay	m/s ²
64	Ubrzanje desnog stopala po z osi	D.STOPALO_Az	m/s ²
65	Ubrzanje lijevog stopala po y osi	L.STOPALO_Ay	m/s ²
66	Kut glave i desnog trupa	D.GLAVA_kut	°
67	Kut glave i lijevog trupa	L.GLAVA_kut	°
68	Kut u zglobu desnog ramena (kut između trupa i nadlaktice)	D.RAME_kut	°
69	Kut u zglobu lijevog ramena (kut između trupa i desne nadlaktice)	L.RAME_kut	°
70	Kut u zglobu desnog lakta (kut između nadlaktice i podlaktice)	D.LAKAT_kut	°
71	Kut u zglobu desnoga kuka (kut između trupa i natkoljenice)	D.KUK_kut	°
72	Kut u zglobu lijevoga kuka (kut između trupa i natkoljenice)	L.KUK_kut	°
73	Kutna brzina u zglobu desnoga koljena (između natkoljenice i potkoljenice)	D.KOLJENO_kb	°/s
74	Kutna brzina u zglobu lijevoga koljena (između natkoljenice i potkoljenice)	L.KOLJENO_kb	°/s

Gimnastičari saskok s preče dvostruki pruženi salto natrag izvode različitim tehnikama generiranja i kontrole rotacija oko uzdužne osi, ovisno o broju rotacija. Ukoliko se radi o jednom okretu oko uzdužne osi, gimnastičari tijekom izvedbe saskoka ruke drže pružene uz tijelo, a tijekom izvedbe dva i tri okreta oko uzdužne osi gimnastičari tijekom rotacije ruke drže grčene uz tijelo. Iako su saskoci s dva i tri okreta oko uzdužne osi slični po načinu iniciranja i kontrole rotacije tijekom faze leta, ipak su uočene razlike u pojedinim fazama pripremnih velekovrtljaja koji definiraju trajektoriju leta, ali i u samoj fazi leta. Istraživanje je pokazalo da varijable kroz pet određenih pozicija tijela najčešće razlikuju grupe saskoka s jednim i tri okreta oko uzdužne osi (ukupno 84 puta), što je logično s obzirom da se radi o trostrukom povećanju broja okreta, ali i o različitim tehnikama izvedbe saskoka s jednim u odnosu na dva i tri okreta oko uzdužne osi. Naglasak u ovom istraživanju bit će na utvrđivanju razlika u pojedinim varijablama između grupa saskoka s dva i tri okreta oko uzdužne osi. Saskoci s dva okreta oko uzdužne osi najčešće se izvode na natjecanjima.

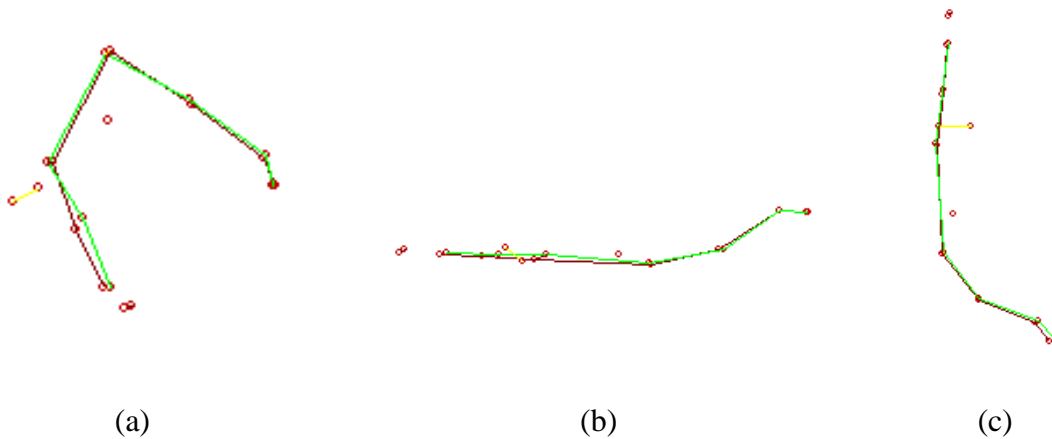
Kako bi saznali na koji način gimnastičar postiže preduvjete za izvedbu saskoka, potrebno je analizirati pripremni velekovrtljaj prije puštanja pritke za saskok jer o njemu ovise vrijednosti parametara koje će se postići u trenutku puštanja pritke. U ovom istraživanju pripremni velekovrtljaj analizirao se kroz tri trenutka koja prethode puštanju pritke, a najveće razlike zabilježene su u trenutku kada se centar težišta tijela nalazi iznad pritke, a tijelo je u sklonjenoj poziciji i pripremi za fazu otvaranja kutova zgloba kuka i ramena u tzv. bič.

Što se tiče tehnike izvedbe pripremnih velekovrtljaja za saskoke s preče, u ovom istraživanju, tj. na natjecanju Svjetskog kupa u Osijeku 2016. godine pokazalo se da su svi gimnastičari koristili modernu tehniku pripremnih velekovrtljaja za saskoke s preče. Prema istraživanju Hileya i Yeadona (2003) na Olimpijskim igrama u Sydneyu 2000. godine 95% gimnastičara koristilo je modernu tehniku velekovrtljaja u odnosu na tradicionalnu tehniku. Do danas se taj postotak povećao te gotovo da nema gimnastičara koji ne koristi modernu tehniku za dvostruki pruženi salto natrag saskok s preče. Prema istraživanju koje su navedeni autori proveli, gimnastičari modernu tehniku koriste kako bi osigurali veći vremenski okvir za puštanje pritke i siguran doskok. Iako im moderna tehnika omogućava veći prostor za pogrešku, povećanje količine rotacija oko uzdužne osi smanjuje vremenski okvir u kojemu

gimnastičar treba pustiti pritku da bi uspješno izveo saskok, tj. trenutak puštanja mora biti precizniji.

Sve pozicije analizirane su na način da je na normalno raspoređenim varijablama napravljena analiza varijance ANOVA s grupiranjem u pojedinu vrstu saskoka te su analizirane razlike među skupinama, u slučaju homogenih varijanaca (po metodi Levena) između grupa po metodi LSD, a u slučaju nehomogenih varijanaca po metodi Tamahne. Ukoliko varijabla nije imala normalnu raspodjelu napravljena je Kruskal-Wallis analiza između grupa saskoka, a daljnja analiza i rasprava temeljila se na varijablama koje su pokazale statistički značajnu razliku od $p < 0,05$.

Pripremni velekovrtljaj za ovo istraživanje analizirao se i uspoređivao kroz tri pozicije: centar težišta tijela iznad pritke (slika 9a), centar težišta tijela iza pritke (slika 9b) i centar težišta tijela ispod pritke (slika 9c).



Slika 9. Centar težišta tijela iznad pritke (a), iza pritke (b) i ispod pritke (c) tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja za saskok

5.1.1. Centar težišta tijela iznad priske

Prva analizirana pozicija je trenutak kada se centar težišta tijela nalazi u vertikali iznad priske (slika 9a). Tijekom svakog saskoka, uslijed zatvaranja kuta u ramenima i kukovima, u ovom trenutku tijelo se nalazi u sklonjenoj poziciji. Ipak, analiza je pokazala da postoje razlike u parametrima unutar pojedinih varijabli između analiziranih grupa saskoka. Upravo ova pozicija pokazala je razlike u najvećem broju varijabli između grupa saskoka s dva i tri okreta oko uzdužne osi (tablica 3).

Tablica 3. Vrijednosti varijabli koje se razlikuju po kriteriju broja rotacija oko uzdužne osi u P1

VARIJABLA	MJ	PH	1 ROTACIJA	2 ROTACIJE	3 ROTACIJE
Naziv varijable: P1		$p < 0,05$	Mean \pm Std. Deviation	Mean \pm Std. Deviation	Mean \pm Std. Deviation
D.STOPALO_Dx	m	1-3;2-3	0,83 \pm 0,138	0,83 \pm 0,066	0,58 \pm 0,041
L.STOPALO_Dx	m	1-3;2-3	0,83 \pm 0,134	0,83 \pm 0,064	0,57 \pm 0,051
D.GLEŽANJ_Dx	m	1-3;2-3	0,76 \pm 0,119	0,75 \pm 0,057	0,54 \pm 0,022
L.GLEŽANJ_Dx	m	1-3;2-3	0,75 \pm 0,115	0,74 \pm 0,535	0,53 \pm 0,028
D.KOLJENO_Dx	m	1-3;2-3	0,42 \pm 0,074	0,42 \pm 0,052	0,30 \pm 0,021
L.KOLJENO_Dx	m	1-3;2-3	0,42 \pm 0,070	0,41 \pm 0,045	0,29 \pm 0,252
D.RAME_Dy	m	2-3	3,09 \pm 0,026	3,10 \pm 0,008	3,13 \pm 0,010
L.RAME_Dx	m	2-3	-0,29 \pm 0,066	-0,31 \pm 0,043	-0,22 \pm 0,045
ATLAS_Dx	m	2-3	-0,34 \pm 0,063	-0,39 \pm 0,081	-0,33 \pm 0,079
D.KOLJENO_Vy	m/s	1-3;2-3	-1,65 \pm 0,210	-1,77 \pm 0,568	-0,98 \pm 0,543
L.KOLJENO_Vy	m/s	1-3;2-3	-1,54 \pm 0,204	-1,76 \pm 0,538	-0,91 \pm 0,514
C.T.T._Vz	m/s	1-3;2-3	0,02 \pm 0,095	-0,00 \pm 0,071	0,17 \pm 0,134
L.KUK_kut	°	1-3;2-3	105,78 \pm 18,985	107,15 \pm 11,230	78,39 \pm 7,680
D.KUK_kut	°	1-3;2-3	105,20 \pm 18,995	106,21 \pm 12,065	77,51 \pm 6,377
L.RAME_kut	°	2-3	116,80 \pm 17,591	109,05 \pm 12,760	133,78 \pm 7,924
D.RAME_kut	°	2-3	119,61 \pm 16,707	112,48 \pm 12,019	135,82 \pm 7,666
L.GLAVA_kut	°	1-3;2-3	14,13 \pm 12,662	20,52 \pm 8,917	40,94 \pm 15,585
D.GLAVA_kut	°	1-3;2-3	15,29 \pm 10,109	17,82 \pm 6,346	41,44 \pm 15,059
ATLAS_Dy	m	1-3	2,99 \pm 0,031	3,01 \pm 0,025	3,04 \pm 0,019
VERTEX_Dy	m	1-3	2,92 \pm 0,035	2,96 \pm 0,039	3,00 \pm 0,435
D.STOPALO_Ax	m/s ²	1-2;1-3	-0,91 \pm 15,744	42,29 \pm 11,595	45,87 \pm 28,636
D.GLEŽANJ_Ax	m/s ²	1-3	0,35 \pm 16,782	21,40 \pm 10,366	36,60 \pm 25,958
D.KOLJENO_Ax	m/s ²	1-2;1-3	-22,72 \pm 34,099	20,32 \pm 24,838	28,10 \pm 18,538
L.KUK_Az	m/s ²	1-3	-0,78 \pm 3,819	-10,81 \pm 16,609	6,70 \pm 3,416
L.KOLJENO_Ax	m/s ²	1-2;1-3	-24,52 \pm 26,944	13,94 \pm 13,328	28,78 \pm 16,476
D.LAKAT_Ay	m/s ²	1-2;1-3	-3,75 \pm 8,440	-20,18 \pm 9,521	-24,61 \pm 13,020
C.T.T._Ax	m/s ²	1-3	-5,28 \pm 6,362	2,99 \pm 11,333	10,31 \pm 7,839
C.T.T._Az	m/s ²	1-3	-1,44 \pm 1,238	-6,160 \pm 7,671	3,30 \pm 1,383

Položaji segmenata tijela po osi x između saskoka s dva i tri okreta oko uzdužne osi, pokazali su da postoji razlika u položaju donjih ekstremiteta. U saskocima s dva okreta oko uzdužne osi, stopala su udaljena od priske 0,83 m, dok su u saskocima s tri okreta oko uzdužne

osi stopala udaljena 0,57 (desno stopalo) i 0,58 m (lijevo stopalo). Gležnjevi su udaljeni od pritke 0,75 m (desni gležanj) i 0,74 m (lijevi gležanj) u saskocima s dva okreta, a u saskocima s tri okreta te vrijednosti su 0,54 m za desni gležanj i 0,53 m za lijevi gležanj. Razlika se vidi i u koljenima, koja su u saskocima s dva okreta udaljena od pritke 0,42 m, dok su u saskocima s tri okreta udaljena 0,30 m (desno koljeno) i 0,29 m (lijevo koljeno). Razlika se pokazala i u lijevom ramenu. U saskocima s dva okreta lijevo rame nalazi se na -0,31 m ispred pritke (zbog toga je negativan predznak), dok se u saskocima s tri okreta lijevo rame nalazi na -0,22 m od pritke. Atlas je u saskocima s dva okreta na -0,39 m, a u saskocima s tri okreta na -0,33 m ispred pritke. Za razliku od osi x , po osi y razlika između saskoka s dva i tri okreta vidljiva je samo u vrijednostima desnog ramena. U saskocima s dva okreta desno rame nalazi se na visini 3,10 m od strunjače, a u saskocima s tri okreta nalazi se na visini 3,13 m od strunjače.

