

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA ŠPORT  
Kineziologija

**3D KINEMATIČNA ANALIZA IZBRANIH SKOKOVNIH  
PRVIN V UMETNOSTNEM DRSANJU**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR:

Prof. dr. Otmar Kugovnik

SOMENTOR:

Asist. Stanislav Štuhec

RECENZENT:

Izr. prof. dr. Matej Supej

AVTORICA DELA:

Daša Grm

Ljubljana, 2015

## **ZAHVALA**

*Želela bi se zahvaliti družini, ki mi ves čas stoji ob strani, me spoštuje in podpira moje odločitve. Velik hvala tudi za vaše moralne in finančne spodbude na poti študija in v moji športni karieri.*

*Posebna zahvala Aneju, ki mi nesebično pomaga, svetuje in usmerja na vsakem koraku. Hvala, ker si vedno tu, ko te potrebujem, verjameš vame in nikoli ne obupaš.*

*Zahvala gre mentorju, prof. dr. Otmarju Kugovniku, za učinkovito sodelovanje, hitro odzivnost, strokovno pomoč in koristne nasvete, ki so mi omogočili spisati diplomsko delo takšno, kot je.*

*Zahvala tudi somentorju, g. Stanislavu Štuhcu, s pomočjo katerega se mi je porodila ideja za moje diplomsko delo.*

**Ključne besede:** umetnostno drsanje, axel, biomehanska analiza

### **3D KINEMATIČNA ANALIZA IZBRANIH SKOKOVNIH PRVIN V UMETNOSTNEM DRSANJU**

#### **IZVLEČEK**

Umetnostno drsanje je tehnično zahteven šport, pri katerem pa veliko vlogo igra artistična komponenta. Elementi, ki jih drsalci izvajajo na ledu, so: skoki, piruete in koraki. Med njimi so najbolj atraktivni in fizično naporni skoki, ki na tekmovanjih prinesejo v skupnem seštevku točkovanja največ točk.

Namen diplomskega dela je primerjava skoka axel pri drsalkah različnega nivoja. V raziskavo sta bili vključeni dve drsalci Drsalnega kluba Celje, stari 22 in 13 let. Raziskava se osredotoča na primerjavo izbranih kinematičnih parametrov pri uspešno izvedenem dvojnem axlu izkušenejše drsalke in dvojnem axlu, ki je bil neuspešen, nepopolna rotacija, pri mlajši drsalci.

Za snemanje so bile uporabljene kamere DMC-FZ200. Snemale so na frekvenci 100Hz. Posnetki so se podatkovno obdelali s programom APAS. Za izvedbo 3D kinematične analize je uporabljen standardni biomehanski model.

Za uspešno izveden skok je najbolj pomembno, da ima drsalec primerno kotno hitrost, ki omogoča v času letne faze izvedbo potrebnega števila obratov ali, da ima v zraku dovolj časa za izvedbo potrebnega števila obratov s kotno hitrostjo, ki jo ima. Za večjo kotno hitrost pa mora drsalec optimirati vztrajnostni moment v letni fazi.

Rezultati so pokazali, da ima mlajša drsalka, ki ni uspešno naredila dvojnega axla, isti čas letne faze, ampak manjšo kotno hitrost ramenske in kolčne osi. Primerjava kotnih hitrosti ramenske in kolčne osi pri obeh drsalkah je pokazala, da so posledično kotne hitrosti starejše drsalke bolj usklajene, zato ima manjši vztrajnostni moment in večjo kotno hitrost celotnega telesa. Prav tako ima višje vrednosti hitrosti kolkov, ramen in zapestij. Očitno je doseganje večje kotne hitrosti z vzpostavljanjem primerno velike vrtilne količine pri odskoku in minimiziranje vztrajnostnega momenta ključ do uspešno izvedenega axla z več obrati.

**Keywords:** figure skating, Axel, biomechanic analysis

### **3D KINEMATIC ANALYSIS OF CHOSEN JUMPING ELEMENTS IN FIGURE SKATING**

#### **ABSTRACT**

Figure skating is a technically difficult sport, where the artistic component plays a big part. On ice skaters use an array of elements, which consist of steps, spins and jumps. The latter are the most interesting and technically difficult elements and bring the highest amount of points when scoring.

The purpose of the thesis is to compare the execution of an Axel jump between two skaters of different skill levels. The skaters included in this experiment are both members of the Skating Club Celje and are 22 and 13 years old. The focus of the experiment is to compare the selected kinematic parameters when successfully executing a double Axel by the better skilled skater and compare the result with the unsuccessful execution of the same jump by the younger skater, due to incomplete rotation.

For recording purposes we used the DMCFZ200 cameras at 100Hz frequencies. The recorded video was later edited with the program APAS. The 3D kinematic analysis was made with the standard biomechanical models.

The key for the successful execution of the jump is the skater's appropriate angular velocity, which allows the skater to make enough rotations in the flight phase of the jump or to have enough time in the air that the number of rotations is sufficient with the acquired angular velocity. For a higher angular velocity the skater needs to optimize the moment of inertia in a flight phase.

The results showed that the unsuccessful execution of the Axel, by the younger skater had the same time spent in the air, but a lower angular velocity of both, the shoulder and hip axis. The results also indicated that the angular velocities of the shoulder and hip axis with the older skater were consequently more optimally synced and she had a lower moment of inertia and higher angular velocity of the whole body. Later on, the data showed that she also had a higher velocity of her hips, shoulders, and wrists. It seems that the higher angular velocity is achieved by getting the optimal angular momentum during the takeoff phase and minimizing the moment of inertia and that is the key to a successfully executed Axel jump with multiple rotations.

## KAZALO

1	UVOD.....	7
1.1	PREDMET, PROBLEM, NAMEN DELA .....	12
1.1.1	TERMINOLOGIJA V UMETNOSTNEM DRSANJU .....	13
1.1.2	DOSEDANJE RAZISKAVE .....	15
1.1.3	NAMEN NALOGE .....	23
	CILJI IN HIPOTEZE .....	23
2	METODE DELA .....	25
2.1	PREIZKUŠANCI .....	25
2.2	PRIPOMOČKI IN POSTOPEK .....	25
3	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	28
3.1	H01 - večja kotna hitrost ramenske in kolčne osi omogoča izvedbo axla z več obrati.....	29
3.2	H02 - večja vertikalna hitrost težišča telesa omogoča izvedbo zahtevnejših prvin. ....	32
3.3	H03 - daljši kot je čas trajanja letne faze, več obratov je drsalka sposobna narediti v zraku.....	34
3.4	H04 - daljši čas minimalne razlike med kotno hitrostjo kolčne in ramenske osi v zraku omogoča izvedbo axla z več obrati. ....	35
3.5	H05 - daljši čas majhne kotne hitrosti ramenske osi v zaključku letne faze omogoča zanesljivejši doskok. ....	36
3.6	H06 – večja hitrost desne rame in desnega kolka (ob predpostavki, da je odzivna noga leva) ob koncu faze odskoka omogoča izvedbo axla z več obrati. ..	36
4	SKLEP .....	40
5	VIRI.....	41

Slika 1. Prve drsalke (Stanovnik, 1997).....	8
Slika 2. Notranji rob leve drsalke. ....	9
Slika 3. Zunanji rob leve drsalke.....	9
Slika 4. Ukrivljenost rezila. ....	10
Slika 5. Položaj izpeljave. ....	11
Slika 6. Faze skoka axel (Albert in Miller, 1996). ....	15
Slika 7. Umerjanje prostora. ....	26
Slika 8. Segmenti in antropometrične točke drsalke. ....	26
Slika 9. Vrtilna količina (Albert in Miller, 1996). ....	29
Slika 10. Kotne hitrosti kolčne osi pri Daši in Lari in njune razlike. ....	30
Slika 11. Kotne hitrosti ramenske osi pri Daši in Lari in njune razlike. ....	31
Slika 12. Hitrost in pot težišča pri Lari in Daši. ....	33
Slika 13. Kotne hitrosti ramenske in kolčne osi pri Daši in Lari. ....	35
Slika 14. 3D hitrosti desnega (dkolk) in levega (lkolk) kolka. ....	37
Slika 15. 3D hitrosti leve (lrama) in desne (drama) rame. ....	38
Slika 16. 3D hitrosti levega (lzapestje) in desnega (dzapestje) zapestja. ....	39

# 1 UVOD

Vsak je že kdaj po televiziji spremljal tekmovanje ali predstavo v umetnostnem drsanju. Ko gledamo ta šport, vidimo lahko drsenje po ledu, gibanje, ki je podobno gibanju balerin, skoke, ki dajejo občutek, da so narejeni brez truda, zelo hitro vrtenje v piruetah. Vse zanimive položaje in predstavo, lahko primerjamo s pravo igro. To združijo v enoten program, ki je harmoničen, vsak element je z elegantnimi gibi povezan z drugim. Med tem morajo paziti na izraznost in osebni stil, ki mora odgovarjati glasbi, na katero drsa. Izgleda preprosto. Zamislite si, da vse to izvajajo na ledeni ploskvi, na rezilu drsalke, ki je široko samo 3 do 4mm, ima dva robova, večino časa pa drsajo samo po enem robu drsalke. Drsanje je zelo estetski šport. Veliko mladih se odloča zanj ravno zaradi tega, saj izgleda lepo, elegantno, poleg tega pa so otroci na tekmovanjih oblečeni v prikupne kostume. Za tem elegantnim gibanjem pa se skriva ogromno treninga tako na ledu kot izven njega.

Da so piruete čim hitrejše, je potrebno veliko moči, saj je za premagovanje centrifugalne sile, ki se pri vrtenju ustvari, zelo pomembna moč in vzdržljivost adduktorjev. Prav tako je v skokih, saj se mora obdržati čim bolj tesna rotacija v zraku. Za višino skoka je ključnega pomena ekstenzija kolena, roke morajo ostati elegantne tudi na koncu programa, ko so drsalci že utrujeni. Zato morajo mišice rok biti zelo vzdržljive. Ob vsem tem pa mora drsalec izgledati, kot da dela z lahkoto in brez pretiranega truda.

Skozi dolga leta se je tehnika drsanja izpopolnjevala, prav tako tudi oprema, ki so jo uporabljali. Drsalci so z razvojem tehnike in tehnologije vedno bolj fizično pripravljene in sposobni premagovati vedno večje fizične napore. Če želi biti drsalec konkurenčen na najvišjem nivoju, mora biti fizično močan, kondicijsko pripravljen, dovolj gibljiv in mentalno stabilen.

Za šport se ljudje v veliki meri odločajo zaradi zdravega načina življenja, družbe, privlačnosti športa, zapolnitve prostega časa in šele kasneje zaradi želje po uspehu. Pri drsanju se v veliki meri razvija ravnotežje, obenem pa koordinacija, saj neprestano deluje podzavestna koordinacija med očmi, ravnotežnim centrom notranjega ušesa in mišičnim delom. Drsanje utruje veliko mišičnih skupin, zato je to tudi zdrav šport. Izboljšuje držo telesa, saj se neprestano napenjajo in krepijo tudi mišice hrbta (Stanovnik, 1997).

Umetnostno drsanje je šport, pri katerem igra zelo veliko vlogo artistična komponenta. Na tekmovanjih je v veliki meri ocenjevanje subjektivno. Poznamo dva tipa sojenja. T.i. primerjalni sistem "6.0" in od leta 2003 "ISU Judging System" (Sedej, 2012), ki so ga uvedli po škandalu na zimskih Olimpijskih igrah v Salt Lake Cityju leto prej. Z njim so hoteli omejiti subjektivno ocenjevanje, ki se ga nikakor ne da popolnoma izključiti, saj drsanja ni mogoče meriti s fizikalnimi enotami. Rezultat je po novem sodniškem sistemu podan v točkah in zato lahko drsalci od leta 2003 dalje postavljajo rekorde (Bratec Lesjak, 2012). Skupni rezultat je seštevek tehnične vrednosti in izvedbe programa. Število možnih doseženih točk pri tehnični vrednosti ni omejeno navzgor (Sedej, 2012), saj se umetnostno drsanje ves čas razvija in so programi vedno bolj tehnično zahtevni in temu primerno drsalci na tekmovanjih dobijo

več točk. Čeprav je tehnična vrednost posameznih skokov, piruet in korakov (to spada pod oceno tehnične vrednosti) že vnaprej določena, a tudi tu obstaja subjektivna ocena, saj sodniki prav vsak element označijo z oceno od -3, kar pomeni padec, do +3, kar pomeni, da se elementa ne da izvesti lepše. Na koncu to pomembno vpliva na oceno tehnične vrednosti. Hitre piruete, visoki, hitri in zanesljivi skoki, izvorni in izrazni koraki si seveda zaslužijo višjo oceno, kot povprečno ali celo slabo izvedeni elementi. Drugi del ocene, izvedba programa, je omejen s 50 točkami. Je seštevek ocen petih veščin izvedbe. To so: drsenje, povezovanje prvin, učinkovito izvajanje programa, koreografija in zgradba programa ter predstavitev glasbe (Sedej, 2012).

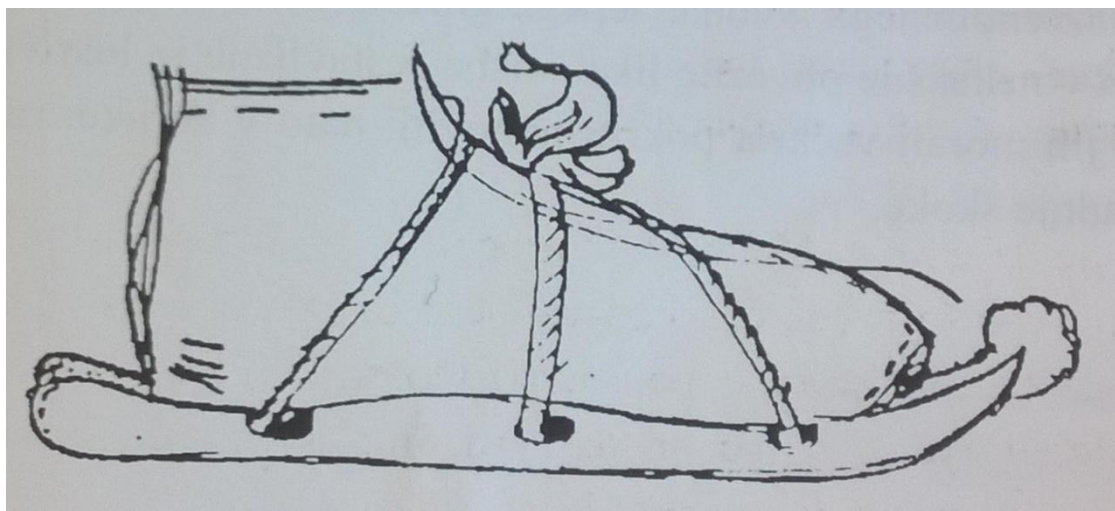
Tabela 1.

Ocenjevanje izvedbe kakovosti prvin (Sedej, 2012)

Zapis	-3	-2	-1	Osnovna vrednost	<90°	+1	+2	+3
2A	-1,5	-1,0	-0,5	<b>3,3</b>	<b>2,3</b>	+0,5	+1,0	+1,5

Tabela 1 prikazuje ocenjevanje izvedbe kakovosti dvojnega axla. Osnovno vrednost drsalec dobi, če sodniki skok ocenijo z 0. Če ima skok napako ali je izveden dobro (hitro, visoko...), sodniki ocenijo skok z negativno ali pozitivno oceno. Rezultat ocene je drugačen od osnovne vrednosti. Če skok nima popolne rotacije in drsalec pristane med 180 ° in 90 ° do celega skoka, dobi 70 % osnovne vrednosti. Če drsalec doskoči pri 180 ° ali manj, do popolne izvedbe, se oceni skok z vrednostjo enojnega.

Natančno kdaj, kje in kdo je prvi začel drsati, ne bo nikoli znano. Prvi znaki drsanja segajo v čas pred 1600 leti nekje v Skandinaviji, arheološke iznajdbe pa pričajo, da se je morda pojavilo že veliko prej. Prve drsalke so bile narejene iz dolgih kosti konja, na noge pa so jih pričvrstili z usnjenimi jermeni. Po ledu so se poganjali s palicami (Shulman, 2002) ali z eno nogo, s tem da so imeli drsalko privezano na drugo nogo (Stanovnik, 1997). Beseda drsanje ("skate" eng.) izvira iz staronemške besede schake, kar pomeni nožna kost. Podobni besedi za to sta tudi v staroangleščini ("schatch") in flemščini ("schaat").



Slika 1. Prve drsalke (Stanovnik, 1997).



Slika 1 prikazuje skico prvih drsalk, narejenih iz dolgih kosti konja, ki so si jih na čevlje pričvrstili z usnjenimi jermeni.

Takšne drsalke so uporabljali dolgo, vse dokler niso v 14. stoletju kosti zamenjali za povoščen les. Veliko zaslug za razvoj drsanja gre na Nizozemsko. Nizozemci naj bi po nesreči iznašli ozka kovinska rezila. Legenda pravi, da je popotnik na Nizozemskem prosil kovača, da mu naredi par kovinskih rezil. Kovač ga je narobe razumel in je naredil par kovinskih rezil z ozko površino za drsanje. Novo, ozko rezilo je drsalcem dalo več stabilnosti in okretnosti (Shulman, 2002), zaradi zobcev na sprednjem delu rezila se jim ni bilo več potrebno premikati s palico (Stanovnik, 1997). Novica se je hitro razširila po vsej Evropi in tudi Ameriki (Shulman, 2002). Angleži so v 50. letih rezilo ukrivili, povišali peto in dodali brazdo na predelu rezila, po katerem se drsalec pelje. Tako je omogočeno vzvratno drsanje (Fortin, Harrington in Langenbeck, 1997). Skandinavci in Nizozemci so najprej tekmovali v drsanju po zamrznjenih kanalih in rekah, Britanci pa so se začeli organizirati in rekreacijsko pristopili k drsanju ter kmalu ustanovili prvi klub v Edinburgu leta 1742. Začeli so uporabljati notranji in zunanji rob drsalke. Rezilo je izpopolnil Henry Boswell v 19. stoletju. Tehnika se je še naprej razvijala in izboljševala, k temu pa je pripomoglo odkritje permanentno pritrjenega rezila na čevljev. Poleg novosti na drsalkah je bilo izjemno odkritje umetno narejena ledena ploskev. To je po dolgih letih poskusov uspelo leta 1876. Kmalu za tem se je umetno narejen led pojavljal po celem svetu. Umetnostno drsanje se je na olimpijskih igrah prvič pojavilo leta 1908.

Drsanje je bilo v tem času v polnem zamahu. Že takrat je šport postajal takšen, kot ga poznamo danes. Axel Paulsen je prvi, ki je leta 1882 izvedel skok axel. Ulrich Salchow je leta 1910 prvi skočil skok Salchow. Sonja Henie je močno povečala interes za ta šport, Dick Button pa je drsanje povzpел na povsem drug nivo (Shulman, 2002).

Rezilo drsalke je danes široko 3-4 mm, po njem pa se peljemo po notranjem ali zunanjem robu. Če ga pogledamo od strani, je po celotni dolžini, od prstov do pete, rahlo ukrivljeno. Različne drsalne sposobnosti, kot so odskok pri posameznem skoku, zahtevajo od drsalca, da je sposoben ohraniti zunanji ali notranji rob rezila in se peljati po njem (Zatsiorsky, 2000).



Slika 2. Notranji rob leve drsalke.



Slika 3. Zunanji rob leve drsalke.

Slika 2 prikazuje vožnjo po notranjem robu leve drsalke.

Slika 3 prikazuje vožnjo po zunanjem robu leve drsalke



Slika 4. Ukrivljenost rezila.

Slika 4 prikazuje rezilo, ki je ukrivljeno od zobcev na sprednjem delu, do zadnjega dela. To zagotavlja večjo mobilnost drsalke na ledu.

Odtis na ledu, ki ga pušča rezilo, ko se drsalec pelje po robu, je vedno ukrivljen, tako da bi v podaljšku ustvaril krog (Petkevich, 1988).

Sprednji del rezila ima izrezljane zobce. V povprečju jih je nekje 6 - 7, ta del je dolg približno 7 mm. Uporablja se jih pri različnih skokih, ko drsalec zobce namenoma zapiči v led in se z njimi odrine v skok (Zatsiorsky, 2000). Pomembno vlogo imajo tudi v umetniškem smislu, saj jih drsalci veliko uporabljajo tudi med koraki. Brez njih bi bila otežena izvedba tudi drugih elementov drsanja, kot so piruete in doskoki.

Umetnostni drsalci na ledu izvajajo tri glavne prvine, ki se na tekmovanjih tudi posamezno ocenjujejo, to so: koraki, piruete in skoki. Pri drsalcih, ki tekmujejo v posameznih disciplinah, so najbolj spektakularni skoki (Zatsiorsky, 2000), zato tudi odločitev, da se v diplomskem delu posvetim skokom.

Najprej je nastal skok, ki ga imenujemo preskočena trojka – kadet (Stanovnik, 1997). Danes ta skok na tekmovanjih nima vrednosti, saj drsalec v zraku naredi le pol obrata. Poznamo šest različnih skokovnih prvin, ki jih tekmovalci izvajajo na tekmovanjih. Ti skoki so: salchow, rittberger (loop), toe-loop, lutz, flip in axel. Biomehanika skokov v zraku je popolnoma enaka, razlikujejo se samo v fazi odskoka. Te razlike lahko opišemo s:

1. smerjo, v katero je drsalec obrnjen med drsenjem pred odskokom,
2. nogo, na kateri drsalec stoji,
3. robom drsalke, na katerem drsalec stoji,
4. delom drsalke (rob ali zobci), ki jih drsalec uporabi za odskok (Zatsiorsky, 2000).

Najpogosteje se drsalci desničarji v letni fazi skoka vrtijo v nasprotni smeri urinega kazalca. Zato bom v nadaljevanju skoke opisovala s predpostavko, da se drsalec, ki skok izvaja, vrti v nasprotni smeri urinega kazalca, saj je od tega odvisno, s katere noge bo odskočil in na katero doskočil. V tem primeru je doskok iz vsakega skoka na desno nogo v položaj izpeljave. Ta položaj je zaradi amortizacije po skoku na rahlo pokrčeni desni nogi, leva noga je iztegnjena nazaj na približno  $90^\circ$ . Roki sta odročeni za boljšo stabilnost. Poznamo pa tudi izjeme, ki skoke izvajajo v drugo smer in tudi doskočijo na levo nogo.



Slika 5. Položaj izpeljave.

Slika 5 prikazuje položaj izpeljave, v katerega doskoči drsalec po vsakem skoku.

Toe-loop, lutz in flip so skoki z zapikom z zobci proste noge. Izvedejo se z obeh nog. Po eni nogi se pred odskokom drsalec pelje po robu rezila, z drugo nogo pa tik pred odskokom zapiči v led.

Pri toe loopu se drsalec pelje nazaj na zunanjem robu desne noge in pred odskokom zapiči v led zobce na levi drsalki. Pri flipu in lutzu se drsalec pelje na levi nogi nazaj in zapiči z zobci na desni drsalki. Edina razlika med tema dvema skokoma je ta, da se flip izvede z notranjega roba leve drsalke, lutz pa z zunanjega roba leve drsalke.

Salchow, rittberger in axel so skoki, ki se izvajajo z roba drsalke. Drsalec se odrine z notranjega roba, ko se pelje nazaj (salchow), zunanjega roba, ko se pelje nazaj (rittberger) ali zunanjega roba, ko se pelje naprej (axel). Pri salchowu drsalec stoji na levi nogi, rittbergerju na desni, pri axlu pa prav tako na levi nogi.