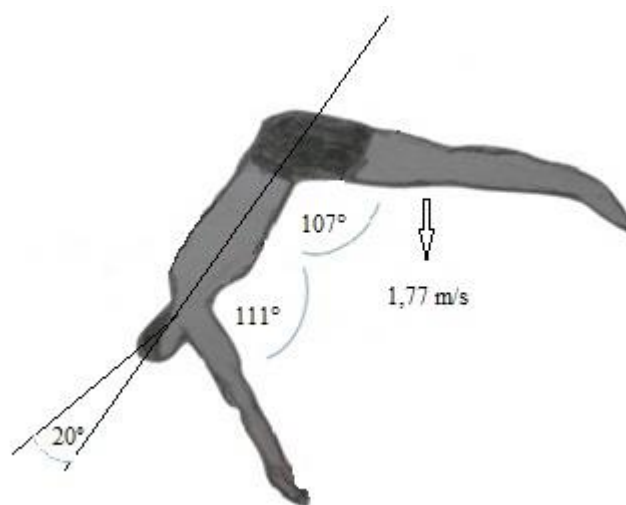
Vertikalna brzina koljena se pokazala kao varijabla koja razlikuje saskoke s dva i tri okreta, kao i brzina centra težišta tijela po osi z . Vertikalna brzina koljena prema dolje u saskocima s dva okreta je 1,77 m/s u desnom i 1,76 m/s u lijevom koljenu, dok u saskocima s tri okreta brzina je 0,98 m/s u desnom i 0,91 m/s u lijevom koljenu. Rezultati su pokazali da je brzina centra težišta tijela po osi z u saskocima s dva okreta jednaka nuli, dok je u saskocima s tri okreta zabilježena brzina od 0,17 m/s.

Ubrzanja nisu pokazala značajne razlike između saskoka s dva i tri okreta oko uzdužne osi.

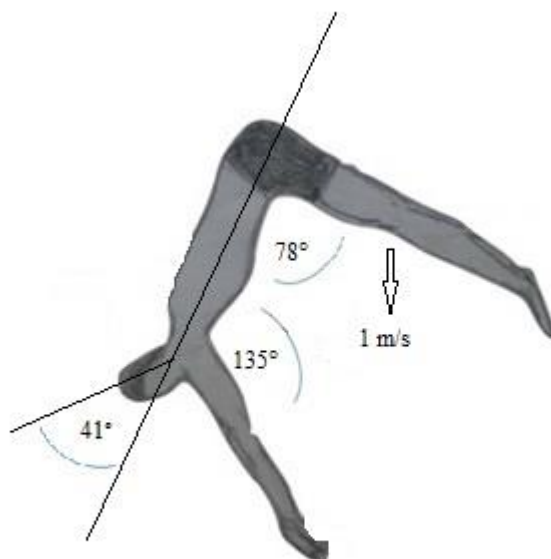
Vrijednosti kutova pojedinih varijabli također su pokazale razlike između saskoka s dva i tri okreta oko uzdužne osi. Razlike su se pokazale u kutu u zglobu ramena, kukova i glave u odnosu na trup. U velekovrtljaju za saskok s dva okreta kut u zglobu lijevog ramena je $109,05^\circ$, a u zglobu desnog ramena $112,48^\circ$, dok su vrijednosti kutova u istoj poziciji za saskok s tri okreta $133,78^\circ$ u zglobu lijevog ramena i $135,82^\circ$ u zglobu desnog ramena. Kut u zglobu kukova za saskok s dva okreta je $107,15^\circ$ u zglobu lijevog kuka i $106,21^\circ$ u zglobu desnog kuka, a za saskok s tri okreta kut je $78,39^\circ$ u zglobu lijevog i $77,51^\circ$ u zglobu desnog kuka. Kut glave u odnosu na trup je $20,52^\circ$ s lijeve i $17,82^\circ$ s desne strane u saskocima s dva okreta, a $40,94^\circ$ s lijeve i $41,44^\circ$ s desne strane u saskocima s tri okreta.

Istraživanje koje je proveo Knoll (2001) pokazalo je da gimnastičari koriste pripremni velekovrtljaj kako bi povećali moment impulsa prije puštanja pritke. To postižu djelotvornim zamahom nogama. Preduvjet da bi se postiglo povećanje momenta impulsa je prethodno sklonjena pozicija tijela u trenutku prelaska vertikale. Takva pozicija postiže se zatvaranjem kuta u ramenima i kukovima.

Rezultati ovog istraživanja pokazali su kako se upravo u trenutku prelaska centra težišta tijela iznad preče, grupe saskoka s dva i tri okreta najviše razlikuju po parametrima unutar varijabli. U pripremi za saskoke s dva okreta tijelo gimnastičara ima gotovo jednaki kut u ramenima i kukovima (slika 10), dok tijekom pripreme za saskoke s tri okreta gimnastičari u ovoj poziciji u odnosu na saskoke s dva okreta imaju otvoreniji kut u ramenima, a zatvoreniji kut u kukovima (slika 11). Položaj glave također se razlikuje u odnosu na saskoke s dva i tri okreta oko uzdužne osi. Ramena se u trenutku kada je centar težišta tijela iznad pritke, nalaze ispred pritke, s tim da su za saskoke s dva okreta zbog manjeg kuta u ramenima, 9 cm udaljenija od pritke po osi x i 3 cm bliže pritci po osi y u odnosu na istu poziciju u pripremi za saskoke s tri okreta. Vertikalna brzina koljena prema dolje u ovom trenutku veća je u saskocima s dva okreta nego u saskocima s tri okreta.



Slika 10. Centar težišta tijela iznad priske tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja za saskok s dva okreta oko uzdužne osi



Slika 11. Centar težišta tijela iznad priske tijekom izvedbe pripremnog velekovrtljaja za saskok s tri okreta oko uzdužne osi

5.1.2. Centar težišta tijela iza pritke

Druga pozicija je trenutak kada se centar težišta tijela nalazi u horizontali iza pritke, tj. u ravnini s pritkom po osi y (slika 9b). Ovo je trenutak otvaranja kutova u ramenima i kukovima. Iako manje nego u poziciji prije, analiza je pokazala da i u ovom trenutku postoje razlike u parametrima unutar pojedinih varijabli (tablica 4).

Tablica 4. Vrijednosti varijabli koje se razlikuju po kriteriju broja rotacija oko uzdužne osi u P2

VARIJABLA	MJ	PH	1 ROTACIJA	2 ROTACIJE	3 ROTACIJE
<i>Naziv varijable: P2</i>		<i>p<0,05</i>	<i>Mean ± Std. Deviation</i>	<i>Mean ± Std. Deviation</i>	<i>Mean ± Std. Deviation</i>
D.GLEŽANJ_Dx	m	1-3;2-3	2,22 ± 0,118	2,10 ± 0,125	1,87 ± 0,227
D.KOLJENO_Dx	m	1-3;2-3	1,83 ± 0,091	1,76 ± 0,069	1,60 ± 0,148
D.KOLJENO_Vz	m/s	1-2;1-3;2-3	-0,08 ± 0,477	1,26 ± 0,167	0,67 ± 0,510
L.KOLJENO_Az	m/s ²	2-3	-12,65 ± 5,796	-23,01 ± 10,795	-4,50 ± 5,773
D.STOPALO_Dx	m	1-3	2,33 ± 0,117	2,23 ± 0,129	1,99 ± 0,249
D.STOPALO_Dy	m	1-3	2,43 ± 0,207	2,71 ± 0,276	2,81 ± 0,175
L.GLEŽANJ_Dx	m	1-3	2,21 ± 0,114	2,09 ± 0,103	1,87 ± 0,243
L.STOPALO_Dx	m	1-3	2,33 ± 0,110	2,21 ± 0,111	1,98 ± 0,264
D.RAME_Az	m/s ²	1-2	12,51 ± 12,631	-11,06 ± 8,876	-1,305 ± 9,018
L.KOLJENO_w	°/s	1-2;1-3	59,79 ± 98,949	285,13 ± 140,354	262,82 ± 125,526
D.KOLJENO_w	°/s	1-2;1-3	57,96 ± 79,319	247,96 ± 149,102	258,10 ± 134,205

Razlike u saskocima s dva i tri okreta po osi x su u položaju gležnja. Desni gležanj nalazi se na 2,10 m od pritke u saskocima s dva te na 1,87 m u saskocima s tri okreta, dok se lijevi gležanj u saskocima s dva okreta nalazi na 2,09 m od pritke, a u saskocima s tri okreta na 1,87 m od pritke.

Razlike se vide i u brzini i ubrzanju koljena po osi z u ovom trenutku. U saskocima s dva okreta desno koljeno ima brzinu od 1,26 m/s, dok je u saskocima s tri okreta brzina manja i iznosi 0,67 m/s. Lijevo koljeno u ovom trenutku ima ubrzanje od -23,01 m/s² u saskocima s dva okreta te -4,50 m/s² u saskocima s tri okreta.

Prema rezultatima vidi se da u trenutku kad tijelo prelazi iz sklonjene pozicije u ispruženu poziciju, a centar težišta tijela nalazi se u horizontalnoj ravnini s pritkom po osi y, razlike su samo u udaljenosti gležnja i koljena od pritke. U pripremi za saskok s dva okreta nalaze se dalje nego u pripremi za saskok s tri okreta. Ovi podaci neće se interpretirati jer zbog velike udaljenosti referentnog okvira podaci uključuju određenu količinu greške u najdaljim segmentima tijela kao što su koljena i stopala.

5.1.3. Centar težišta tijela ispod pritke

Treća pozicija odnosi se na trenutak kada se centar težišta tijela nalazi u vertikali ispod pritke, tj. u ravnini s pritkom po osi x (slika 9c). U ovom trenutku tijelo je u poziciji hiperekstenzije, a pokazale su se razlike između saskoka s dva i tri okreta u nekim varijablama (tablica 5).

Tablica 5. Vrijednosti varijabli koje se razlikuju po kriteriju broja rotacija oko uzdužne osi u P3

VARIJABLA	MJ	PH	1 ROTACIJA	2 ROTACIJE	3 ROTACIJE
Naziv varijable: P3		$p < 0,05$	Mean \pm Std. Deviation	Mean \pm Std. Deviation	Mean \pm Std. Deviation
D.GLEŽANJ_Dx	m	1-3;2-3	0,48 \pm 0,085	0,46 \pm 0,098	0,32 \pm 0,105
L.KUK_Vz	m/s	1-3;2-3	0,24 \pm 0,330	0,23 \pm 0,295	-0,178 \pm 0,116
D.STOPALO_Ay	m/s ²	1-3;2-3	135,28 \pm 82,974	170,62 \pm 133,824	329,63 \pm 115,385
D.GLEŽANJ_Ay	m/s ²	1-3;2-3	76,10 \pm 56,025	95,22 \pm 83,901	233,87 \pm 96,728
D.KOLJENO_Ay	m/s ²	1-3;2-3	52,55 \pm 31,260	51,36 \pm 38,676	140,06 \pm 37,759
L.KOLJENO_Ay	m/s ²	1-3;2-3	47,91 \pm 35,732	58,29 \pm 44,758	138,64 \pm 38,539
L.GLEŽANJ_Ay	m/s ²	1-3;2-3	57,14 \pm 66,057	99,68 \pm 100,725	234,29 \pm 107,779
D.LAKAT_kut	°	1-3;2-3	173,21 \pm 3,135	171,55 \pm 3,141	176,45 \pm 1,831
L.GLEŽANJ_Dx	m	1-3	0,51 \pm 0,093	0,48 \pm 0,096	0,35 \pm 0,105
D.KOLJENO_Vz	m/s	1-3	0,94 \pm 0,126	0,42 \pm 0,462	0,36 \pm 0,217
D.KUK_Vx	m/s	1-3	-6,02 \pm 0,560	-5,18 \pm 0,584	-4,81 \pm 0,827
L.LAKAT_Vy	m/s	1-2	-0,46 \pm 0,074	-1,00 \pm 0,261	-0,79 \pm 0,409
ATLAS_Vx	m/s	1-2;1-3	-1,91 \pm 0,413	-1,35 \pm 0,398	-1,27 \pm 0,260
ATLAS_Vy	m/s	1-2;1-3	-0,35 \pm 0,400	-1,00 \pm 0,457	-1,02 \pm 0,356
VERTEX_Vy	m/s	1-3	-0,85 \pm 0,761	-1,59 \pm 0,506	-1,80 \pm ,292
L.STOPALO_Ay	m/s ²	1-3	118,98 \pm 77,811	169,54 \pm 122,342	306,36 \pm 113,723
C.T.T._Ay	m/s ²	1-3	30,78 \pm 8,133	37,66 \pm 19,285	58,49 \pm 16,973
L.GLAVA_kut	°	1-3	39,12 \pm 18,172	53,93 \pm 25,930	75,72 \pm 11,662
D.GLAVA_kut	°	1-3	38,90 \pm 18,537	52,70 \pm 26,716	74,43 \pm 11,323
D.KOLJENO_w	°/s	1-2;1-3	-132,63 \pm 100,257	-296,25 \pm 120,869	-296,81 \pm 44,381

Desni gležanj u saskocima s dva okreta ima brzinu od 0,46 m/s, dok je brzina desnog gležnja u saskocima s tri okreta 0,32 m/s. Kut u desnom laktu u saskocima s dva okreta je 171,55°, a u saskocima s tri okreta 176,45°. Razlika je i u brzini desnog kuka po osi z . U saskocima s dva okreta brzina je 0,23 m/s, dok je brzina u saskocima s tri okreta -0,178 m/s.

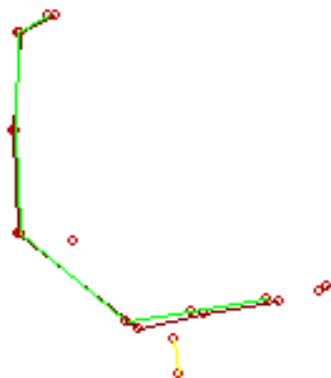
Pri ubrzanjima se vidi razlika u donjim ekstremitetima po osi y . Saskoci s dva okreta imaju manja ubrzanja u odnosu na saskoke s tri okreta. U saskocima s dva okreta desno stopalo

ima ubrzanje od $170,62 \text{ m/s}^2$, desni gležanj $95,22 \text{ m/s}^2$, lijevi gležanj $99,68 \text{ m/s}^2$, desno koljeno $51,36 \text{ m/s}^2$, a lijevo koljeno $58,29 \text{ m/s}^2$. U saskocima s tri okreta desno stopalo ima ubrzanje od $329,63 \text{ m/s}^2$, desni gležanj $233,87 \text{ m/s}^2$, lijevi gležanj $234,29 \text{ m/s}^2$, desno koljeno $140,06 \text{ m/s}^2$, a lijevo koljeno $138,64 \text{ m/s}^2$.

Kada se centar težišta tijela nalazi ispod pritke po osi x , tj. u vertikali ispod pritke, najveće razlike zabilježene su u udaljenosti gležnjeva od pritke po osi x . U pripremnom velekovrtljaju za saskok s dva okreta, gležnjevi su 14 cm udaljeniji od pritke u odnosu na pripremni velekovrtljaj za saskok s tri okreta oko uzdužne osi. Iz navedenog se vidi da faza hiperekstenzije u zglobu kukova za saskoke s tri okreta završava ranije, a u trenutku kada se centar težišta tijela nalazi ispod pritke noge se već kreću prema naprijed, tj. dolazi do fleksije u zglobu kukova i ramena. Razlog veće udaljenosti gležnjeva u saskocima s dva u odnosu na tri okreta oko uzdužne osi može biti i u dimenzionalnosti gimnastičara. Naime, saskoke s tri okreta izvodila su dva gimnastičara koji su niži od gimnastičara koji su izvodili saskoke s dva okreta, pa bi zbog toga udaljenost gležnjeva u trenutku hiperekstenzije mogla biti veća kod gimnastičara koji su viši, tj. imaju duže ekstremitete.

5.2. PUŠTANJE PRITKE

Četvrta pozicija je trenutak puštanja pritke. Određena je kao trenutak kada gimnastičar otvara dlanove i nema više kontakta s pritkom (slika 12).



Slika 12. Puštanje pritke

U ovom trenutku tijelo je u sklonjenom položaju, a pronađeno je nekoliko razlika u parametrima unutar pojedinih varijabli između saskoka s različitim količinama rotacija oko uzdužne si (tablica 6).

Tablica 6. Vrijednosti varijabli koje se razlikuju po kriteriju broja rotacija oko uzdužne osi u P4

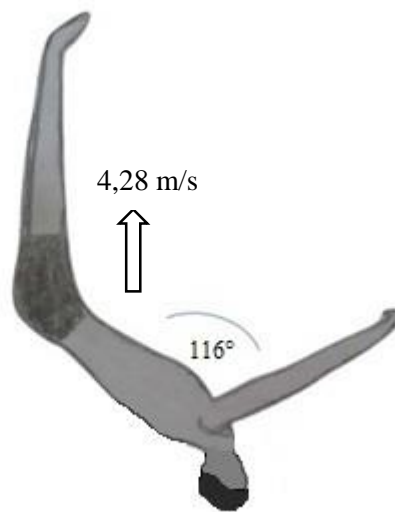
VARIJABLA	MJ	PH	1 ROTACIJA	2 ROTACIJE	3 ROTACIJE
Naziv varijable: P4		$p < 0,05$	Mean \pm Std. Deviation	Mean \pm Std. Deviation	Mean \pm Std. Deviation
VERTEX_Dy	m	2-3	2,11 \pm 0,102	2,07 \pm 0,064	2,21 \pm 0,062
D.KUK_Vy	m/s	1-3;2-3	5,89 \pm 0,451	5,89 \pm 0,460	6,68 \pm 0,314
D.LAKAT_Vy	m/s	2-3	0,46 \pm 0,411	0,11 \pm 0,749	1,25 \pm 0,528
L.ZAPEŠĆE_Vz	m/s	1-3;2-3	0,13 \pm 0,463	0,06 \pm 0,418	-1,28 \pm 0,967
C.T.T._Vy	m/s	1-3;2-3	4,40 \pm 0,262	4,28 \pm ,203	4,95 \pm 0,297
D.ZAPEŠĆE_Ay	m/s ²	2-3	1,43 \pm 26,931	-32,59 \pm 29,273	20,20 \pm 32,099
D.LAKAT_Az	m/s ²	1-3;2-3	-6,35 \pm 6,530	9,51 \pm 10,940	26,98 \pm 15,270
L.LAKAT_Az	m/s ²	1-3;2-3	8,24 \pm 14,571	0,48 \pm 9,524	-24,75 \pm 15,115
L.ZAPEŠĆE_Ay	m/s ²	2-3	17,19 \pm 11,734	-9,66 \pm 28,559	32,80 \pm 20,478
L.ZAPEŠĆE_Az	m/s ²	1-3;2-3	7,19 \pm 10,243	5,21 \pm 18,933	-36,46 \pm 24,397
L.RAME_kut	°	1-3;2-3	121,03 \pm 6,933	115,83 \pm 10,923	137,38 \pm 10,946
D.RAME_kut	°	1-3;2-3	123,71 \pm 5,760	116,41 \pm 7,676	136,81 \pm 3,039
ATLAS_Dx	m	1-3	-0,55 \pm 0,063	-0,51 \pm 0,050	-0,44 \pm 0,015
D.ZAPEŠĆE_Az	m/s ²	1-2	-10,95 \pm 3,008	7,70 \pm 12,286	34,17 \pm 25,335
L.ZAPEŠĆE_Ax	m/s ²	1-3	-18,40 \pm 30,337	-50,50 \pm 24,699	-72,13 \pm 16,50

U saskocima s dva okreta vertex se po osi y nalazi na 2,07 m, a u saskocima s tri okreta na 2,21 m. Razlika je i u kutovima u zglobu ramena. U saskocima s dva okreta kut lijevog ramena je $115,83^\circ$, a desnog $116,41^\circ$, dok je u saskocima s dva okreta kut u lijevom ramenu $137,38^\circ$, a u desnom ramenu $136,81^\circ$.

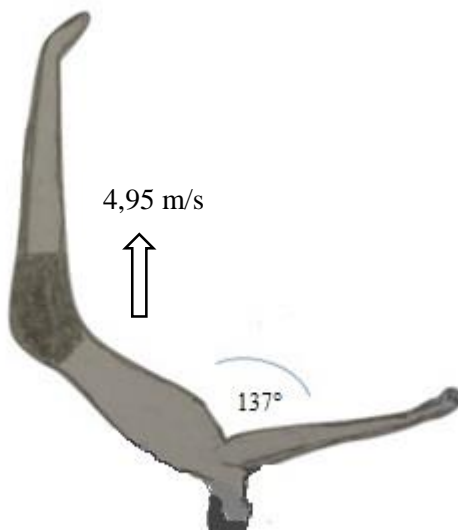
U brzini po osi y razlike su u desnom kuku i laktu te centru težišta tijela. Desni kuk ima brzinu 5,89 m/s u saskocima s dva, a 6,68 m/s s tri okreta oko uzdužne osi. Desni lakat ima brzinu 0,11 m/s u saskocima s dva i 1,25 m/s s tri okreta, dok centar težišta tijela ima brzinu 4,28 m/s u saskocima s dva i 4,95 m/s s tri okreta. Razlika je zabilježena i u brzini lijevog zapešća po osi z. U saskocima s dva okreta brzina je 0,06 m/s, a s tri okreta -1,28 m/s.

Što se tiče ubrzanja, u saskocima s dva okreta desno zapešće po osi y ima ubrzanje od $-32,59 \text{ m/s}^2$, a lijevo zapešće $-9,66 \text{ m/s}^2$. U saskocima s tri okreta ubrzanje desnog zapešća po osi y je $20,20 \text{ m/s}^2$ dok je ubrzanje lijevog zapešća $32,80 \text{ m/s}^2$. Po osi z lijevo zapešće u saskocima s dva okreta ima ubrzanje od $5,21 \text{ m/s}^2$, dok u saskocima s tri okreta ubrzanje je $-36,46 \text{ m/s}^2$. Što se tiče ubrzanja laktova po osi z, lijevi lakat u saskocima s tri okreta ima ubrzanje $0,48 \text{ m/s}^2$, a desni lakat $9,51 \text{ m/s}^2$, dok u saskocima s tri okreta lijevi lakat ima ubrzanje $26,98 \text{ m/s}^2$, a desni lakat $-24,75 \text{ m/s}^2$. Razlike kuta u ramenima i vertikalne brzine centra težišta tijela u trenutku puštanja pritke prikazuju slike 13 i 14.

Autor Zhou (2013) analizirao je saskok dvostruki pruženi salto natrag s dva okreta oko uzdužne osi koji je izveo kineski gimnastičar Kai Zou, olimpijski prvak iz 2008. godine te dvostruki svjetski prvak na preči. Analizirane su dvije izvedbe saskoka, 2011. i 2012. godine. U trenutku puštanja preče gimnastičar je imao prosječnu vrijednost kuta u zglobu ramena 115° , što je za 1° manje od podataka iz ovog istraživanja. Po pitanju kuta u zglobu kuka, gimnastičar Kai Zhou imao je kut od 135° , ali je 2011. godine taj kut bio 144° , dok je prosječna vrijednost kuta u kukovima u ovom istraživanju za iste saskoke iznosila 146° , samo 2° više.



Slika 13. Puštanje pritke za saskok s dva okreta oko uzdužne osi



Slika 14. Puštanje pritke za saskok s tri okreta oko uzdužne osi

Iako se u trenutku puštanja pritke centar težišta tijela u svim saskocima nalazi iznad pritke, povećanjem broja okreta oko uzdužne osi udaljenost centra težišta tijela od pritke po osi y , kao i udaljenost centra težišta tijela od pritke po osi x se smanjuje se. Ako promatramo brzinu centra težišta tijela u trenutku puštanja pritke, najmanja brzina postiže se u saskocima s dva okreta oko uzdužne osi ($V_x=1,08$ m/s; $V_y=4,28$ m/s), veća brzina postiže se u saskocima s jednim okretom oko uzdužne osi ($V_x=1,24$ m/s; $V_y=4,40$ m/s), a najveća brzina postiže se tijekom izvedbe saskoka s tri okreta oko uzdužne osi ($V_x=1,55$ m/s; $V_y=4,95$ m/s). Ove vrijednosti mogu se vidjeti u tablici 7.