Vsi navedeni skoki se lahko izvedejo z različno stopnjo težavnosti, kar določa število obratov v zraku. Najlažji so enojni skoki, pri katerih se v zraku drsalec zavrti za  $360^\circ$  ali naredi  $1 \times 2\pi$  obrata. Izjema je enojni axel, saj mora drsalec za popolno rotacijo v zraku opraviti še dodatnih  $0,5 \times 2\pi$  obrata, ker se skok začne z odskokom naprej in ne nazaj, kot vsi ostali (Zatsiorsky, 2000).

Skoki so različnih težavnosti, četudi imajo v zraku enako število obratov. Če predpostavimo, da pri vseh skokih naredimo v zraku  $3 \times 2\pi$  obrate (pri axlu  $3,5 \times 2\pi$ ), potem gredo skoki od najlažjega k najtežjemu po naslednjem vrstnem redu: toe-loop, salchow, rittberger, flip, lutz, axel. Temu primerno so na tekmovanjih tudi ocenjeni. Trojni toe-loop ima najnižjo vrednost in sicer 4,10 točke, medtem ko ima trojni axel vrednost kar 8,50 točke.

## 1.1 PREDMET, PROBLEM, NAMEN DELA

Umetnostno drsanje je zelo specifičen šport. Noben drug šport ne zajema elemente, kot jih ima drsanje. Vsak skok ima v fazi odskoka specifične karakteristike in se razlikuje od drugega. Pri vseh pa obvelja enako vprašanje: kakšne pogoje mora skok izpolnjevati, da bo uspešno izveden.

Za uspešno izpeljan skok sta vsaj delno najbolj odločujoči komponenti čas v zraku in kotna hitrost okoli longitudinalne osi drsalca. Z drugimi besedami, drsalec mora imeti primerno kotno hitrost, da izvede zahtevano število obratov v času, ki ga ima na razpolago v zraku ali obratno. Drsalec mora imeti dovolj časa v zraku, da dokonča zahtevano število obratov s proizvedeno kotno hitrostjo (Zatsiorsky, 2000). Obstajajo tri pomembne komponente, da drsalec najde pravo razmerje med časom v zraku in kotno hitrostjo za uspešno izveden skok:

1. vzpostavljanje primerne sile podlage pred odskokom,
2. vzpostavljanje primerne navora med pripravo na skok in med odskokom ter
3. kontrola vztrajnostnega momenta med letno fazo (King, 2005).

Rezultat tega je vzpostavljanje primerne vertikalne hitrosti, vrtilne količine in kontrola vztrajnostnega momenta. To so pomembne spremenljivke, ki določajo uspešnost skoka pri umetnostnem drsanju (Zatsiorsky, 2000). Pomembna je tudi horizontalna hitrost, s katero drsalec začne skok. Četudi bo drsalec imel izpolnjene vse pogoje za skok in bo naredil napako v tehniki doskoka, je lahko skok neuspešen.

Najbolj specifičen med vsemi skoki je axel. Je edini skok, pri katerem se pred odskokom pelješ naprej (Zatsiorsky, 2000). Izvede se tako, da drsalec stoji na desni nogi, po kateri se pelje nazaj po zunanjem robu rezila in prestopi na levo nogo, po kateri se pelje naprej po zunanjem robu rezila (Albert in Miller, 1996). Med tem ko se drsalec pelje naprej, desna noga, ki je prosta, naredi zamah nazaj, spremeni smer in se začne približevati odrivni nogi, jo obide in skupaj z rokama zamahne naprej, navzgor, točno v trenutku odziva, ki se izvede z leve noge. V zraku se drsalec vrti okoli desne noge, naredi določeno število obratov in doskoči na desno nogo nazaj, na zunanji rob rezila (Albert in Miller, 1996) v položaj izpeljave.

Dinamični model skokov je zaradi problematike aktualne merilne tehnologije težko diktirati, zato je bistveno bolj prisotno kinematično modeliranje.

### 1.1.1 TERMINOLOGIJA V UMETNOSTNEM DRSANJU

Z razvojem tehnike drsanja v preteklosti, se je razvijala tudi oprema, na kateri so drsali nekoč oz. drsamo danes. Začeli so se pojavljati različni skoki in piruete, s tem pa se je razvijala tudi terminologija, kakršno uporabljamo še danes. Postopoma so nastajali skoki po imenih: axel, salchow, rittberger, toe-loop, flip in lutz. Zelo znana je pirueta billman. Ime je dobila po švicarski tekmovalki Denise Billman, ki jo je izvedla prva.

#### - AXEL

Prvi, ki je izvedel skok axel in je po njemu tudi imenovan, je Axel Rudolf Paulsen. Bil je norveški umetnostni in hitrostni drsalec. Axel je prvič v javnosti izvedel leta 1882 na svetovnem prvenstvu na Dunaju ("Axel jump", 2015).

Umetnostno drsanje se neprestano razvija. Tako se je postopoma povečevalo tudi število obratov v zraku, ki so jih drsalci izvajali v posameznem skoku. Dick Button (ZDA) je bil prvi drsalec, ki je enojnemu axlu dodal še en obrat in tako je uspešno izvedel dvojni axel leta 1948 na olimpijskih igrah. Njegov trener Gus Lussi je tehniko axla še popravil in razvil današnji stil. Prva ženska, ki je uspešno izvedla dvojni axel, pa je bila Carol Heiss, leta 1953. Natančno 30 let kasneje, ko se je prvič izvedel dvojni axel, je na svetovnem prvenstvu bil izpeljan trojni axel. Izvedel ga je Vern Taylor iz Kanade. Prva ženska, ki je uspešno izvedla trojni axel, pa je Midori Ito (JPN). To ji je uspelo leta 1988. Od takrat je trojni axel uspešno izvedlo veliko število moških drsalcev in 5 žensk ("Axel jump", 2015).

Za popolno rotacijo enojnega axla je potrebno narediti  $1,5 \times 2\pi$  obrata. Axel je mejni skok tako za trenerje, ki ga morajo učiti, kot za tekmovalce, ki ga izvajajo, saj iz fizičnega, tehničnega in psihološkega vidika število obratov v tem skoku zanesljivo določa nivo drsalcev (Albert in Miller, 1996). S tem ko ima axel dodanih pol obrata v zraku in ker je težje nadzorovati rob rezila, po katerem se pelješ, naprej kot nazaj, je ta skok znan kot najtežji med vsemi (Zatsiorsky, 2000). To je tudi razlog, da so drsalci rabili veliko časa, da so enojnemu axlu dodali en obrat in kasneje še enega, medtem ko so že nekaj časa uspešno izvajali vse druge dvojne in trojne skoke.

Za analizo tehnike skoka, s katero drsalec proizvede vertikalni sunek sile, je smiselno skok razdeliti v več faz. Pri skoku axel bi fazo odskoka lahko razdelili v tri različne faze:

- drsenje,
- prehod in
- "pivotiranje" (Albert in Miller, 1996).

Za boljšo predstavbo o pomenu faz, trajanju in kaj se z drsalcem takrat dogaja, jih bom v nadaljevanju na kratko opisala. Vsi podatki pod to točko se nanašajo na izvajanje dvojnega axla pri ženskah v študiji Alberta in Millerja (1996).

- FAZA DRSENJA – definira prosto drsenje pred skokom na zunanjem robu rezila naprej. Faza drsenja se začne pb. 0,56 sekunde pred zadnjim kontaktom odrivne noge z ledom pri odzivu (Albert in Miller, 1996). Začetek je definiran od trenutka, ko se drsalec z desne noge, po kateri se pelje nazaj, obrne in prestopi na levo, odzivno nogo naprej. Na začetku te faze so ramena in boki v paralelnem položaju. Levi bok, ki je nad levo, odzivno nogo je pomaknjen bolj naprej kot desni. Najprej ramenska os rahlo prehití kolčno, slednja pa ramensko v nadaljevanju dohaja. Roki, ki sta prosti okončini sta na začetku te faze priročeni in rahlo potisnjeni naprej od bokov. Kasneje zamahneta nazaj, spremenita smer in se premikata naprej proti smeri skoka. Faza drsenja traja pb. 0,28s in potem gre drsalec v fazo prehoda.
- FAZA PREHODA – definira pot od začetka dviga centralnega težišča telesa (v nadaljevanju CTT) pa do trenutka, ko se drsalec začne nagibati proti sprednjemu delu drsalke (Zatsiorsky, 2000). Začne se, ko se drsalec začne pomikati navzgor, kar pomeni, da drsalec začne proizvajati pozitivno vertikalno hitrost, kar pa se zgodi nekje med 0,27 do 0,25s pred zadnjim kontaktom z ledom. V tem času se oporna noga začne iztegovati, kar pa ne pomeni, da se to dogaja skozi celotno fazo. Pogosto pride do tega, da je kotna hitrost kolena 0 ali pa pride celo do rahlega upogiba kolena. V začetku te faze so imeli merjeni drsalci v večini ramena rahlo zasukana pred boki. Med nadaljnjim potekom faze so boki dohiteli in prehiteli rame. Ramena so nadaljevala smer gibanja in so kontrolirala rotacijo telesa preko longitudinalne osi. Med tem časom je notranje zapestje (levo) bližje središču telesa, kot zunanje (Albert in Miller, 1996). V tej fazi drsalci velikokrat podrsajo po ledu pred skokom. Podrs je del odskoka, pri katerem se rob drsalke opraska po površju leda, obenem pa nadaljuje smer gibanja. Je rotacija drsalke na ledu za 90° v smeri rotacije. Natančen začetek tega pojava je težko določiti. Ta faza se konča, ko se drsalka začne nagibati proti zobcem in traja pb. 0,18s.

Zadnja faza je

- FAZA "PIVOTIRANJA", ki definira čas od začetka nagiba proti sprednjemu delu drsalke (zobcem) do zadnjega kontakta z ledom. Ker je rezilo ukrivljene oblike, lahko drsalec s plantarno fleksijo gležnja dvigne srednji del rezila nad ledeno ploskev in se počasi približuje zobcem. To mu omogoča istočasno rotacijo celotnega telesa, ko je še na ledu. Ta faza se začne pri dvojnem axlu nekje med 0,07 in 0,10s pred zadnjim kontaktom z ledom (Albert in Miller, 1996).



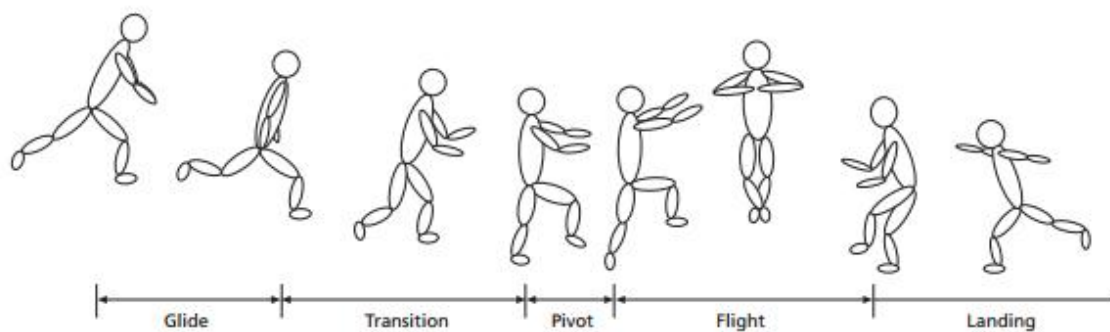


Fig. 15.5 Schematic of the takeoff phases of the Axel jump as defined by Albert and Miller (1996). (Adapted from King 1997.)

Slika 6. Faze skoka axel (Albert in Miller, 1996).

Slika 6 prikazuje vse tri faze odskoka (fazo drsenja, prehoda in "pivotiranja"), letno fazo in fazo doskoka.