Tablica 7. Položaj i brzina centra težišta tijela u trenutku puštanja pritke

SASKOK	N	UDALJENOST OD PRITKE PO OSI Y (cm)	UDALJENOST OD PRITKE PO OSI X (cm)	BRZINA OS Y (m/s)	BRZINA OS X (m/s)
360°	5	5,33 ± 9,69	91,41 ± 5,59	4,40 ± 0,26	1,24 ± 0,52
720°	5	3,00 ± 9,95	87,30 ± 6,84	4,28 ± 0,20	1,08 ± 0,26
1080°	5	2,56 ± 2,00	84,78 ± 1,40	4,95 ± 0,30	1,55 ± 0,29

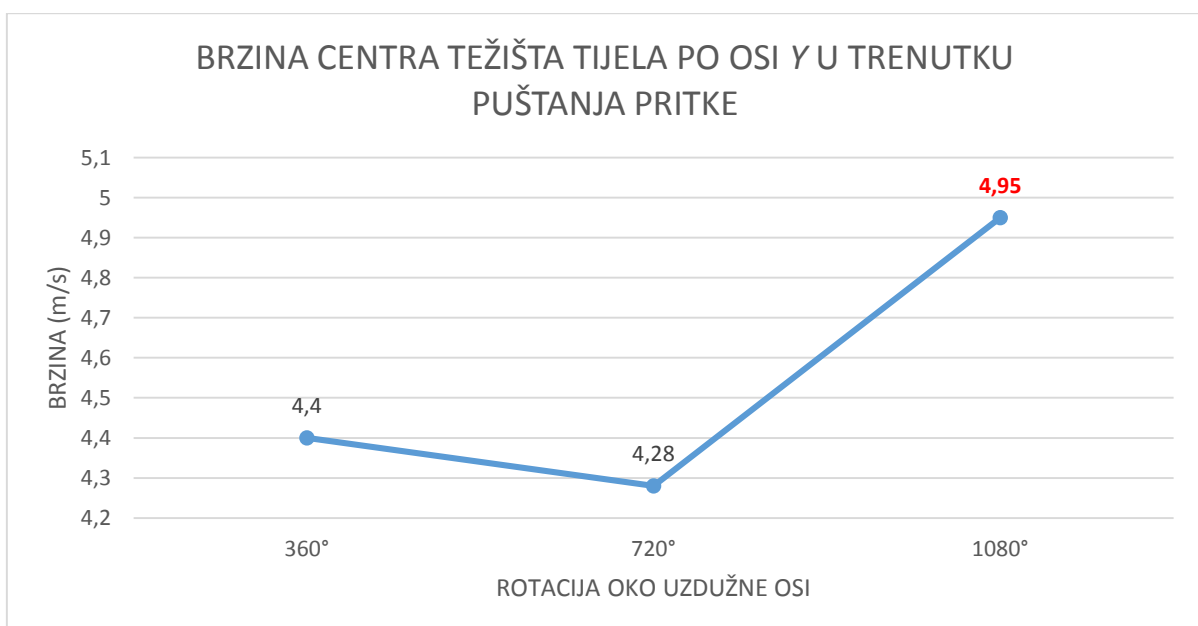
Ovi rezultati pokazuju razlike u odnosu na saskoke trostrukog salta natrag koje su analizirali Kerwin i sur. (1993). Oni su zaključili da se centar težišta tijela u trostrukim salto natrag saskocima u trenutku puštanja pritke nalazi ispod razine pritke. Budući da se za tehniku pripremnog velekovrtljaja pri izvedbi trostrukog salta natrag češće koristi tradicionalna tehnika, potrebno je ranije pustiti pritku jer u protivnom predugo držanje pritke može rezultirati putanjom centra težišta prema gore bez udaljavanja od pritke, što može biti opasno za gimnastičara jer se faza leta odvija preblizu pritke.

U dvostrukim pruženim salto natrag saskocima centar težišta tijela zbog moderne tehnike pripremnog velekovrtljaja ima putanju udaljavanja od pritke u smjeru saskoka, a gimnastičar drži pritku duže kako bi postigao i dovoljnu visinu, a time i duže trajanje faze leta za sigurnu izvedbu saskoka. Autori Chen i Liu (2000) su svojim istraživanjem utvrdili kako gimnastičari svjetske, u odnosu na gimnastičare nacionalne klase, više koriste ramena i kukove u pripremnom velokovrtljaju te na taj način u trenutku puštanja pritke dovode tijelo u poziciju većeg kuta između horizontalne ravnine pritke i trupa, što rezultira i višim položajem centra

težišta nego kada je taj kut manji. U istom istraživanju ustanovili su da izraženije i efikasnije promjene kuta u ramenima i kukovima tijekom pripremnog velekovrtljaja stvaraju radijus kretanja centra težišta tijela koji omogućava postizanje veće vertikalne brzine i duže trajanje faze leta. Yang i sur. (1995) istraživali su dvostruki pruženi salto natrag s tri okreta oko uzdužne osi na jednom gimnastičaru, jedan uspješan i jedan neuspješan pokušaj. Tijekom izvedbe neuspješnog pokušaja, tj. pokušaja u kojem gimnastičar nije uspio dovršiti rotaciju, centar težišta tijela nalazio se 15 cm ispod pritke u trenutku puštanja, dok je u izvedbi uspješnog pokušaja centar težišta tijela bio 12 centimetara iznad pritke. Ako se uspoređi njihovo istraživanje s podacima ovog istraživanja koje je provedeno na većem uzorku, evidentno je da centar težišta tijela u trenutku puštanja pritke za saskoke s tri okreta oko uzdužne osi treba biti iznad pritke.

U trenutku puštanja pritke saskoci s tri okreta oko uzdužne osi značajno se razlikuju od saskoka s dva okreta u brzini kretanja centra težišta tijela po osi y. Razmjer tih razlika prikazan je na grafičkom prikazu 43. Jasno se vidi kako je za izvedbu tri okreta oko uzdužne osi potrebno postići značajno veću brzinu centra težišta tijela prema gore (brzina od 4,95 m/s u odnosu na 4,28 m/s za saskoke s dva okreta). Veća brzina omogućuje i veću visinu leta, a samim time i duže trajanje faze leta. Sve to potrebno je kako bi gimnastičar imao dovoljno vremena za još jedan dodatni okret oko uzdužne osi tijekom izvedbe dvostrukog pruženog salta natrag.

Grafički prikaz 43. *Brzina centra težišta tijela po osi y u trenutku puštanja pritke za saskok*



Podatke o vertikalnoj i horizontalnoj brzini u trenutku puštanja pritke istraživali su Brüggemann i sur. (1994). Oni su analizirali 70 različitih saskoka na Olimpijskim igrama u Barceloni 1992. godine i došli do podataka da je za dvostruke zgrčene salto natrag saskoke srednja vrijednost vertikalne brzine 4,79 m/s, a horizontalne brzine 1,04 m/s, za trostruke zgrčene salto natrag saskoke srednja vrijednost vertikalne brzine 5,06 m/s, a horizontalne brzine 1,19 m/s, dok je za dvostruke pružene salto natrag saskoke srednja vrijednost vertikalne brzine 4,04 m/s, a horizontalne 1,34 m/s. Zhou (2013) je dobio podatak da je srednja vrijednost vertikalne brzine centra težišta tijela 3,76 m/s u saskocima dvostrukog pruženog salta natrag s dva okreta oko uzdužne osi. Geiblinger, McLaughlin i Morrison (1995) otkrili su da je srednja vertikalna brzina centra težišta tijela u različitim varijantama dvostrukog i trostrukog zgrčenog salta natrag 4,94 m/s, a horizontalna brzina 1,08 m/s. Takei i Dunn (1997) na uzorku od 24 gimnastičara koji su koristili modernu tehniku velekovrtljaja za saskok dvostrukog zgrčenog salta natrag, dobili su srednju vrijednost vertikalne brzine od 4,92 m/s, a horizontalne brzine od 1,13 m/s, dok su 24 gimnastičara koji su koristili tradicionalnu tehniku postigli manju srednju vertikalnu (4,67 m/s), ali veću horizontalnu (1,30 m/s) brzinu. Yang i sur. (1995) dobili su podatak da je pri uspješnoj izvedbi saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s tri okreta oko uzdužne osi postignuta brzina veća od 5 m/s, ali u ovom istraživanju pokazalo se (na većem uzorku) da je moguće uspješno izvesti isti saskok i s brzinama manjim od 5 m/s, tako da to ne možemo smatrati osnovnim prediktorom za uspješnu izvedbu saskoka.

Ovi podaci prikazuju da je za dvostruki pruženi salto natrag saskok s tri okreta oko uzdužne osi potrebno postići najveće vrijednosti po pitanju vertikalne i horizontalne brzine centra težišta tijela u trenutku puštanja pritke, u odnosu na iste saskoke s manje ili bez rotacija oko uzdužne osi, dok je za trostruki zgrčeni salto saskok potrebno postići vertikalnu brzinu preko 5 m/s, ali nije potrebna tolika horizontalna brzina kao za dvostruke pružene salto saskoke.

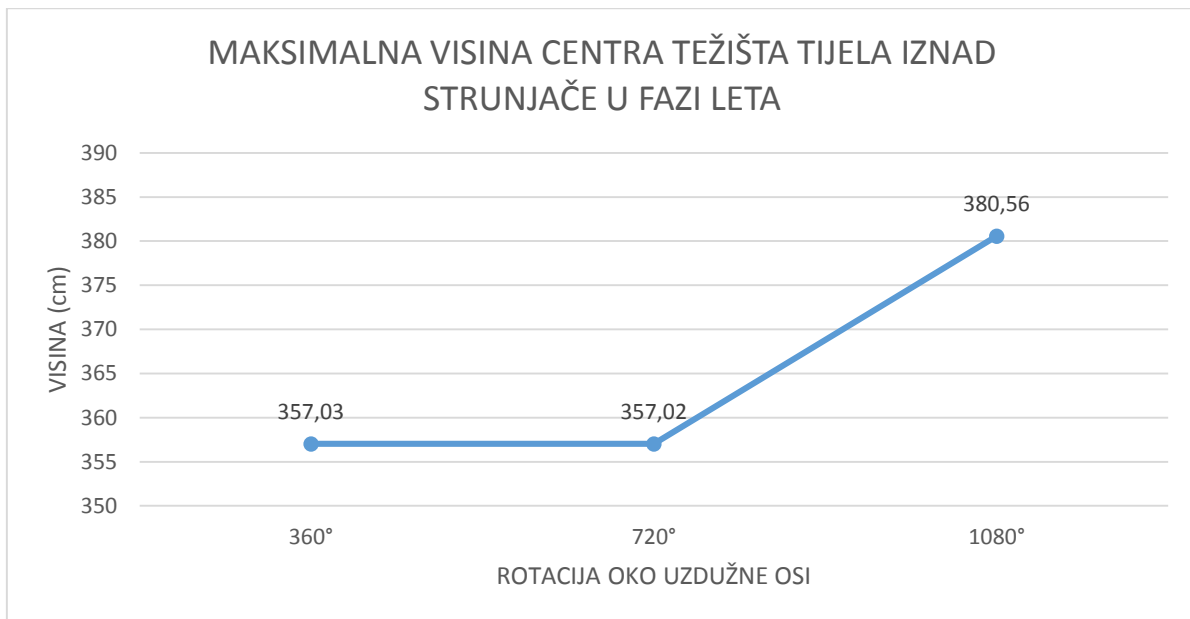
5.2.1. Faza leta

Parametri koji određuju kretanje i brzinu centra težišta tijela gimnastičara tijekom faze leta, a samim time i definiraju trajektoriju leta, pokazuju kako za dvostruke pružene salto natrag saskoke s jednim i dva okreta oko uzdužne osi nema velikih i značajnih razlika u samoj

trajektoriji leta, dok u svim parametrima odskaku rezultati saskoka s tri okreta oko uzdužne osi. Očigledno je potrebno povećati vrijednosti određenih parametara, poput vertikalne brzine centra težišta tijela prema gore u trenutku puštanja pritke, kako bi se zadovoljili svi preduvjeti, tj. osiguralo dovoljno vremena koje gimnastičar treba provesti u zraku da bi izveo i treći okret oko uzdužne osi.

Iako se nije pokazalo kao statistički značajna razlika, uvidom u grafički prikaz 44 možemo zaključiti kako su se uslijed veće vertikalne i horizontalne brzine u trenutku puštanja pritke postigle i veće vrijednosti maksimalne visine centra težišta tijela u fazi leta.

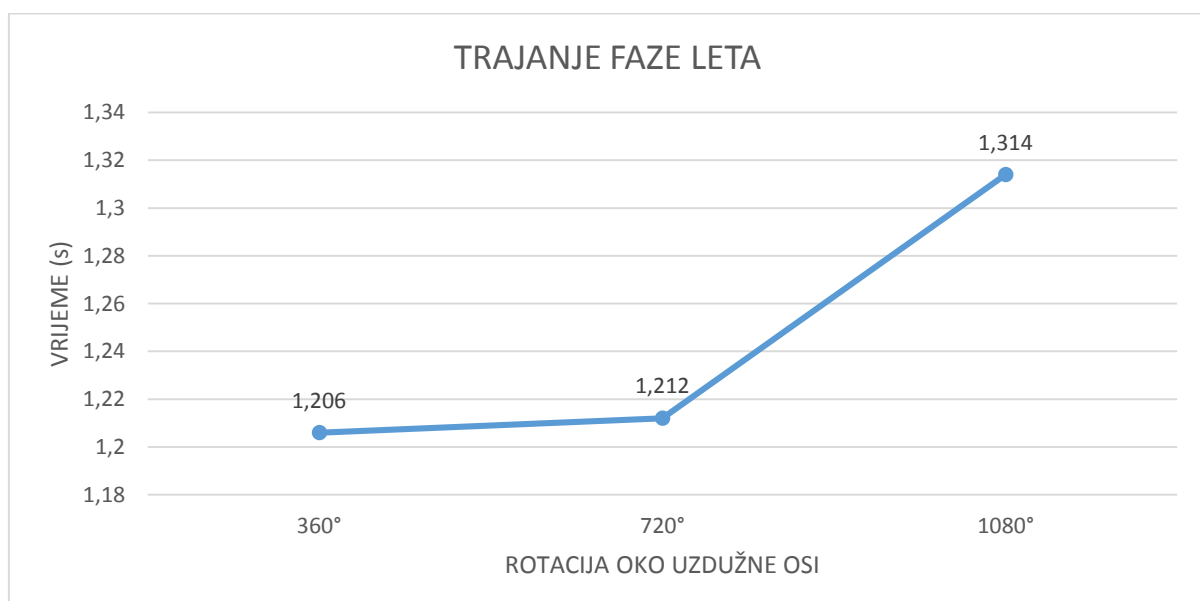
Grafički prikaz 44. *Maksimalna visina centra težišta tijela u fazi leta*



U saskocima s jednim i dva okreta oko uzdužne osi, maksimalna visina gotovo je identična (357 cm) dok u saskocima s tri okreta gimnastičar dostiže visinu centra težišta tijela od 380,56 cm iznad strunjače za doskok, što je gotovo 24 cm više od saskoka s jednim i dva okreta. Ovi podaci su izvan područja koje referentni okvir precizno pokriva, ali svejedno ukazuju na evidentno povećanje visine dodavanjem trećeg okreta oko uzdužne osi.

Kerwin i sur. (1990) na Olimpijskim igrama u Seoulu 1988. godine, na uzorku od 6 finalista na preči na Svjetskom prvenstvu 1994. godine, zabilježili su da gimnastičari u izvedbi saskoka dvostrukog pruženog salta natrag postižu maksimalnu visinu između 345 i 373 cm, dok je za trostruki zgrčeni salto natrag saskok zabilježena maksimalna visina leta između 389 cm i 408 cm. Iako je saskok dvostruki pruženi salto natrag s tri okreta oko uzdužne osi po biomehaničkim parametrima kompleksniji saskok koji ukupno sadrži više različitih rotacija, ispostavilo se da je za izvedbu trostrukog zgrčenog salta ipak potrebno postići veću maksimalnu visinu leta da bi se saskok uspješno izveo. Geiblinger i sur. (1995) su na uzorku od 6 finalista Svjetskog prvenstva u Brisbaneu 1994. godine došli do podataka da je srednja vrijednost maksimalne visine koju su gimnastičari postigli izvodeći različite varijante dvostrukog i trostrukog zgrčenog salta natrag 386 cm, a možemo pretpostaviti da je na tako visoku vrijednost ponajviše utjecao trostruki salto natrag. Yang i sur. (1995) ustanovili su da gimnastičar nije uspio dovršiti rotaciju tijekom izvedbe saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s tri okreta oko uzdužne osi kad je postigao maksimalnu visinu centra težišta tijela tijekom faze leta od 371 cm, a kad je napravio uspješan pokušaj, maksimalna visina bila je 422 cm. Možemo zaključiti kako je za veliku vjerojatnost uspješne izvedbe saskoka potrebno postići visinu centra težišta tijela od 380 cm. Uslijed veće brzine centra težišta tijela u trenutku puštanja pritke te postizanja većih vrijednosti visine i daljine centra težišta tijela u izvedbi saskoka, pokazala se i velika (iako ne i statistički značajna) razlika u trajanju faze leta. Saskoci s jednim i dva okreta oko uzdužne osi imaju slične vrijednosti, dok je trajanje leta za saskoke s tri okreta duže (grafički prikaz 45).

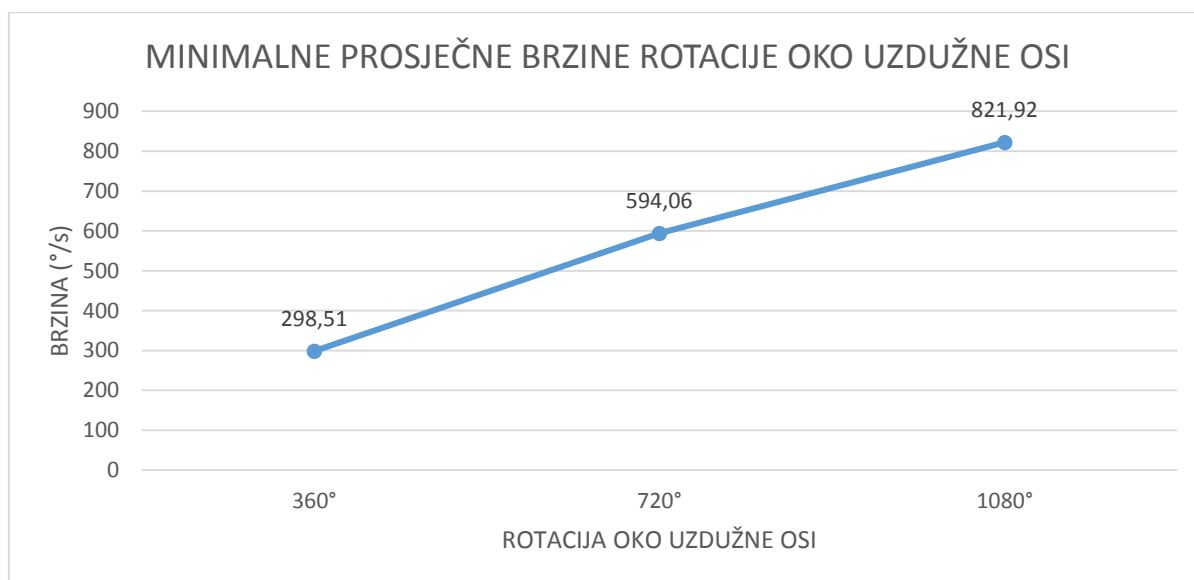
Grafički prikaz 45. *Trajanje faze leta tijekom izvedbe saskoka*



Yang i sur. (1995) izmjerili su da je trajanje faze leta gimnastičara tijekom uspješne izvedbe saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s tri okreta oko uzdužne osi bilo 1,38 s, dok je kraće vrijeme leta istog gimnastičara rezultiralo neuspješnom izvedbom saskoka. Na temelju tih podataka i dobivenih podataka u ovom istraživanju možemo zaključiti kako je potrebno provesti 1,31 s ili duže u fazi leta za uspješnu izvedbu saskoka s tri okreta oko uzdužne osi. Geiblinger i sur. (1995) u svom istraživanju dobili su podatak da je srednja vrijednost trajanja leta u različitim varijantama dvostrukog i trostrukog zgrčenog salta natrag 1,29 s.

Osnovom prostorno-vremenskih karakteristika trajektorija (količina rotacije, trajanje leta) izvedbe saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s jednostrukim, dvostrukim i trostrukim rotacijama oko uzdužne osi, izračunate su minimalne prosječne brzine rotacije oko uzdužne osi neophodne za kompletiranje analiziranih salta (grafički prikaz 46). Da bi se izvela trostruka rotacija oko uzdužne osi tijela, prosječna brzina rotacije oko uzdužne osi mora biti najmanje 821,92 °/s, u odnosu na dvostruku rotaciju za koju je najmanja prosječna brzina rotacije 594,06 °/s, te na jednostruku rotaciju oko uzdužne osi za koju je potrebna najmanja prosječna brzina rotacije od 298,51 °/s

Grafički prikaz 46. Minimalne prosječne brzine rotacije oko uzdužne osi



5.3. KONTAKT STOPALA S PODLOGOM PRI DOSKOKU

Ova pozicija definirana je kao trenutak kada stopala zaustave put po osi y, tj. trenutak kada stopala ostvare prvi kontakt s podlogom.



Slika 15. Trenutak kontakta stopala s podlogom pri doskoku

Analiza trenutka kontakta stopala s podlogom (slika 15) pokazala je razlike u parametrima unutar pojedinih varijabli, ovisno o broju okreta oko uzdužne osi u saskoku. Po pitanju položaja segmenata tijela iz tablice 8 vidi se da postoji dosta razlika.

Tablica 8. Vrijednosti varijabli koje se razlikuju po kriteriju broja rotacija oko uzdužne osi u P5

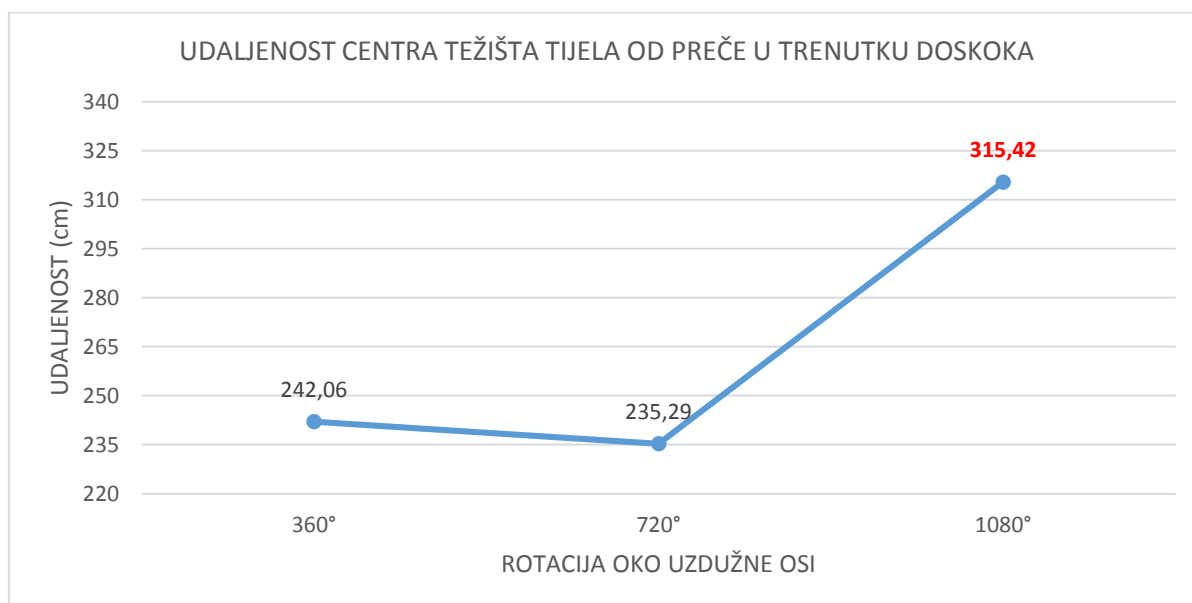
VARIJABLA	MJ	PH	1 ROTACIJA	2 ROTACIJE	3 ROTACIJE
<i>Naziv varijable: P5</i>		<i>p<0,05</i>	<i>Mean ± Std. Deviation</i>	<i>Mean ± Std. Deviation</i>	<i>Mean ± Std. Deviation</i>
D.STOPALO_Dx	m	1-3;2-3	-2,47 ± 0,608	-2,39 ± 0,501	-3,33 ± 0,238
D.GLEŽANJ_Dx	m	1-3;2-3	-2,34 ± 0,599	-2,25 ± 0,504	-3,21 ± 0,243
D.KOLJENO_Dx	m	1-3;2-3	-2,31 ± 0,565	-2,25 ± 0,500	-3,21 ± 0,316
D.KUK_Dx	m	1-3;2-3	-2,26 ± 0,542	-2,19 ± 0,494	-3,05 ± 0,307
D.KUK_Dy	m	1-3;2-3	0,81 ± 0,061	0,75 ± 0,036	0,67 ± 0,037
L.KUK_Dx	m	1-3;2-3	-2,26 ± 0,539	-2,18 ± 0,481	-3,05 ± 0,303
L.KUK_Dy	m	1-3;2-3	0,82 ± 0,062	0,76 ± 0,036	0,67 ± 0,042
L.KOLJENO_Dx	m	1-3;2-3	-2,33 ± 0,553	-2,25 ± 0,471	-3,20 ± 0,309
L.KOLJENO_Dy	m	1-3;2-3	0,44 ± 0,034	0,42 ± 0,016	0,37 ± 0,023
L.GLEŽANJ_Dx	m	1-3;2-3	-2,34 ± 0,566	-2,27 ± 0,476	-3,22 ± 0,235
L.GLEŽANJ_Dy	m	1-3;2-3	0,030 ± 0,010	0,03 ± 0,014	0,01 ± 0,018