V diplomskem delu smo se osredotočili na skok axel in sicer naslednje faze:

- polovica druge faze odskoka (faze prehoda),
- zadnja faza odskoka (faza pivotiranja), saj imamo pri naših posnetkih rezultate samo od 0,19 s pred zadnjim kontaktom z ledom,
- letna faza in
- začetna faza doskoka.

### 1.1.2 DOSEDANJE RAZISKAVE

Umetnostno drsanje je šport, pri katerem se športnik giblje v tridimenzionalnem prostoru in zajema oporne in brezoporne faze. Vsi elementi, ki jih drsalci izvajajo na ledu, so tehnično definirani in imajo svojo vrednost. Zaradi tega je smotrna biomehanska obdelava določenih elementov. Ne smemo pa pozabiti, da veliko vlogo pri vseh elementih igra tudi umetniški vtis. Današnja tehnologija merjenja omogoča zajem kinematičnih in dinamičnih parametrov v tridimenzionalnem fizikalnem prostoru tako natančno, da je mogoče spremljati tehnično učinkovitost izvedbe in preko določenega števila merjenja vrhunsko izvedenih elementov, raziskave začenjajo posegati v umetniški vtis. Ravno zaradi tega je na tem področju le malo objavljenih biomehanskih študij. Obstaja pa študija, ki združuje oboje: biomehansko analizo in sodniško oceno posameznih elementov.

Lockwood, Gervais in McCreary (2006) so za raziskavo prosili 10 drsalcev državnega nivoja, da so na ledu izvedli dvojne in trojne skoke. Pri tem pa so bili pozorni, da so izpeljali skok čim bolj brezhibno. Analizirali so samo tiste skoke, ki so bili tehnično pravilno narejeni, so imeli popolno rotacijo in so bili izpeljani na eno nogo. Posnetke so pokazali dvainštiridesetim prizanim sodnikom, da so tehnično ocenili izpeljane skoke. Sodnike so prosili, da ocenijo le izpeljavo iz skoka, glede na kriterije, ki so bili naprej določeni s pravilnikom. Izvedba skokov pomembno vpliva na končni rezultat na tekmovanjih. Poleg tega se izgled skokov in posledična ocena, sodnikom močno vtisne v spomin, kar vpliva tudi na vsesplošno oceno izvedbe programa.

Moderna biomehanska merilna tehnologija daje možnost, da posežemo preko vidne zaznave in zagotavlja empirične rezultate športnikove predstave. Raziskovalci so pri atletih iskali korelacijo med biomehanskimi rezultati in športnikovimi lastnimi občutki. Ugotovili so, da se mehanska energija, vložena v delo, sklada z notranjimi občutki atleta. Prav tako so ugotovili, da je visoka korelacija med subjektivno oceno in biomehanskimi spremenljivkami povezanimi s tekaškimi poškodbami (Lockwood idr., 2006).

V raziskavi Lockwood idr. (2006) so se posvetili biomehanski izvedbi skokov in vidnim ocenjevanjem sodnikov. Skoki na ledu so bili kot na tekmovanju ocenjeni s strani sodnikov, kasneje pa primerjani z biomehansko analizo, ki predstavlja odličnost. Hoteli so ugotoviti, ali se odličen skok iz biomehanskega vidika sklada z dobrimi ocenami sodnikov. Biomehansko so opazovali tehniko izpeljave, kvaliteto roba rezila, na katero so doskočili, geometrijo tega roba in geometrijo položaja izpeljave. Sodniki so ocenjevali: izpeljavo (izgled izpeljave od začetka do konca in popolno rotacijo skoka), tehniko izpeljave ob prvem dotiku z ledom (prehod drsalca z zobcev na rob rezila, položaj izpeljave, stabilnost na doskočni nogi, izvedbo), kakovost uporabe roba pri izpeljavi (kontrola, gladkost izvedbe, zvok, hitrost), geometrijo doskočnega roba (lok doskoka, dolžino loka ob doskoku, poravnava) in geometrijo položaja telesa (akcijo doskočne noge, proste noge, izteg proste noge, trup, roki in poudarek oči ter glave). Vsako od devetnajstih kategorij so ocenili z oceno od 1 do 5, pri čemer ocena 1, pomeni slabo izvedbo, ocena 5 za zelo dobro.

Najprej so ugotovili, da so sodniki enako ocenjevali, in sicer vseh dvainštirideset. Ko so primerjali vesplošno oceno sodnikov in biomehanske rezultate, sprva niso našli statistične povezave. Zato so se odločili, da bodo izpeljavo obdelovali kot sestavo iz serije odvisnih gibov. Za primerjavo so izbrali šest ključnih biomehanskih parametrov. Ti parametri so: ravnotežje in nadzor, razlika med vertikalno hitrostjo težišča telesa, stabilnost, dolžina časa izpeljave, povezanost gibanja kolena in kolka ter geometrija položaja telesa med izpeljavo. Ko so opazovali posamezne kategorije biomehanskih spremenljivk in sodnikovih opažanj, so ugotovili, da obstajajo močna povezava med temi spremenljivkami.

Umetnostno drsanje mora imeti dobro biomehansko vsebino za uspešno izvedbo določenih elementov, obenem pa mora ugajati sodnikovim očem, saj je to ključni del ocene na tekmovanjih. Je šport, ki je zelo artističen in privlačen na pogled tako tekmovalcem, trenerjem, sodnikom in predvsem gledalcem.

Zanimivo bi bilo, če bi naredili še raziskavo o notranjih občutkih drsalcev v primerjavi z biomehanskimi rezultati.

Za nas so zanimivejše biomehanske raziskave skokov. Poskušali jih bomo klasificirati tako, da se osredotočimo na ključne fizikalne parametre, ki nam bodo pomagali pri opisu skoka axel.



Med opazovanjem leta težišča drsalca med skokom je potrebno biti pozoren izključno na težišče sistema drsalca z drsalkami (CTT). To je točka, kjer je prijemališče sile gravitacije in pri predpostavkah, da na sistem deluje le sila teže (ne pa še upor zraka) je:

1. trajektorija CTT v obliki parabole,
2. višina skoka lahko izmerjena kot razlika med najvišjo točko parabole in višino težišča CTT pri odskoku,
3. dolžina leta skoka lahko ocenjena kot razlika v vodoravni smeri med pozicijo težišča pri doskoku in odskoku.

Odrivni kot, odskočna hitrost in višina težišča ob koncu odskoka so trije parametri, ki določajo težišča ("The science of jumping and rotating", 1998).

Znanje biomehanike v športu in uporaba fizike, inženirstva ter anatomije pri človeškem gibanju je ključ do uspeha. Z razumevanje osnovne fizike pri vrtenju in rotacijah na ledu lahko pospešimo učenje skokov z več obrati (Arnold, King in Smith, 1994).

Največ biomehanskih raziskav na področju skokov v umetnostnem drsanju se osredotoča na skok axel (Albert in Miller, 1996; Aleshinsky idr., 1988 v King idr., 1994; King, Arnold in Smith, 1994).

Aleshinsky (1986, v King idr., 1994) je preučeval skoke kadet, axel, salchow, toe-loop, in flip. Pri vseh je opazoval hitrost pri odskoku, mehansko energijo, dolžino skoka in število obratov, ki so jih naredili v zraku. Opazil je, da imajo boljši drsalci večjo hitrost pri odskoku in dolžino skoka kot manj kakovostni. Ko je primerjal enojni in dvojni axel, je opazil, da se merjenci pri dvojnem pred zadnjim kontaktom z ledom bolj zavrtijo, se v skok odrinejo v bolj zaprtem položaju in so imeli večjo hitrost pri rotaciji v letni fazi (King idr., 1994).

Nekaj študij je obravnavalo trojni lutz (King idr., 2001; 2002a, v King, 2005) in štirikratni toe-loop (King idr., 2002b; 2002c; 2004, v King, 2005). Večina teh študij je deskriptivne narave. Vsebujejo biomehanske opise tehnike, ki bi naj pomagali pri izvedbi teh skokov (King, 2005).

Raziskovalci so se podali v študije primerjave drsalcev različnih nivojev kakovosti ali primerjave med različnimi vrstami skokov, da bi ugotovili, kateri je kritični faktor za uspešno izveden skok.

Na primer King idr. (1994) so primerjale enojni, dvojni in trojni axel pri drsalcih iz mladinske in članske kategorije. Opazovali so osem kinematičnih spremenljivk, in sicer: upogib kolka zamašne noge, odrivni kot, vertikalno in horizontalno hitrost, kotno hitrost, čas, ki so ga porabili, da so prišli do položaja, kjer so zgornje in spodnje ekstremitete čim bližje vzdolžni osi vrtenja (stisnjena rotacija), kot vrtenja v zraku in višino skoka. Naknadno so iz sledi na ledu izmerili še dolžino skoka, faze odskoka in dolžino ter širino podrsa, ki so ga naredili pred skokom. Pri primerjavi so ugotovili, da je dolžina faze odskoka in dolžina skoka pri trojnem axlu bistveno krajša kot pri enojnem. Vertikalna hitrost se ni bistveno spreminjala, horizontalna hitrost pri skokih z več obrati pa je bila manjša kot pri enojnem axlu. To pomeni, da je za trojni axel ključnega pomena kot odrida, ki je večji kot pri dvojnem ali enojnem. Upogib kolka je bil manjši pri trojnem axlu, ker so skok začeli v bolj zaprtem položaju. Zato je tudi

čas, ki ga potrebuje, da pride v položaj, kjer so zgornje in spodnje ekstremitete čim bližje vzdolžni osi vrtenja pri trojnem axlu krajši, kotna hitrost v zraku pa je večja.

Albert in Miller (1996) sta primerjala enojni in dvojni axel šestnajstih drsalcev. Fazo odskoka so razdelili na drsenje, prehod in pivotiranje. Opisala sta vsako fazo posebej. Horizontalna hitrost se v fazi drsenja ni spreminjala, vertikalna hitrost je bila rahlo negativna, več kot pol vrtilne količine je drsalec proizvedel že v tej fazi. V fazi prehoda je drsalec pridobival vertikalno hitrost. Vrtilna količina se je še rahlo povečevala, horizontalna hitrost pa še malo znižala. V fazi pivotiranja se drsalec nagne na zobce in s tem izgublja horizontalno hitrost, vertikalno hitrost in vrtilno količino.

King idr. (2004) pa so primerjali parametre pri trojnem in štirikratnem toe-loopom pri moških olimpijcih različnih kvalitet na olimpijskih igrah v Salt Lake Cityju leta 2002 (King, 2005).

Za izvedbo najtežjih skokov je zelo pomembna fizična pripravljenost drsalcev. Nekaj študij se je nanašalo tudi na to temo. Polensky, Kaufman, Calahan, Aleshinsky in Chan (1990, v King idr., 1994) so se posvetili povezavi med močjo in višino skokov. Ugotovili so, da je predvsem ekstenzija kolena in moč abduktorjev ramen zelo pomembna pri pridobivanju na višini skoka. Knoll in Hildebrand (1992, v King idr., 1994) sta napisala vodnik treninga moči za izvajanje trojnih in štirikratnih skokov na podlagi objavljenih biomehanskih podatkov drugih raziskav.

Raziskave, ki se nanašajo izključno na skok axel, bomo poskušali urediti tako, da jih bomo klasificirali glede na ključne fizikalne parametre axla. To so:

- vertikalna hitrost,
- horizontalna hitrost,
- vrtilna količina in
- vztrajnostni moment.

#### - HITROST

Hitrost je vektorska količina, ki delno opiše, kako se drsalec pomika na ledu. Po velikosti je razdalja, ki jo naredi v določenem času. Opisuje tudi smer, v katero se giblje. Drsalec se večino časa giblje v več kot eni smeri. Na primer pri tem, ko izvaja skok, se drsalec giblje gor, čez in okoli, kar pomeni, da se giblje s horizontalno, vertikalno in kotno hitrostjo (Boudreau, 2009), seveda tu modeliramo drsalca kot masno točko v CTT.