L.STOPALO_Dx	m	1-3;2-3	-2,45 ± 0,570	-2,39 ± 0,474	-3,33 ± 0,229
C.T.T._Dx	m	1-3;2-3	-2,42 ± 0,558	-2,35 ± 0,502	-3,15 ± 0,321
D.STOPALO_Vy	m/s	1-3;2-3	-4,97 ± 0,406	-5,05 ± 1,175	-3,01 ± 1,861
L.STOPALO_Vy	m/s	1-3;2-3	-4,43 ± 0,413	-4,31 ± 1,077	-2,62 ± 1,564
R.FOOT_Az	m/s ²	1-3;2-3	-15,93 ± 8,329	-10,14 ± 10,022	4,99 ± 11,917
ATLAS_Ay	m/s ²	1-3;2-3	-1,10 ± 7,284	-3,25 ± 12,932	43,91 ± 27,402
VERTEX_Ay	m/s ²	1-3;2-3	-8,76 ± 12,940	-11,27 ± 12,858	27,08 ± 18,202
D.KOLJENO_Dy	m	1-3	0,42 ± 0,034	0,38 ± 0,006	0,35 ± 0,035
L.ZAPESŠĆE_Vz	m/s	1-2;1-3	-0,22 ± 1,736	2,02 ± 1,094	1,61 ± 0,654
D.STOPALO_Ax	m/s ²	1-3	176,84 ± 49,763	123,22 ± 41,026	71,09 ± 72,118
D.RAME_Ay	m/s ²	1-3	-12,57 ± 14,013	21,26 ± 17,983	48,59 ± 1,078
L.RAME_Ay	m/s ²	1-3	-8,16 ± 19,243	10,82 ± 20,376	68,73 ± 37,547

U saskocima s dva okreta oko uzdužne osi, stopala desne noge po osi x nalaze se na -2,39 m, a u saskocima s tri okreta na -3,33 m od pritke. Gležanj lijevog stopala nalazi se na -2,27 m, a desnog stopala na -2,25 m od pritke u saskocima s dva, dok se u saskocima s tri okreta lijevi gležanj nalazi na -3,22 m, a desni gležanj na -3,21 m. Kao stopala i gležanj, razlika je i u položaju koljena. U saskocima s dva okreta koljena se nalaze na udaljenosti od pritke -2,25 m, a u saskocima s tri okreta -3,20 m lijevo i -3,21 m desno koljeno. Desni kuk u saskocima s dva okreta udaljen je -2,19 m od pritke, lijevi -2,18 m, a u saskocima s tri okreta oba kuka udaljena su -3,05 m, po osi x . Centar težišta tijela u saskocima s dva okreta udaljen je -2,35 m, a u saskocima s tri okreta -3,15 m od pritke po osi x . Kukovi u trenutku doskoka razlikuju se i po visini u odnosu na strunjaču. U saskocima s dva okreta desni kuk nalazi se na 0,75 m visine, lijevi kuk na 0,76 m, a u saskocima s tri okreta oba kuka su na visini od 0,67 m. U saskocima s dva okreta lijevo koljeno nalazi se na visini od 0,42 m, a u saskocima s tri okreta koljeno je na visini od 0,37 m od strunjače za doskok. Razlika je zabilježena i u visini lijevoga gležnja, u saskocima s dva okreta na 0,03 m, a u saskocima s tri okreta 0,01 m. Što se tiče brzina, razlika je zabilježena samo u stopalima. U saskocima s dva okreta vertikalna brzina prema dolje u desnom stopalu je 5,05 m/s, a u lijevom stopalu 4,31 m/s, dok je u saskocima s tri okreta vertikalna brzina prema dolje u desnom stopalu 3,01 m/s, a u lijevom stopalu 2,62 m/s. Ubrzanje je pokazalo razlike u desnom stopalu po osi z pa je tako u saskocima s dva okreta zabilježeno ubrzanje od -10,14 m/s², a u saskocima s tri okreta ubrzanje od 4,99 m/s². Po osi y postoje razlike u ubrzanju glave. U saskocima s dva okreta atlas ima ubrzanje -3,25 m/s², a vertex -11,27 m/s². U saskocima s tri okreta oko uzdužne osi ubrzanje atlasa je 43,91 m/s², a ubrzanje vertexa 27,08 m/s².

Osim što su u saskocima s tri okreta gimnastičari postigli veću maksimalnu visinu, rezultati su pokazali i da je udaljenost centra težišta tijela od pritke u trenutku doskoka, tj. kontakta stopala sa strunjačom za doskok značajno veća (grafički prikaz 47). Razlika u udaljenosti između saskoka s dva i tri okreta je čak 80,13 cm. Za saskoke s tri okreta oko uzdužne osi doskoci su bili udaljeniji od preče, ali su izašli iz područja koje referentni okvir precizno pokriva pa podaci uključuju i određenu grešku.

Grafički prikaz 47. *Udaljenost centra težišta tijela od preče u trenutku doskoka*



5.4. OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA I PERSPEKTIVE

Činjenica da se istraživanje provelo na vrhunskom uzorku gimnastičara koji su izvodili neke od najkompleksnijih saskoka na preči je prednost, ali selekcioniranje vrhunskih sportaša i zahtjevnih elemenata u uzorak ujedno predstavlja i ograničenje istraživanja po pitanju veličine uzorka. To se posebno odnosi na saskok *Fedorchenko*, koji je vrlo mali broj gimnastičara u svijetu sposobno izvesti u standardnim natjecateljskim uvjetima, a pogotovo nakon zahtjevne vježbe koja prethodi saskoku. Ipak, na turniru Svjetskog Challenge kupa 2016. godine u Osijeku, dva gimnastičara ukupno pet puta uspješno su izvela ovaj saskok te su svi ti saskoci analizirani.

Posljedica snimanja u natjecateljskim uvjetima je da se referentni okvir za kalibraciju prostora nije mogao snimiti u svim pozicijama koje bi pokrile cjelokupno kretanje pa se neke pozicije nisu mogle u potpunosti interpretirati jer podaci uključuju i određenu grešku. To se prvenstveno odnosi na najudaljenije segmente tijela kada se gimnastičar nalazi iza pritke u pripremnom velekovrtljaju, maksimalnoj visini leta te u trenutku doskoka. Osim nemogućnosti postavljanja referentnog okvira, zbog natjecateljskih uvjeta nije bilo mogućnosti za postavljanje treće kamere u preporučenu poziciju koja bi omogućila precizniju digitalizaciju. Iz tog razloga digitalizacija se radila na temelju video zapisa s dvije kamere. Za daljnja istraživanja prijedlog je da se koristi tri ili više kamera zbog manje mogućnosti greške prilikom digitalizacije.

U ovom istraživanju nisu svi gimnastičari koji su ušli u uzorak ispitanika u dvostrukom pruženom salto natrag saskoku izvodili rotacije oko uzdužne osi u istu stranu. Iz tog razloga, iniciranje rotacije oko uzdužne osi nije se interpretiralo na razini grupe saskoka već na primjeru jednog gimnastičara koji je izvodio saskok s tri okreta oko uzdužne osi. Također, pri interpretaciji određenih varijabli poput prostornih pozicija referentnih točaka treba uzeti u obzir dimenzionalnost gimnastičara jer su u različitim grupama saskoka prema broju okreta oko uzdužne osi saskoke izvodili gimnastičari različite dimenzionalnosti (gimnastičari koji su izvodili saskoke s tri okreta oko uzdužne osi ujedno su i najniži gimnastičari iz uzorka).

Na temelju dobivenih podataka, ovaj rad je dao detaljan uvid u kinematiku saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s različitim količinama rotacija oko uzdužne osi. Ipak, treba uzeti u obzir da analizirane kinematičke varijable nisu jedine koje utječu na izvedbu analiziranih saskoka te bi za potpuno razumijevanje biomehanike saskoka trebalo dodati i varijable koje se odnose na kinetiku. Za precizno izračunavanje biomehanike pokreta, što podrazumijeva postavljanje mjernih uređaja na gimnastčara i preču, potrebna je invazivna metoda mjerenja koja se iz tog razloga ne može provesti na natjecanju, tako da je prijedlog za buduća istraživanja zbog veće preciznosti i uključivanja svih biomehaničkih parametara koji utječu na izvedbu saskoka, ovakvo istraživanje ponoviti na većem uzorku u laboratorijskim uvjetima uz primjenu mjernih uređaja koji će uz kinematiku obuhvatiti i kinetiku pokreta.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi kinematičku uvjetovanost izvedbe saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s različitim količinama rotacija oko uzdužne osi te utvrditi razlikuju li se i u kojim varijablama saskoci prema kriteriju broja okreta oko uzdužne osi. Istraživanje se provelo u trenažnim i natjecateljskim uvjetima, a uključivalo je tri različita saskoka s preče. Jedan od ta tri saskoka je i dvostruki pruženi salto natrag s tri okreta oko uzdužne osi – *Fedorchenko*, najkompleksniji i najteži saskok u smislu dvostrukih pruženih salta natrag s rotacijama oko uzdužne osi, koji se rijetko izvodi na natjecanjima. Osim ovog saskoka, analizirani su i dvostruki pruženi salto natrag saskokci s jednim i dva okreta oko uzdužne osi.

Istraživanje je potvrdilo postavljene istraživačke hipoteze jer rezultati pokazuju da izvedbu različite količine rotacija oko uzdužne osi karakterizira specifičan odnos biomehaničkih varijabli i parametara koji definiraju trajektoriju leta te iniciranje i kontrolu rotacija oko poprečne i uzdužne osi gimnastičara. Istraživanjem je utvrđeno da se grupe saskoka, klasificirane temeljem kriterija broja rotacija oko uzdužne osi, razlikuju po parametrima unutar pojedinih varijabli. S obzirom da je tehnika izvedbe saskoka s jednim u odnosu na dva i tri okreta oko uzdužne osi znatno različita, u ovom istraživanju naglasak je stavljen na razlike između saskoka s dva i tri okreta oko uzdužne osi te na saskok *Fedorchenko*, koji je do sada istražen u dva rada samo kao *case study*²².

Analiza se provela kroz tri pozicije pripremnog velekovrtljaja, u trenutku puštanja pritke te u trenutku kontakta stopala s podlogom pri doskoku. Iz navedenih pozicija ukupno 128 varijabli je statistički obrađeno, a značajne razlike u parametrima unutar pojedinih varijabli te razlike između grupa saskoka pokazale su se u ukupno 74 varijable. Varijable su razlikovale grupe saskoka s jednim i dva okreta oko uzdužne osi u pet određenih pozicija tijela ukupno 14 puta, s dva i tri okreta 60 puta, a s jednim i tri okreta 84 puta.

²² *Case study* – eng., Istraživanje slučaja; Istraživanje koje se provodi na jednom ispitaniku

Rezultati ukazuju da je pri izvedbi saskoka dvostrukog pruženog salta natrag s tri okreta oko uzdužne osi u odnosu na ostale analizirane grupe saskoka, najviše razlika evidentirano u poziciji centra težišta tijela iznad pritke tijekom pripremnog velekovrtljaja za saskok. Za saskoke s tri okreta u ovoj poziciji, kut u ramenima je znatno veći u odnosu na kut u kukovima, dok su u saskocima s dva okreta kutovi približno jednakih vrijednosti, tj. kut u ramenima je približno jednak kutu u kukovima. U ovoj poziciji ističe se i veća vertikalna brzina koljena prema dolje u saskocima s dva okreta u odnosu na saskoke s tri okreta. U trenutku puštanja pritke, centar težišta tijela u svim saskocima nalazi se nekoliko centimetara iznad horizontale pritke te je postignuta veća vertikalna i horizontalna (horizontalna nije statistički značajna) brzina centra težišta tijela u saskocima s tri okreta oko uzdužne osi u odnosu na ostale saskoke. Osim brzine centra težišta tijela, u trenutku puštanja pritke, pokazale su se razlike i u veličini kuta u ramenom zglobu, tj. veći kut u ramenom zglobu zabilježen je pri izvedbi saskoka s tri okreta u odnosu na ostale saskoke. Uslijed postignutih biomehaničkih parametara tijekom pripremnog velekovrtljaja i puštanja pritke, daljina leta je također pokazala značajne razlike. U trenutku kontakta stopala s podlogom kod saskoka s tri okreta oko uzdužne osi, evidentirana je 80 cm veća udaljenost centra težišta tijela od pritke u odnosu na saskoke s dva te 73 cm u odnosu na saskoke s jednim okretom oko uzdužne osi. Na to je utjecala i evidentno veća (iako ne i statistički značajna) maksimalna visina centra težišta tijela u fazi leta za saskoke s tri okreta oko uzdužne osi u odnosu na ostale saskoke. Uslijed navedenih parametara i trajanje faze leta bilo je najduže u saskocima s tri okreta oko uzdužne osi, ali nije statistički značajno.

Znanstveni doprinos ovog istraživanja je spoznaja da sigurnu i uspješnu izvedbu saskoka s preče dvostrukog pruženog salta natrag s tri okreta oko uzdužne osi uvjetuje značajno povećanje vrijednosti parametara više biomehaničkih varijabli u odnosu na saskoke s jednim ili dva okreta, koji se međusobno i u odnosu na saskoke s tri okreta razlikuju u manje varijabli te u manjem omjeru.

Iako još uvijek nije sveprisutna u trenažnom procesu vrhunskih gimnastičara, važnost biomehaničkog modeliranja pokreta tijekom učenja izvođenja elemenata je vrlo bitna i može biti od velike pomoći za uspješno planiranje, implementaciju i kontrolu procesa učenja elemenata u gimnastici (Kolar, Samardžija Pavletić i Veličković, 2015). Drugim riječima, potrebno je rezultate dobivene znanstvenim istraživanjem na relevantnim uzorcima prezentirati

i u smislu praktične primjene, implementirati znanstvene spoznaje u trenažni proces kako bi gimnastičari lakše i sigurnije ostvarili napredak. To se pogotovo odnosi na najkompleksnije elemente u FIG Bodovnom pravilniku.

Praktična primjenjivost ovog istraživanja je upravo u smislu ukazivanja na određene biomehaničke parametre prilikom učenja velekovrtljaja za dvostruki pruženi salto natrag saskok kako bi se unaprijed pripremili uvjeti za uspješnu nadogradnju saskoka dvostrukog pruženog salta natrag dodavanjem jednog, dva, a potom i tri okreta oko uzdužne osi. Tijekom procesa učenja moderne tehnike velekovrtljaja za saskok dvostrukog pruženog salta natrag, treneri bi trebali obratiti pažnju u određenim pozicijama pripremnog velekovrtljaja na postizanje vrijednosti biomehaničkih parametara koji su u ovom istraživanju pokazali da omogućuju postizanje optimalne brzine, visine i trajanja faze leta kako bi se uspješno i sigurno izvele različite količine rotacija oko uzdužne osi.

Osim pomoći u trenažnom procesu, ovo istraživanje ukazuje na potrebu razmatranja težinske vrijednosti saskoka *Fedorchenko*. Trenutno tendencija rasta većeg broja biomehaničkih parametara nije u skladu s rastom težinske vrijednosti ovog elementa s obzirom da težinske vrijednosti elemenata rastu u jednakom omjeru za sve dvostruke pružene salto natrag saskoke s okretima oko uzdužne osi. Potrebno je razmotriti da se saskoku *Fedorchenko* dodijeli veća težinska vrijednost u FIG Bodovnom pravilniku. Još jedan argument za povećanje težinske vrijednosti saskoka *Fedorchenko* je i spoznaja da uspješna izvedba ovog elementa zahtijeva postizanje vrlo sličnih kinematičkih parametara kao i izvedba trostrukih salto natrag saskoka te se sastoji od ukupno pet okreta oko dvije osi (uzdužne i poprečne), a saskok trostruki sklonjeni salto natrag bez i trostruki grčeni salto natrag s jednim okretom oko uzdužne osi trenutno imaju veću težinsku vrijednost u FIG Bodovnom pravilniku.

7. LITERATURA

- Abdel-Aziz, Y.I. i Karara, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in Close-range photogrammetry. *ASP Symposium on Close Range Photogrammetry*. Fals Church, Va.: American Society of Photogrammetry.
- APAS (2016). *Ariel Performance Analysis System User's Manual*. Ariel Dynamics, inc.
- Arampatzis, A. i Brüggemann, G.-P. (1999). Mechanical energetic processes during the giant swing exercise before dismounts and flight elements on the high bar and the uneven parallel bars. *Journal of Biomechanics*, 32(8), 811-820.
- Bauer, W.L. (1983). Swinging as a way of increasing the mechanical energy in gymnastic maneuvers. *Biomechanics VIII-B*. Champaign, IL: Human Kinetics, 801-806.
- Brown, E.W., Weise, M.J., Espinoza, D., Wisner, D.M., Learman, J., Wilson, D.J. i Witten, W.A. (1996). Attenuation of ground reaction forces in salto dismounts from the balance beam. U *14th International Symposium on Biomechanics in Sports*. Abrantes, J.M.C.S. (Ur.). Funchal, Madeira, Portugal, str. 336-338.
- Brüggemann, G.-P. (1983). Kinematics and kinetics of the backward somersault take-off from the floor. *Biomechanics VIII-B*. Champaign, IL: Human Kinetics, 793-800.
- Brüggemann, G.-P. (1984). Biomechanical analysis of selected vaults on the longhorse. *Science in Gymnastics*, 9-24.
- Brüggemann, G.-P., Cheetham, P., Alp, Y. i Arampatzis, D. (1994). Approach to a biomechanical profile of dismounts and release-regrasp skills of the high bar. *Journal of Applied Biomechanics*, 10(3), 291-312.
- Chen, C.K. i Liu, Y. (2000). The kinematic analysis of giant swing and dismount of double salto backward stretched with 720° turns on horizontal bar. U *Proceedings of the 18th Symposium of the International Society of Biomechanics in sports*. Hong, Y., Johns, D.P., Sanders, R. (Ur.). Hong Kong, China, str. 255-260.
- Čuk, I. (1993). Kinematic analysis of Gaylord I. U *Biomechanics in Gymnastics: Conference Proceedings*. Brüggemann, G.P., Rühl, J.K. (Ur.). Cologne, Köln: Bundesinstitut für Sportwissenschaft, str. 39-48.

- Čuk, I. (1994). Some differences between Kovacs and Gaylord saltos on high bar. U *Proceedings of the 12th Symposium of the International Society of Biomechanics in sports*. Barabás, A., Fábián, G. (Ur.). Budapest: Hungarian University of Physical Education, str. 255-260.
- Čuk, I. (1995). Kolman and Pegan saltos on the high bar. U *Proceedings of 13th International Symposium on Biomechanics and Sports*. Bauer, T. (Ur.). Thunder Bay: International society of biomechanics in sports, str. 118-122.
- Čuk, I. (1996). *Development and analysis of new element: cast to salto forward tucked on parallel bars*. (Doktorski rad, Sveučilište u Ljubljani) Ljubljana: Fakulteta za šport Sveučilišta u Ljubljani.
- Čuk, I., Atiković, A. i Tabaković, M. (2009). Tkachev salto on high bar. *Science of Gymnastics Journal*, 1(1), 5-13.
- Čuk, I., Držaj, S. i Karacsony, I. (2010). Triple salto backward tucked from rings (a case study). *Kinesiologica Slovenica*, 16(3), 23-32.
- Čuk, I. i Piletič, S. (1995). Some differences between different types of Tkachevs on the high bar. U *Proceedings of the International Conference in Bratislava, Slovakia: Physical education and sports of children and youth*. Komadel, L (Ur.). Bratislava: Slovak Scientific Society for Physical Education and Sports: Faculty of Physical Education and Sports, str. 139-141.
- Dainis, A. (1979). Cinematographic analysis of the handspring vault. *Research Quarterly*, 50(3), 341-349.
- Drenk, V. (1994). Photogrammetric evaluation procedure for pannable and tiltable cameras of variable focus length. U *Proceedings of 12th International Symposium on Biomechanics in Sports*. Barabás, A., Fábián, G. (Ur.). Budapest-Siofok, Hungary, str. 27-30.
- Farana, R., Uchytel, J., Zahradnik, D., Jandacka, D. i Vaverka, F. (2014). Differences in the key kinematic parameters of difficult handspring and Tsukahara vaults performed by elite male gymnasts. *Science of Gymnastics Journal*, 6(2), 53-61.
- Fédération Internationale de Gymnastique (2018), Dostupno na <http://www.fig-gymnastics.com/site/#>
- FIG Apparatus Norms (2017). *Fédération Internationale de Gymnastique*. Horizontal bar.

- FIG Code of Points – men's artistic gymnastics (2017), January 2018 version. *Fédération Internationale de Gymnastique*.
- Gasch, R. (1920). *Handbuch des gesamten Turnwesens, tel 1 und 2*. Leipzig-Wien.
- Geiblinger, H., McLaughlin, P.A. i Morrison, W.E. (1995). Landing kinematics of horizontal bar dismounts. U *Proceedings of 13th International Symposium on Biomechanics in Sports*. Bauer, T. (Ur.). Ontario, Canada, str. 132-136.
- Gervais, P. i Dunn, J. (2003). The double back salto dismount from the parallel bars. *Sports Biomechanics*, 2(1), 85-101.
- Gervais, P., i Tally, F. (1993). The beat swing and mechanical descriptors of three horizontal bar release-regrasp skills. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(1), 66-83.
- Gotze, A. i Uhr, J. (1994). *Mond Salto – Die glosen Erfinder*. Gesamtherstellung: Druckerei & Verlag Steinmeier, Nordlingen, str. 259.
- Grigore, V., Gavojeda, A.M. i Potop, V. (2015). Analysis on biomechanical characteristics of dismounts in salto backward stretched landings, in balance beam event. U *Proceedings of 4th International Congress of Physical Education, Sport and Kinetotherapy*. Stanescu, M., Paunescu, M. (Ur.). Bucharest, Romania, str. 125-130.
- Hay, J., Wilson, B., Dapena, J. i Woodworth, G. (1977). A computation of technique to determine the angular momentum of a human body. *Journal Biomechanics*. 10(4), 269-277.
- Heinen, T., Jeraj, D., Vinken, P.M., Knieps, K., Velentzas, K. i Richter, H. (2011). What it takes to do the double Jaeger on the high bar? *Science of Gymnastics Journal*, 3(3), 7-18.
- Hiley, M.J., Jackson, M.I. i Yeadon, M.R. (2015). Optimal technique for maximal forward rotating vaults in men's gymnastics. *Human Movement Science*, 42, 117-131.
- Hiley, M.J. i Yeadon, M.R. (2003a). Optimum technique for generating angular momentum in accelerated backward giant circles prior to a dismount. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(2), 119-130.
- Hiley, M.J. i Yeadon, M.R. (2003b). The margin for error when releasing the high bar for dismounts. *Journal of Biomechanics*, 36(3), 313-319.