Ko opazujemo premikajoči se objekt, je pomembno, da ločimo horizontalno in vertikalno hitrost. To je pomembno zato, ker je sila gravitacije dominantna na drsalca v trenutku, ko zapusti led in povsem vpliva na vertikalno hitrost, medtem ko na horizontalno hitrost nima vpliva. Ko drsalec doseže najvišjo točko in je vertikalna hitrost 0, ga gravitacijska sila povleče nazaj proti zemlji ("The science of jumping and rotating", 1998).

- VERTIKALNA HITROST

Vertikalna hitrost je komponenta hitrosti, ki kaže v vertikalno smer. Z njo opisujemo kvaliteto gibanja drsalca v vertikalni smeri (Boudreau, 2009).

Da se pojavi vertikalna hitrost, mora biti prisoten dovolj velik vertikalni sunek sile podlage. Sunek sile je odvisen od velikosti sile, njene smeri in časa trajanja, torej časa pospešenega gibanja CTT drsalca gor - dol med odskokom. Pred skokom se drsalec giblje z neko horizontalno hitrostjo, medtem pa je vertikalna hitrost 0 (Zatsiorsky, 2000).

Drsalec pri skoku axel proizvede vertikalni sunek sile z iztegom leve, odrivne noge v drugi fazi (fazi prehoda). Obenem k vertikalni hitrosti pripomore s prenosom teže na sprednji del drsalke in hkratno rotacijo, ko je še na ledu (Aleshinsky, 1987, v Zatsiorsky, 2000; Albert in Miller, 1996). Za odrivni sunek sile imajo pomembno vlogo tudi proste okončine, to so prosta noga in obe roki, saj z zamahom v smeri rotacije pripomorejo 8 do 10 % k vertikalnemu sunku sile celotnega telesa (King, 2004, v King idr., 1994). Pomembno vlogo ima tudi izteg trupa (King, 2005).

Vertikalna hitrost pri skoku axel je v povprečju med 2,5 in 3,0 m/s. Razlike med hitrostmi se pojavijo zaradi različne kakovosti drsalcev in načina drsalca pri izvedbi skoka (Zatsiorsky, 2000). Ko drsalec obvlada dvojni axel ali je celo sposoben izvesti trojnega, lahko dvojni axel izvede nekoliko višje kot nekdo, ki trojnega axla ni sposoben narediti. Z višjimi skoki pridobi na tekmovanjih višje ocene. Tudi King (2004, v King, 2005) se strinja, da je vertikalna hitrost predvsem odvisna od kvalitete drsalca. Od tega je odvisna tudi višina skoka. King idr. (1994) so merili višino enojnega, dvojnega in trojnega axla pri petih moških drsalcih. V povprečju so skočili 0,67 m v višino. Eden izmed njih je izstopal. Njegova višina skoka je bila 0,78 m.

Vertikalna hitrost pri odskoku bo določala višino skoka in prav tako čas, ki ga bo drsalec preživel v zraku. Večja kot je vertikalna hitrost, dlje se bo drsalec v skoku pomikal navzgor preden bo dosegel najvišjo točko. Čas letne faze pri skoku axel, ki je odvisen od vertikalne hitrosti in razlike med CTT pri odskoku in doskoku, traja med 0,5 in 0,7 s za večino skokov (Aleshinsky 1986, v Zatsiorsky, 2000, King idr. 1994, King 1997, v Zatsiorsky, 2000). Ni nujno, da drsalec odskoči in doskoči pri isti višini CTT, zato tudi čas, ko potuje navzgor, in čas, ko potuje navzdol nista nujno enaka. Pri dvojnih in trojnih skokih drsalec več časa potuje od maksimalne višine navzdol kot pa od odskoka navzgor. Tako večino drsalcev doskoči skok z nižjim CTT kot so odskočili. (Lockwood 1996, King 1997, v Zatsiorsky, 2000). Nižji položaj pri doskoku oz. sedeči položaj je najpogostejši pri skokih z več obrati (Lockwood 1996; Richard in Henley 1996, v Zatsiorsky, 2000). Rahla zamuda pri doskoku dovoljuje, da drsalec opravi v zraku popolno rotacijo, prav tako pa se podaljša čas, ki ga drsalec preživi v zraku. To drsalec doseže z upogibom kolka in kolena doskočne noge v zraku (Lockwood 1996). Ob vsem tem pa je nujno potreben še dodaten upogib pri doskoku, ko pride drsalec v stik z ledom, da se skok amortizira (Zatsiorsky, 2000). S tem drsalec pridobi nekaj stotink sekunde v zraku. Čeprav se to ne zdi prav veliko, lahko v tem času drsalec pridobi od 10 do 20 ° rotacije, kar pa je lahko glavni faktor za uspešno izpeljan skok (King, 2005).

Zanimivo je, da se v raziskavah redko pojavljajo razlike med vertikalno hitrostjo pred enojnim, dvojnim in trojnim axlom (King 1997, v Zatsiorsky, 2000). Po navadi drsalci

ohranjajo isto vertikalno hitrost in čas v zraku za skoke z različnim številom obratov. Za izvedbo večjega števila obratov v zraku je tako ključnega pomena proizvajanje vrtilne količine in zmanjšanje vztrajnostnega momenta v zraku (Zatsiorsky, 2000).

- HORIZONTALNA HITROST

Horizontalna hitrost je vodoravna komponenta vektorske hitrosti CTT. Pove, s kakšno hitrostjo se drsalec pomika po ledu. Lahko jo merimo, ko se drsalec pomika po ledu, izvaja različne elemente, ki niso na enem mestu in v zraku, ko skače. Največkrat se meri v metrih na sekundo [m/s] (Boudreau, 2009).

Raziskave v preteklosti niso vedno pokazale natančnega časa ali pozicije CTT, pri kateri se začne horizontalna hitrost v fazi odskoka pri skoku axel zmanjševati, vendar pa je bila vedno blizu točke, kjer postane vertikalna hitrost pozitivna. To se zgodi v fazi prehoda. Zmanjšanje hitrosti je opazno tudi pri skokih, pri katerih drsalec ne podrsa po ledu. To se zgodi zato, ker je drsalka nagnjena rahlo izven smeri v katero se pelje drsalec. Redukcija horizontalne hitrosti je bila večja pri izvajanju dvojnega axla, kot pri enojnem. Pri moških se je hitrost znižala za 0,7 m/s, pri ženskah pa za 0,4 m/s (Albert in Miller, 1996).

Pri raziskavi sta Albert in Miller (1996) ugotovila, da je horizontalna hitrost pri moških med drsenjem pred skokom nekoliko večja kot pri ženskah. Moški drsalci so ohranjali podobno hitrost, ko so izvajali enojni ali dvojni axel, medtem ko so ženske pri dvojnem axlu zalet upočasnile. Aleshinsky (1987, v Albert in Miller, 1996) je primerjal hitrosti pred enojnimi in dvojnimi axli, ki so jih izvajali drsalci na Ameriškem mladinskem drsalnem kampu. Ugotovil je, da je povprečna horizontalna hitrost za moške med 6,95 m/s, medtem ko za ženske nekoliko nižja, 6,10 in 5,50 m/s. Hitrosti so merili 0,25 sekunde pred zadnjim kontaktom z ledom. Spoznali so, da obstaja povezava med nivojem kvalitete drsanja in horizontalno hitrostjo. Drsalci, ki imajo slabšo kvaliteto drsanja, imajo nižjo horizontalno hitrost, saj jim manjka zaupanja v uspešno izveden skok pri večji odskočni hitrosti.

Tik pred odskokom v axel, v fazi pivotiranja, ko se odrivna noga izteguje, se istočasno prosta noga približa stoječi, jo obide in kasneje zamahne naprej, stran od stoječe noge. Ta gib spodbudi rotacijo medenice in stoječe noge. Ob tem je ob led oprta vedno večja površina rezila, vse dokler se drsalka ne nagne naprej in premakne do zobcev (Albert in Miller, 1996). Drsalec večino časa stoji na zobcu odrivne noge, kar pomeni, da horizontalna hitrost še naprej pada (Aleshinsky 1987, v Albert in Miller, 1996; King idr. 1994).

Če bi imel drsalec veliko horizontalno hitrost in bi jo pred odskokom obdržal, opazovali pa bi iz mehanske perspektive, bi bil v veliki prednosti, če bi to hitrost znal prenesti v kinetično energijo pri odskoku. Tako bi dobil večjo vertikalno hitrost (King, Smith, Higginson, Muncasy in Scheirman, 2004).

## - VRTILNA KOLIČINA

Je vektorska količina in je produkt vztrajnostnega momenta ter kotne hitrosti telesa. Vrtilno količino mora drsalec ustvariti sam. To naredi s pritiskom na led, kar povzroči silo reakcije podlage. Ustvarjena sila mora povzročiti navor na os skozi težišče, kar pomeni, da mora biti sila podlage ekscentrična ("The science of jumping and rotating", 1998). Sunek navora povzroči vrtilno količino drsalca.

Vrtilno količino zelo dobro opiše prvi Newtonov zakon, ki se glasi tako: če telo miruje ali se giblje premo enakomerno, nanj ne deluje nobena sila ali pa je vsota vseh sil, ki delujejo nanj, enaka nič ("Newtonovi zakoni gibanja", 2015). To pomeni, da bo vrtilna količina vrtečega telesa ostala konstantna, dokler nanj ne deluje sila (Zatsiorsky, 2000). V primeru rotacije se ta sila imenuje navor (Ulaga in Smolič, 2014). Ustvari ga ekscentrična sila. Drsalci vzpostavijo navor oz. sunek navora, da dosežejo vrtilno količino na vzdolžno os. To v praksi pomeni vrtenje skozi vzdolžno os. V primerni izvedbi se ta element imenuje pirueta. Sunek navora vzpostavijo tako, da pri vходу v pirueto pritisnejo z rezilom v led, medtem ko obdržijo rob na katerem stojijo in iz katerega se bodo začeli vrteti. Navor uporabljajo tudi na koncu skoka, pred doskokom, da zaustavijo rotacijo (Boudreau, 2009).

Ker sila podlage na drsalca deluje samo, ko je drsalec v stiku z ledom, mora drsalec proizvesti vso vrtilno količino med odskokom. Pri skoku axel jo začnejo proizvajati med fazo prehoda, ko se koleno odrivne noge začne iztegovati. V tej fazi se začne CTT drsalca nagibati naprej proti prstom odrivne noge, drsalka pa se začne obračati v smer rotacije. Zaradi tega se navor rok in horizontalna sila reakcije podlage začne zmanjševati, vrtilna količina pa ostane enaka oz. se rahlo zmanjša v kasnejšem delu te faze.

Drzalci generirajo ekscentrično silo z gibanjem proste noge in rok med odskokom. To gibanje povzroči horizontalno silo reakcije podlage, ki deluje na rezilo odskočne noge. Ob tem pa reakcija sile podlage, ki jo ustvari drsalec, povzroči zunanji navor. Ta proizvede vrtilno količino okoli longitudinalne osi preko CTT drsalca. Velikost navora je odvisna od velikosti horizontalne sile reakcije podlage in momenta ramen pri tem navoru (pravokotna razdalja med linijo, kjer se proizvaja sila in osjo vrtenja). Ko prosta noga doseže maksimalen upogib, se vrtilna količina začne zmanjševati. V tem trenutku so pomembni gibi rok, ki z upogibom komolca ohranjajo pozitivni sunek navora, vendar je ta prispevek premajhen, da bi ohranil celotno vrtilno količino, zato se tik pred odskokom vseeno nekoliko zmanjša (King, 2005). Gibanje proste noge povzroči silo reakcije podlage, katere horizontalna komponenta je pravokotna na dolgo os rezila in je usmerjena proti centru položaja drsalca, v katerem je pripravljen na odziv. Ker je celotno CTT drsalca v tem položaju za drsalko odrivne noge, je sila reakcije podlage ekscentrična sila in povzroča zunanji navor na longitudinalno os preko CTT drsalca. Smer te zunanje sile je konstantna, prav tako tudi smer rotacije drsalca v letni fazi. V tem trenutku, se drsalec nagne v smer glavne osi rotacije, obrne boke naprej in začne zamah s prosto ного naprej. Ob koncu faze drsenja drsalec navadno dobi med 58 % in 100 % svoje končne vrtilne količine za let.