- Hiley, M.J. i Yeadon, M.R. (2005). Maximal dismounts from high bar. *Journal of Biomechanics*, 38(11), 2221-2227.
- Hiley, M.J. i Yeadon, M.R. (2012). Achieving consistent performance in a complex whole body movement: the Tkatchev on high bar. *Human Movement Science*, 31(4), 834-843.
- Hraski, Ž. (1992). Kinematics in different overgrip giant swings. U *Proceedings of 1st International Conference of Biomechanics in Gymnastics*, Brüggemann, G.-P., Rühl, J.K. (Ur.). Cologne, str. 15-26.
- Hraski, Ž. (2000). *Konstrukcija i validacija biomehaničkog modela salta natrag*. (Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu) Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Huchez, A., Haering, D., Holvoet, P., Barbier, F. i Begon, M. (2016). Differences between expert and novice gymnasts performance of a counter movement forward in flight on uneven bars. *Science of Gymnastics Journal*, 8(1), 31-41.
- Irwin, G. i Kerwin, D. G. (2008). Musculoskeletal work preceding the Tkatchev on uneven bars. U *Proceedings of 26th International Conference on Biomechanics in Sports*, Kwon, Y.-H., Shim, J., Shim, J.K., Shin, I.-S. (Ur.). Seoul, Korea, str. 191-194.
- Jajčević, Z. (2010). *Povijest športa i tjelovježbe*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Karácsony, I. i Čuk, I. (2015). *Horizontal Bar (methods, ideas, curiosities, history)*. Brezovica pri Ljubljani: Ivan Čuk.
- Kerwin, D., Irwin, G. i Exell, T. (2007). Outward and inward Tkachevs on uneven parallel bars. U *Proceedings of 25th International Symposium on Biomechanics in Sports*, Menzel, H.-J., Chagas, M.H. (Ur.). Ouro Preto, Brazil, str. 427-430.
- Kerwin, D. G., Yeadon, M. R. i Harwood, M. J. (1993). High bar release in triple somersault dismounts. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(4), 279-286.
- Kerwin, D.G., Yeadon, M.R. i Lee, S.C. (1990). Body configuration in multiple somersault high bar dismounts. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6(2), 47-156.
- Knoll, K. (2001). The kinematic dynamic structure of effective giant swings backward prior to difficult dismounts and flight elements on horizontal bar and uneven bars. U

- Proceedings of 19th International Symposium on Biomechanics in Sports*, Blackwell, J.R., Sanders, R.H. (Ur.), str. 19-22.
- Knoll, K., Drenk, V. i Krug, J. (1996). Dynamometric measuring procedures for horizontal bar and uneven bars. U *Proceedings of 14th International Symposium on Biomechanics in Sports*, Abrantes, J.M.C.S. (Ur.). Funchal, Madeira, Portugal, str. 177-180.
- Kolar, E., Samardžija Pavletič, M. i Veličković, S. (2015). Importance of biomechanical modelling for technical preparation of a gymnast. U *2nd International scientific congress organized by Slovenian gymnastics federation*, Portorož, Slovenija, str. 9-30.
- Kwon, Y.H., Fortney, V.L. i Shin, I.S. (1990). 3-D Analysis of Yurchenko vaults performed by female gymnasts during the 1988 Seoul Olympic Games. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6(2), 157-176.
- Manning, M.L., Irwin, G., Gittoes, M.J. i Kerwin, D.G. (2011). Influence of longswing technique on the kinematics and key release parameters of the straddle Tkachev on uneven bars. *Sports Biomechanics*, 10(3), 161-173.
- McLaughlin T.M., Dillman C.J. i Lardner, T.J. (1977). Biomechanical analysis with cubic spline functions. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 48(3), 569-582.
- Milčić, L., Živčić Marković, K., Lanc, D. (2017). Influence of dismounts from balance beam on difficulty value of routine in senior category on European Championship in Bern 2016. U *Proceedings of the 8th International Scientific Conference on Kinesiology*, Milanović, D., Sporiš, G., Šalaj, S. i Škegro, D. (Ur.). Opatija, Croatia, str. 388-391.
- Mkaouer, B., Jemni, M., Amara, S., Chaabene, H. i Tabka, Z. (2013). Kinematic and kinetic analysis of two gymnastics acrobatic series to performing the backward stretched somersault. *Journal of Human Kinetics*, 37, 17-26.
- Možnik, M. i Hraski, Ž. (2014). Kinematic efficiency of the „Moznik“ element performance. U *7th International Scientific Conference on Kinesiology*. Milanović, D. i Sporiš, G. (Ur.), Opatija: Faculty of Kinesiology University of Zagreb, Croatia, str. 177-180.
- Možnik, M., Hraski Ž. i Hraski, M. (2013). Visina, težina i dob vrhunskih gimnastičara 2007. i 2011. godine. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 28(1), 14-23.
- Nakasone, M. (2015). Elements development on horizontal bar in men`s artistic gymnastics in Japan literature. *Science of Gymnastics Journal*, 7(3), 95-106.

- Ninxiang, Z., Mingxin, G., Lejun, W. i Jiangbo, W. (2012). A kinematic analysis of Yan Mingyong's landing from rings after the backward giant swing tuck of 2-circle back flip and 360° turn. *Systems and Informatics (ICSAI), 2012 International Conference on*, str. 1050-1053. IEEE.
- Park, S. i Prassas, S. (1995). A comparative analysis of the triple backward and the double backward somersault on high bar. U *Proceedings of XII International Symposium on Biomechanics in Sports*. Fabian, A.B. (Ur.). Budapest: Hungarian University of Physical Education, str. 252-254.
- Prassas, S. (1995). Technique analysis of the 1992 compulsory dismount from the parallel bars. U *Proceedings of the 13th International Symposium on Biomechanics in Sports*, Bauer, T. (Ur.). Thunder Bay, Ontario, Canada, str. 160-163.
- Prassas, S., Kwon, Y.-H. i Sands, W.A. (2006). Biomechanical research in artistic gymnastics: a review. *Sports Biomechanics*, 5(2), 261-291.
- Potop, V.A., Rafal, G., Boloban, V.N. i Otsupok, A.P. (2013). Biomechanical characterization dismount from balance beam on the basis of the analysis of key elements of sports equipment. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*, 12, 58-66.
- Potop, V.A., Grad, R., Omelyanchik, O.A., Begajlo, M. i Boloban, V.N. (2014). Element nodes of sports equipment double back flip factions and double back flip hunched performed gymnast in floor exercise. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*, 7, 23-31.
- Sadowski, J., Boloban, W., Mastalerz, A. i Niznikowski, T. (2009). Velocities and joint angles during double backward stretched salto performed with stable landing and in combination with tempo salto. *Biology of Sport*, 26(1), 87-101.
- Sands, W.A., Smith, S.L., Westenburg, T.M., McNeal, J.R. i Salo, H. (2004). Kinematic and kinetic case comparison of a dangerous and superior flyaway dismount – women's uneven bars. Hubbard, M., Mehta, R., Pallis, J. (Ur.). *International Sports Engineering Association*. Sheffield: ISEA, str. 414-420.
- Sheets, A.L. i Hubbard, M. (2009). Influence of optimization constraints in uneven parallel bar dismount swing simulations. *Journal of Biomechanics*, 42(11), 1685-1691.

- Spieth, R. (1989). *Geschichte der Turngeraete*. Herausberg.
- Takei, Y. i Dunn, J.H. (1997). A “kickout” double salto backward tucked dismount from the horizontal bar performed by elite gymnasts. *Journal of Sports Sciences*, 15(4), 411-425.
- Vazzas, J. (1975). *Gimnastika*. Enciklopedija fizičke kulture 1, A-O. Zagreb: Jugoslavenski leksikografski zavod.
- Vazzas, J. i Gregorga, B. (1984). *Razvoj telovadnega orodja*. Begunje: Elan.
- Winter, D.A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Sons, str. 45.
- Yang, H., Ma, G., Mao, D., Dang, L. i Shen, P. (1995). A comprehensive study on the straight body dismount with 3 rotations on the horizontal bar. U *Proceedings of 13th International Symposium on Biomechanics in Sports*, Bauer, T. (Ur.).Thunder Bay, Ontario, str. 164-168.
- Yeadon, M.R. (1986). The biomechanics of twisting somersaults. U *Proceedings of the North American Conference on Biomechanics*, Montreal: Canadian Society for Biomechanics, str. 33-34.
- Yeadon, M.R. (1990a). The simulation of aerial movement—I. The determination of orientation angles from film data. *Journal of Biomechanics*, 23(1), 59-66.
- Yeadon, M.R. (1990b). The simulation of aerial movement—II. A mathematical inertia model of the human body. *Journal of Biomechanics*, 23(1), 67-74.
- Yeadon, M.R. (1990c). The simulation of aerial movement—III. The determination of the angular momentum of the human body. *Journal of Biomechanics*, 23(1), 75-83.
- Yeadon, M.R. (1993a). The biomechanics of twisting somersaults Part I: Rigid body motions. *Journal of Sports Sciences*, 11(3), 187-198.
- Yeadon, M.R. (1993b). The biomechanics of twisting somersaults Part II: Contact twist. *Journal of Sports Sciences*, 11(3), 199-208.
- Yeadon, M.R. (1993c). The biomechanics of twisting somersaults Part III: Aerial twist. *Journal of Sports Sciences*, 11(3), 209-218.
- Yeadon, M.R. (1993d). The biomechanics of twisting somersaults Part IV: Aerial twist. *Journal of Sports Sciences*, 11(3), 219-225.

- Yeadon, M.R. (1994). Twisting techniques used in dismounts from the rings. *Journal of Applied Biomechanics*, 10(2), 178-188.
- Yeadon, M.R. (1997). Twisting double somersault high bar dismount. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(1), 76-87.
- Yeadon, M.R. (1998). Computer simulation in sports biomechanics. U *Proceedings of 16th International Symposium on Biomechanics in Sports*, Riehle, H.J., Vieten, M.M. (Ur.). Konstanz, Germany, str. 309-318.
- Yeadon, M.R. (1999). Learning how to twist fast U *Proceedings of 17th International Symposium on Biomechanics in Sports-Acrobatics*, Perth, Western Australia, str. 37-47.
- Yeadon, M.R., Atha, J. i Hales, F. D. (1990). The simulation of aerial movement—IV. A computer simulation model. *Journal of Biomechanics*, 23(1), 85-89.
- Yeadon, M.R. i Hiley, M.J. (2000). The mechanics of the backward giant circle on the high bar. *Human Movement Science*, 19(2), 153-173.
- Yeadon, M.R. i Kerwin, D.G. (1999). Contributions of twisting techniques used in backward somersaults with one twist. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(2), 152-165.
- Yeadon, M.R., Lee, S-C. i Kerwin, D.G. (1990). Twisting techniques used in high bar dismounts. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6(2), 139-146.
- Zaciorski, V.M., Aurin, A.S. i Selujanov, V.N. (1981). *Biomehanika dvigitelnoga aparata človeka*. Moskva: Fizkultura i sport.
- Zaciorski, V.M. i Selujanov, V.N. (1983). The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body. *Biomechanics VIII-B*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1152-1159.
- Zhou, J.H. (2013). Kinematical analysis of dismount of double salto backwards stretched with 2/1 twists. *Applied Mechanics and Materials*, 312, 210-214.
- Živčić Marković, K. i Krističević, T. (2016). *Osnove sportske gimnastike*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Živčić, K. (2000). *Biomehaničko vrednovanje vježbi za izvedbu premeta naprijed*. (Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu) Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

ŽIVOTOPIS AUTORA

Marijo Možnik rođen je 18. siječnja 1987. godine u Zagrebu, gdje živi i danas.

U Zagrebu je završio osnovnu školu, osnovnu glazbenu školu za instrument violinu i srednju školu - III. Gimnaziju, opći smjer. 2005. godine upisuje Kineziološki fakultet u Zagrebu koji završava 2011. godine i stječe naziv magistar kineziologije. Tijekom studija dobio je Rektorovu nagradu 2009. godine za znanstveni rad pod nazivom *Kinematička uvjetovanost efikasnosti izvedbe elementa „Moznik“* te Dekanovu nagradu 2009. i 2010. godine za najboljeg studenta s prosjekom ocjena 5,0. 2010. godine upisuje preddiplomski stručni studij na Visokoj školi za sportski menadžment Aspira koji završava 2013. godine i stječe naziv stručni prvostupnik sportskog menadžmenta. Iste godine upisuje specijalistički diplomski studij sportskog menadžmenta koji završava 2015. godine i stječe naziv stručni specijalist sportskog menadžmenta. Poslijediplomski doktorski studij kineziologije na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu upisuje 2011. godine.

Gimnastiku je počeo trenirati sa 6 godina u Zagrebačkom tjelovježbenom društvu „Hrvatski sokol“. Do 17. godine trenirao je višeboj nakon čega se specijalizirao za disciplinu preča. 2007. godine na Svjetskom prvenstvu u Stuttgartu prvi put izveo je novi gimnastički element koji je 2009. godine ušao u Bodovni pravilnik Međunarodne gimnastičke organizacije pod njegovim prezimenom. Tijekom sportske karijere ostvario je puno značajnih rezultata od kojih se ističu: ukupni pobjednik Svjetskog kupa na preči 2010., 2013. i 2014. godine, srebro na Europskom prvenstvu 2012. godine, srebro na Mediteranskim igrama 2013. godine, bronca na Svjetskom prvenstvu 2014. godine i zlato na Europskom prvenstvu 2015. godine.

Za ostvarene rezultate primio je brojne nagrade i priznanja poput Državne nagrade za sport „Franjo Bučar“ 2013. godine, Red Danice hrvatske s likom Franje Bučara 2014. godine i Nagrada Grada Zagreba 2017. godine. Proglašen je najboljim sportašem Grada Zagreba 2014. godine te je više puta nominiran za najboljeg sportaša Republike Hrvatske.

Od 2012. godine radi na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu kao znanstveni novak – asistent na predmetu Sportska gimnastika. Autor je desetak znanstvenih i stručnih radova te je aktivno sudjelovao na više domaćih i međunarodnih znanstvenih i stručnih skupova. Aktivno se služi engleskim jezikom u govoru i pismu.