Ko drsalec preide v fazo prehoda, se njegova vrtilna količina še rahlo povečuje, najbolj zaradi horizontalne sile reakcije podlage, ki jo povzroča zamah proste noge. V nadaljevanju te faze pa pride do točke, ko se vrtilna količina ne povečuje več oz. celo

rahlo pada (Albert in Miller 1996). To lahko povzroči zmanjšana horizontalna sila podlage, zmanjšanje navora ali kombinacije obojega (Zatsiorsky, 2000). Ko se faza prehoda približuje koncu, je položaj drsalca bolj pokončen, odzivna noga pa se v kolenu izteguje. Zato je CTT bolj naprej oz. bližje prstom odzivne noge. Ta položaj, v povezavi s podrsom pred skokom, zmanjša navor rok in horizontalno silo reakcije podlage.

V fazi pivotiranja se vrtilna količina celotnega telesa okoli longitudinalne osi še vedno znižuje (Albert in Miller 1996). Horizontalna sila reakcije podlage se zmanjšuje najverjetneje zaradi gibanja proste noge in rok (Zatsiorsky, 2000).

Zanimivo je, da v trenutku odskoka ni statistično nobene razlike med vrtilno količino pri dvojnem ali enojnem axlu (Albert in Miller, 1996). Logična razlaga je, da se drsalci ne zanašajo na generiranje večje vrtilne količine pri axlu z več obrati, da bi pridobili večjo kotno hitrost, ki jo potrebujejo za uspešno izveden dvojni axel (Zatsiorsky, 2000).

King idr. (1994) so izmerili, da se drsalci pri trojnem axlu vrtijo 70 % hitreje kot pri enojnem axlu. Pri enojnem axlu proizvedejo kotno hitrost v povprečju 2,9 obratov na sekundo, za dvojni axel 4,3 obr/s in pri trojnem axlu kar 4,9 obr/s.

Aleshinsky (1986a, 1990, v Albert in Miller, 1996) razlaga, da je pri večjem številu obratov zelo povečana centrifugalna sila, kar zelo otežuje, da bi drsalec povlekel roke k sebi in prosto nogo v smeri osi rotacije in ohranil majhen vztrajnostni moment v letni fazi pri skokih z več obrati. Zato večina drsalcev skoke z več obrati že začne v bolj zaprtem položaju. Pomembno vlogo ima moč adduktorjev, da lahko drsalec obdrži majhen vztrajnostni moment.

Vrtilna količina je produkt vztrajnostnega momenta in kotne hitrosti. Med letom je konstantna, spreminja pa se kotna hitrost s spremembo vztrajnostnega momenta. Če se vztrajnostni moment poveča (tako, da je drsalec v bolj odprtem položaju) se bo kotna hitrost zmanjšala. Ko pa se vztrajnostni moment zmanjša (z bolj stisnjenim položajem), se bo kotna hitrost povečala (King, 2005).

## - VZTRAJNOSTNI MOMENT

Od tega, kako velika je vrtilna količina pri odskoku, je odvisna hitrost vrtenja v zraku ("The science of jumping and rotating", 1998).

Vztrajnostni moment je drsalčev upor rotaciji, ki mora biti premagan, če se hoče vrteti okoli svoje osi. Določena je z maso na splošno in lokacijo mase v relaciji z osjo vrtenja. Večja kot je masa, ki je oddaljena od osi vrtenja, večji je upor, ki ga mora drsalec premagati, da se vrti (Boudreau, 2009). Vztrajnostni moment je večji, ko je drsalec v zraku v bolj odprtem položaju, in manjši, ko je v bolj stisnjenem položaju (Arnold, idr., 1994). Zmanjša se s tem, da približa roki in prosto nogo čim bližje telesu in tako poveča hitrost rotacije. Meri se v kilogramih na kvadratni meter [ $\text{kgm}^2$ ] (Boudreau, 2009).

Vztrajnostni moment celega telesa okoli longitudinalne osi pri skoku axel, navadno doseže svoj maksimum že pred začetkom faze prehoda (Albert in Miller 1996). V fazi prehoda se počasi zmanjšuje. Zmanjševanje vztrajnostnega momenta se nadaljuje v fazi pivotiranja (Zatsiorsky, 2000).

Vrtilna količina pri enojnih in dvojnih axlih je približno enaka, vendar obstaja pomembna razlika v vztrajnostnem momentu drsalcev pri odskoku v te skoke (Albert in Miller 1996). Navadno imajo drsalci manjši vztrajnostni moment pri odskoku v skoke z več obrati, ker v zraku zavzamejo položaj, kjer so zgornje in spodnje ekstremitete čim bližje vzdolžni osi vrtenja. Zaradi tega hitreje dosežejo največjo kotno hitrost med letom (Aleshinsky 1986, v Zatsiorsky, 2000; Albert in Miller 1996). To pomeni, da zadostno rotacijo za uspešno opravljen skok z več obrati dobijo s povečanjem kotne hitrosti in zmanjšanjem vztrajnostnega momenta (Zatsiorsky, 2000).

Ko je drsalec v zraku na točki, kjer mu telesna konstitucija dovoljuje najmanjši vztrajnostni moment in je v najbolj zaprtem položaju, takrat ne more večati kotne hitrosti na račun zmanjšanja vztrajnostnega momenta. To preprečuje, da bi drsalci v zraku naredili še več obratov (King, 2005).

### **1.1.3 NAMEN NALOGE**

Namen naloge je biomehanska analiza posameznih primerov izvedbe axla. Opazovali bomo nekatere biomehanske parametre skoka v vseh treh fazah (odskoku, letu in doskoku). Parametre bomo izbirali tako, da bodo relativizirali antropometrijo posamezne drsalke, omogočali pa bodo delno kvalitativno oceno skoka s strani trenerja ali sodnika. Obravnavani parametri delno odražajo kinestetične občutke tekmovalca.

### **CILJI IN HIPOTEZE**

Glede na obravnavo literature in trenutno izkustveno raven si zastavljamo naslednje cilje:

- vzpostaviti sistem meritve, ki omogoča zajem kinematičnih parametrov gibajočega telesa v tridimenzionalnem prostoru;
- ustrezno izbrati biomehanski model človeka, na katerega apliciramo izvedene meritve;
- izbrati nekatere biomehanske parametre, ki jih lahko v največji meri relativiziramo glede na antropometrijo;
- iz analize izbranih kinematičnih parametrov ugotoviti prednosti in pomanjkljivosti ključnih faz izvedb axla na posameznih primerih in jih primerjati s splošnimi ugotovitvami iz analize aktualnih virov.

Po pregledu referenc se je pojavila dilema, kako mora drsalec izvesti odskok, da bodo v skoku zagotovljeni osnovni pogoji in bo uspešno izveden. Ključno je, da ob odskoku proizvede kar se da maksimalno vrtilno količino in optimalno vertikalno hitrost, v zraku pa optimira. Ta optimizacija se nagiba bolj proti minimizaciji vztrajnostnega momenta. Tako pridobi čas v letni fazi in se zavrti za primerno velik

kot. Po analizi literature in opisu optimalnih pogojev za izvedbo skoka bi želeli nabor izbranih kinematičnih parametrov preveriti z naslednjimi hipotezami:

H01 – večja kotna hitrost ramenske in kolčne osi omogoča izvedbo axla z več obrati,

H02 – večja vertikalna hitrost težišča telesa omogoča izvedbo zahtevnejših prvin,

H03 – daljši kot je čas trajanja letne faze, več obratov je drsalec sposoben narediti v zraku,

H04 – daljši čas minimalne razlike med kotno hitrostjo kolčne in ramenske osi v zraku omogoča izvedbo axla z več obrati,

H05 – daljši čas majhne kotne hitrosti ramenske osi v zaključku letne faze omogoča zanesljivejši doskok,

H06 – večja hitrost desne rame in desnega kolka (ob predpostavki, da je odzivna noga leva) ob koncu faze odskoka omogoča izvedbo axla z več obrati.



## **2 METODE DELA**

### **2.1 PREIZKUŠANCI**

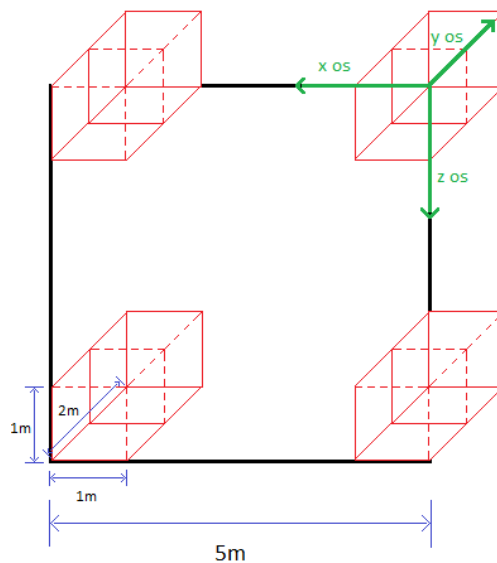
V raziskavo sta bili vključeni dve umetnostni drsalki, članici Drsalnega kluba Celje. Prva je bila v času raziskave stara 13 let. Pri OKS ni bila kategorizirana, je pa perspektivna mlada drsalka. Umetnostno drsanje aktivno trenira od 3. leta starosti. Trenutno je v najtežjem obdobju drsanja, saj mora napredovati iz dvojnih v trojne skoke (iz enojnega v dvojni axel). Na državnem prvenstvu za leto 2014 je v svoji kategoriji zasedla 3. mesto, leto kasneje se tega tekmovanja zaradi bolezni ni udeležila. V sezoni 2013/2014 je uspešno nastopala na tekmovanjih Evropskega kriterija in v seštevku treh tekem dosegla skupno 3. mesto. Je članica slovenske reprezentance in Slovenijo v svoji kategoriji zelo dobro predstavlja na mednarodnih tekmovanjih. V sezoni 2014/2015 je na mednarodnem tekmovanju Tirnavia Edea Cup dosegla 1. mesto, na tekmovanju Dragon Trophy 2. mesto in na Coppa Europa 4. mesto. Na Pokalu Slovenije je zasedla 1. mesto. Je tik pred mladinsko kategorijo, v kateri je zelo pomembno uspešno in stabilno izvajanje dvojnega axla, saj je v tej kategoriji obvezen element kratkega programa. Zaradi lažje interpretacije rezultatov jo bomo poimenovali Lara.

Druga v raziskavi je drsalka, ki je v času raziskave bila stara 22 let. Do takrat se je aktivno ukvarjala z umetnostnim drsanjem že 17 let. V sezoni 2014/2015 je iz državne kategorizacije pri OKS, zaradi dobrih rezultatov pridobila mednarodno kategorizacijo. Slovenijo predstavlja na največjih tekmovanjih že od leta 2011. Kvalitetno izvaja vse trojne skoke in dvojni axel, kar je bilo ključnega pomena za raziskavo. Je državna prvakinja v članski kategoriji od leta 2013. V sezoni 2015 je dosegla do sedaj najboljšo, 18. mesto na svetovnem prvenstvu v Šanghaju, zmagala je na mednarodnem tekmovanju Hellmut Seibt Memorial na Dunaju in zasedla 3. mesto na mednarodnem tekmovanju Mentor Nestle Torun Cup. Zaradi lažje interpretacije rezultatov jo bomo poimenovali Daša.

### **2.2 PRIPOMOČKI IN POSTOPEK**

Izvajalke skokov so bile tri drsalke, kasneje pa sta v analizo bila vključena le dva skoka dveh različnih drsalk. Skok, ki je bil izbran, se imenuje axel. Za primerjavo je bil izbran Larin, neuspešno izveden axel in Dašin uspešen axel.

Za snemanje so bile uporabljene 4 Panasonic Lumix digitalne kamere DMC-FZ200. Snemanje je potekalo na frekvenci 100 Hz. Kamere so bile postavljene med seboj pod kotom 90 °. Na ledeni ploskvi je bila določena in umerjena snemalna površina. Na led so bili zarisani zunanji robovi. Za umerjanje prostora je bila uporabljena kocka s širino 1 m, dolžino 1 m in višino 2 m, ki je bila postavljena na oglišča zarisanega območja.

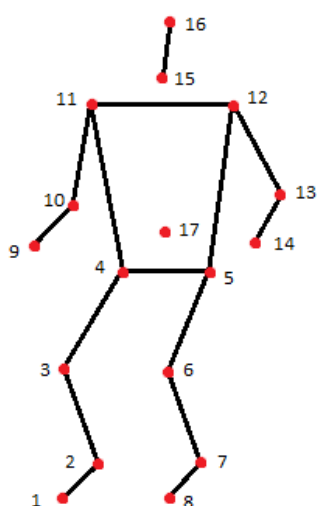


Slika 7. Umerjanje prostora.

Slika 7 prikazuje postavljanje kocke s širino 1m, dolžino 1 m in višino 2 m na oglišča umerjenega prostora.

Posnetih je bilo veliko število skokov, drsalke so izvajale pet različnih skokov. Za tem je sledila obdelava posnetkov. Podatkovno so bili obdelani s programskim paketom za 3D kinematične analize - APAS (Ariel Performance Analysis Sistem). Za izvedbo 3D kinematične analize je bil uporabljen standardni biomehanski model (Winter, 2009). Za določevanje antropometričnih točk na telesu je bil izbran 15-segmentni model tekmovalke, ki je sestavljen iz sedemnajstih antropometričnih točk.

#### Seznam antropometričnih točk



1. desni vrh stopala
2. desni gleženj
3. desno koleno
4. desni kolk
5. levi kolk
6. levo koleno
7. levi gleženj
8. levi vrh stopala
9. desno zapestje
10. desni komolec
11. desna rama
12. leva rama
13. levi komolec
14. levo zapestje
15. atlas
16. teme
17. težišče telesa

Slika 8. Segmenti in antropometrične točke drsalke.

Slika 8 prikazuje 15-segmentni model drsalke, ki je sestavljen iz sedemnajstih antropometričnih točk.

#### Seznam segmentov telesa

- 1-2 desno stopalo z drsalko
- 2-3 desna golen
- 3-4 desno stegno
- 4-5 kolčna os
- 5-6 levo stegno
- 6-7 leva golen
- 7-8 levo stopalo z drsalko
- 9-10 desna podlaket
- 10-11 desna nadlaket
- 11-12 ramenska os
- 12-13 leva nadlaket
- 13-14 leva podlaket
- 4-11 trup desno
- 5-12 trup levo
- 15-16 glava

Pri izračunu težišča stopala smo masi stopala prišteli maso drsalke.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

V diplomskem delu smo obravnavali zaključne faze odskoka, fazo leta in začetek faze doskoka pri skoku axel, saj imamo pri naših posnetkih rezultate samo od 0,19 s pred zadnjim kontaktom z ledom pa nekje do 0,93 s, kar je 0,15 s po prvem kontaktu z ledom pri doskoku.

1-19 ... zaključna faza odskoka

19-78 ... letna faza

Vsi grafi so bili zajeti, analitično obdelani in grafično prikazani v tem časovnem okviru.

Tabela 2

Čas letne faze

Lara	Daša	
19	19	zadnji kontakt odzivna noga
78	77	prvi kontakt doskočna noga
59	58	čas letne faze

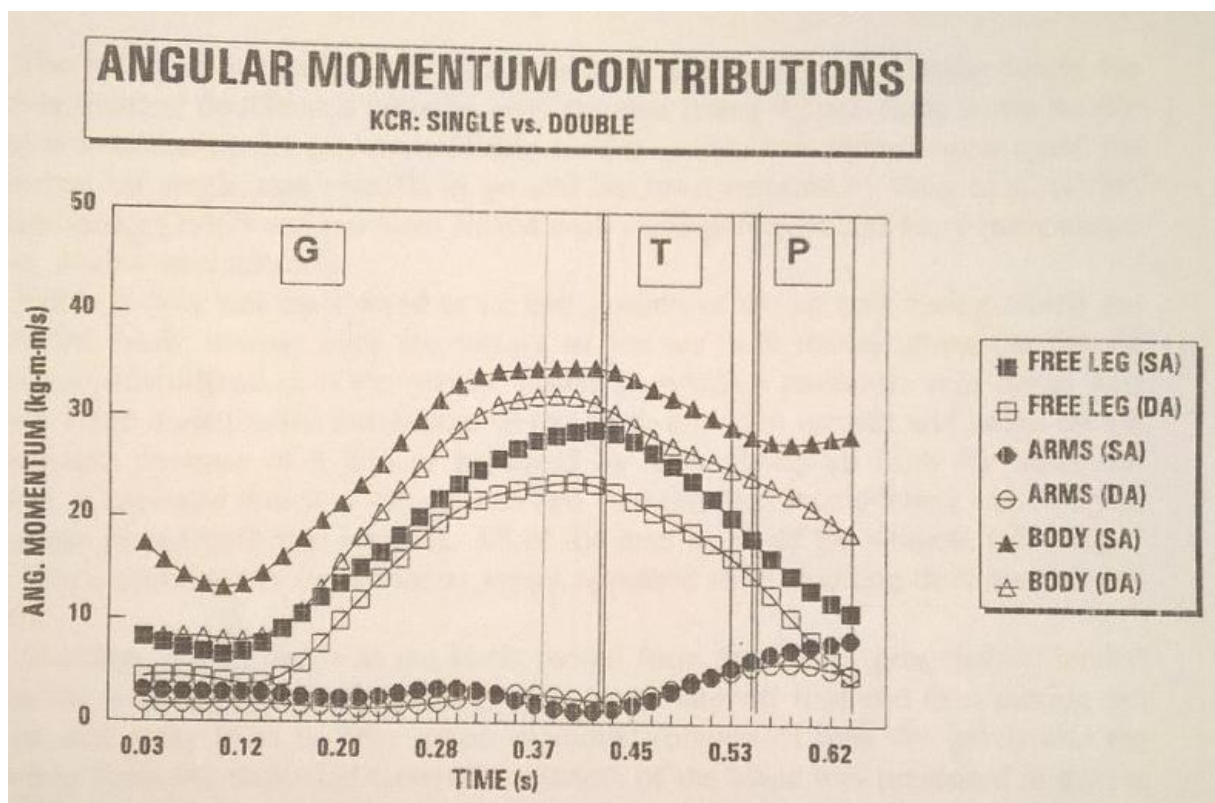
Tabela 2 prikazuje čas zadnjega in prvega kontakta ter čas leta za Laro in Dašo. Zadnji kontakt odzivne noge smo izenačili, da se dobljeni rezultati lažje primerjajo med seboj.

Vsi grafi so zaradi boljšega pregleda aproksimirani s polinomom 6. stopnje. Horizontalna os ponazarja številko slike na posnetku. Ker smo snemali na 100 Hz, smo to os spremenili v stotinke sekunde (s/100).

Analizirali smo vsako hipotezo posebej in jo potrdili ali ovrgli.

### 3.1 H01 - večja kotna hitrost ramenske in kolčne osi omogoča izvedbo axla z več obrati.

Že logičen premislek pove, da hitreje kot se drsalec vrtilno količino v zraku in ima s tem večjo kotno hitrost, več obratov bo sposoben narediti v zraku. Vrtilno količino drsalci v celoti proizvedejo, ko so še na ledu. Ker je od tega trenutka konstantna (pod pogojem, da zanemarimo zračni upor), jo determinirata kotna hitrost in vztrajnostni moment. Manjši kot je vztrajnostni moment, večja je kotna hitrost in obratno. King idr. (1994) razlagajo, da se pri dvojnem axlu v primerjavi z enojnim, drsalci pred zadnjim kontaktom z ledom bolj zavrtijo, ko so še na ledu. S tem poskrbijo, da imajo pred letom večjo vrtilno količino, ki se kaže v kotni hitrosti v zraku. V skok se odrinejo v bolj zaprtem položaju (King idr., 1994), kar pomeni, da težijo k temu, da v zraku čim hitreje zavzamejo tesno rotacijo in s tem zmanjšajo vztrajnostni moment, kar pa poveča kotno hitrost.



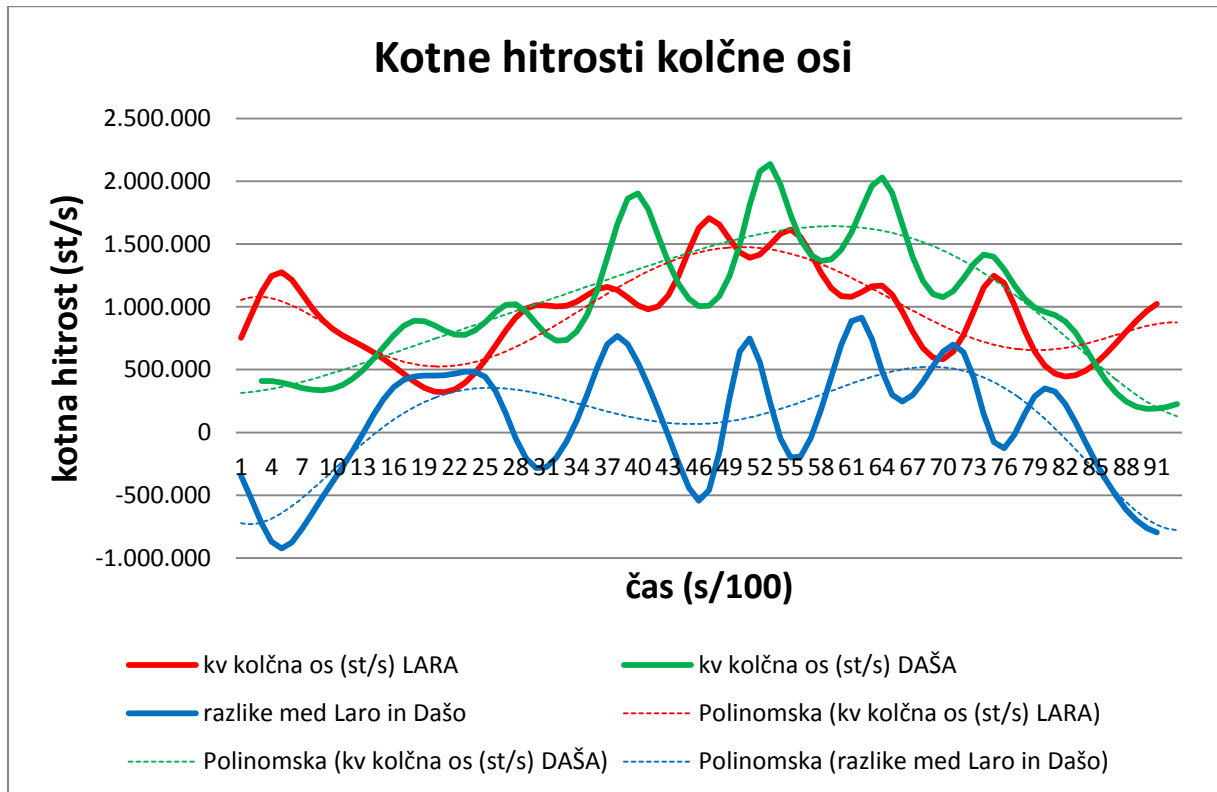
Slika 9. Vrtilna količina (Albert in Miller, 1996).

Slika 9 prikazuje čas generiranja vrtilne količine, ki je neposredno povezana s kotno hitrostjo v zraku in segmente, ki najbolj pripomorejo k povečanju vrtilne količine. Avtorja Albert in Miller (1996) primerjata prispevek k vrtilni količini pri enojnem in dvojnem axlu. Iz slike 8 je razvidno, da drsalec maksimalno vrtilno količino po fazi drsenja pa do odskoka že izgublja. Po odskoku pa se ta ne spreminja več (King, 2005).

Hipoteza pravi, da večja kotna hitrost ramenske in kolčne osi omogoča izvedbo axla z več obrati. Če povzamemo, večja kot je kotna hitrost ramenske in kolčne osi, večja je verjetnost, da sta vrtilni količini zgornjega in spodnjega dela telesa večji. Kar

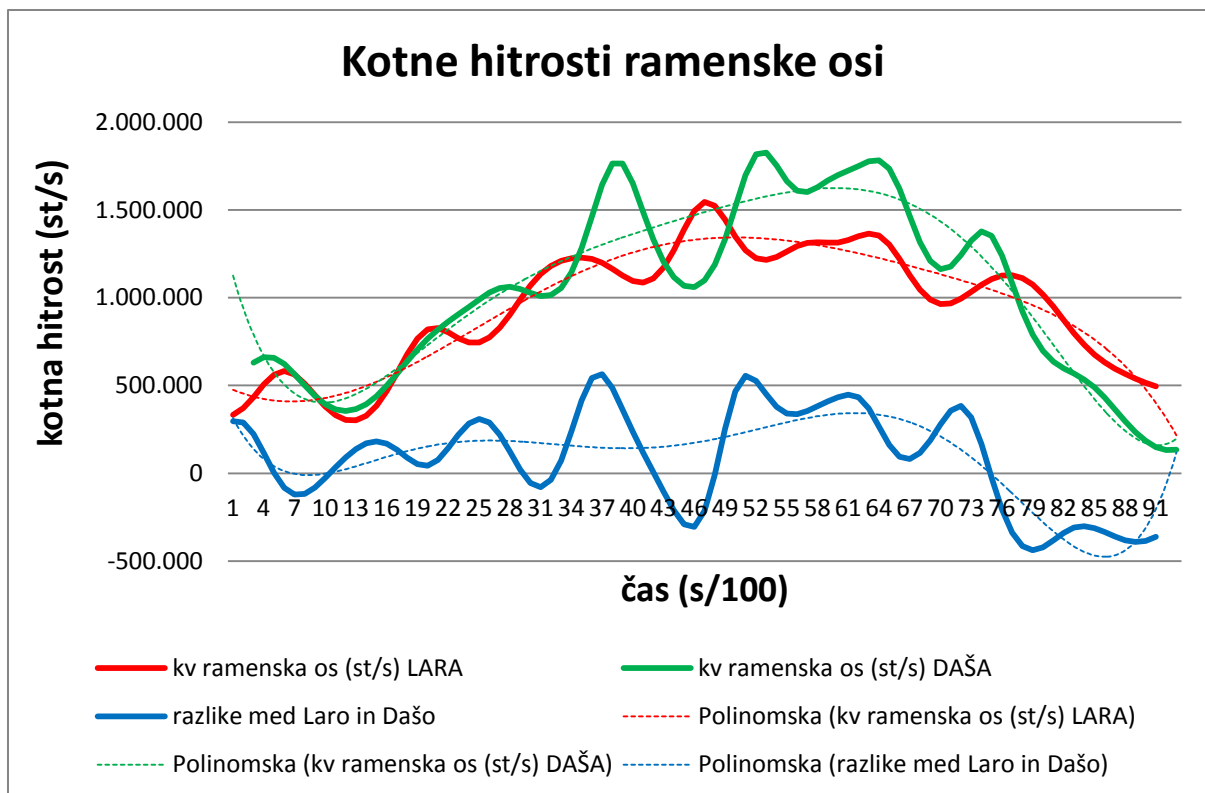
pomeni, da je vrtilna količina celega telesa večja. S tem je bistveni pogoj ekscentričnega odnosa izpolnjen.

Naše meritve prikazujeta naslednja grafa:



Slika 10. Kotne hitrosti kolčne osi pri Daši in Lari ter njune razlike.

Slik 10 prikazuje primerjavo kotnih hitrosti kolčne osi med Dašo (primer uspešno izvedenega dvojnega axla) in Laro (primer neuspešno izvedenega axla (padeč) z nepopolno rotacijo).



Slika 11. Kotne hitrosti ramenske osi pri Daši in Lari ter njune razlike.

Slika 11 prikazuje primerjavo kotnih hitrosti ramenske osi med Dašo in Laro.

Če primerjamo sliki 9 in 10, opazimo, da je kotna hitrost kolčne osi pri Daši od nekaj trenutkov pred odzivom do konca letne faze večja kot pri Lari. Iz tega sklepamo, da pri odzivu pridobi večjo vrtilno količino, ki se med letom ne spreminja, kotno hitrost pa povečuje z zmanjševanjem vztrajnostnega momenta v brezoporni fazi. Pri Lari se dogaja enako, vendar je njena kotna hitrost bistveno manjša. V drugi polovici letne faze se Lari kotna hitrost začne prej zmanjševati kot Daši. To lahko razložimo tako, da je zaradi manjše proizvedene vrtilne količine pri odskoku, zaradi želje po čim hitrejši rotaciji, prej dosegla minimalni vztrajnostni moment in ker kotne hitrosti ni mogla več povečevati na račun tega, je proti koncu skoka kotna hitrost začela prej padati.

Kotna hitrost ramenske osi kaže veliko podobnosti s kotno hitrostjo kolčne osi.

Iz slik 10 in 11 je razvidno, da ima Daša, ki je uspešno izvedla dvojni axel, večje kotne hitrosti ramenske in kolčne osi, kar se sklada s teorijo.

*S tem smo hipotezo potrdili.*

### 3.2 H02 - večja vertikalna hitrost težišča telesa omogoča izvedbo zahtevnejših prvin.

Vertikalna hitrost se meri, ko se drsalec pomika navzgor ali navzdol v brezoporni fazi (Boudreau, 2009). Vertikalno hitrost pridobi z eksplozivno iztegnitvijo odzivne noge. Večjo vertikalno hitrost kot ima drsalec, višji je skok, s tem pa je v zraku dlje časa, saj bo dlje časa letel navzgor proti najvišji točki skoka.

Zatsiorsky (2000) je v svoji raziskavi izmeril, da je vertikalna hitrost pri axlu v povprečju med 2,5 in 3,0 m/s. Razlike med hitrostmi se razlikujejo glede na kvaliteto drsalca in načina izvedbe skoka. Noben axel dveh različnih drsalcev ni enak. Nekateri so višji, drugi daljši, tretji z več ali manj odskočne hitrosti in zaradi tega se razlikuje tudi vertikalna hitrost.

Čas v zraku, ki ga drsalec pridobi z vertikalno hitrostjo, dobimo tako, da seštejemo čas, ki ga drsalec potrebuje, da doseže najvišjo točko težišča v skoku, in čas, ki ga porabi do prvega dotika z ledeno ploskvijo pri doskoku.

$$T = t_1 + t_2$$

$t_1$  ... čas do najvišje točke težišča v zraku (točke H)

$t_2$  ... čas do prvega dotika z ledom pri doskoku

T ... čas v zraku

$$t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(H \pm h)}{g}}$$

H ... najvišja točka težišča

h ... višina težišča pri doskoku

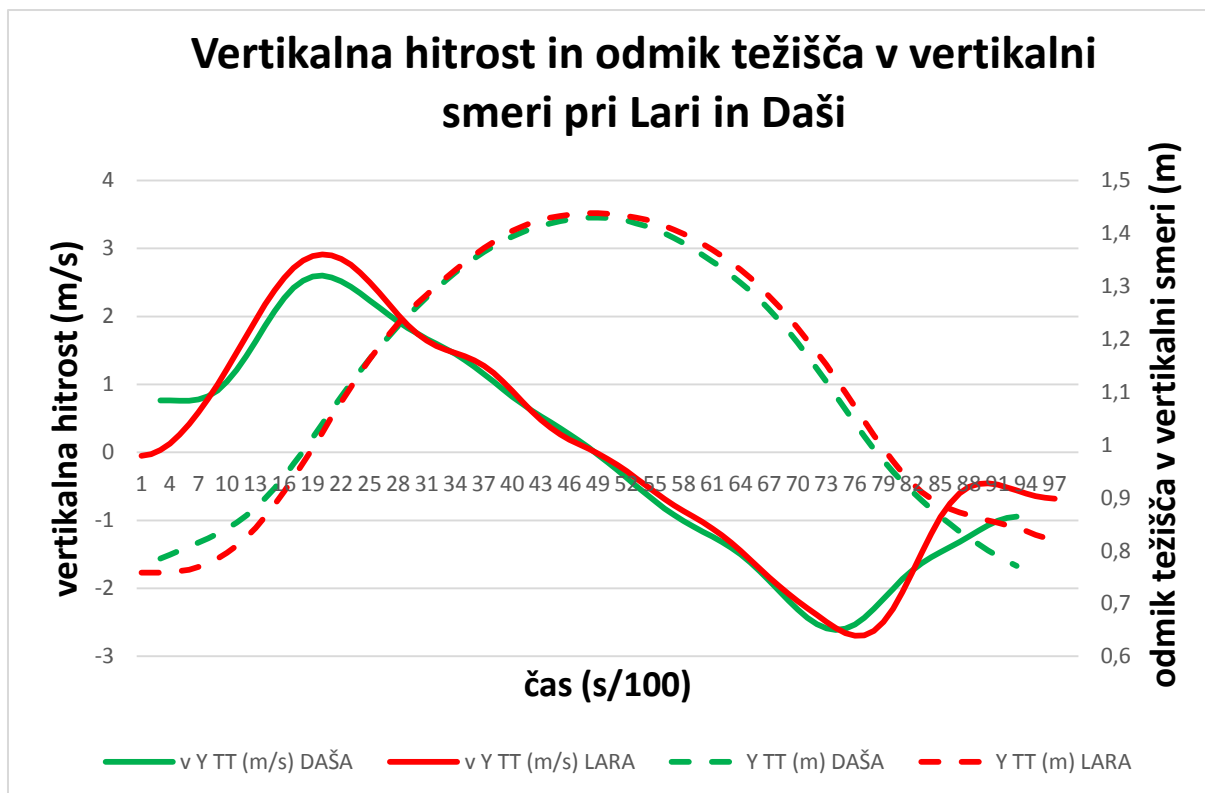
Najvišja točka težišča, ki jo drsalec doseže v zraku se izračuna po spodaj navedeni formuli.

$$H = \frac{v^2}{2g}$$

v ... vertikalna hitrost

Meritve vertikalne hitrosti prikazuje naslednji graf:





Slika 12. Hitrost in pot težišča pri Lari ter Daši.

Slika 12 prikazuje, kako se pri izvedbi axla Lari in Daši spreminja hitrost težišča telesa. Zarisana je tudi pot, ki ga naredi težišče telesa.

Rezultati so pokazali, da imata merjenki enak čas v zraku (tabela 2). Slika 12 kaže, da Lara doseže več vertikalne hitrosti, kljub neuspešno izvedenemu skoku. Njen skok je zaradi tega višji od Dašinega. Že na posnetku je vidno, da je Larin skok višji in krajši, Dašin skok pa je nižji in daljši.

Teoretično ta hipoteza drži in nihče od raziskovalcev, ki so raziskovali skok axel, ni zanikal, da vertikalna hitrost težišča ni pomembna. Ugotovili smo, da pa ni ključen pogoj za uspešno izvedbo dvojnega axla.

*Po teoriji hipotezo lahko sprejmemo, na konkretnem primeru pa jo moramo zavrniti. Naša merjenka ne zna proizvesti primerno učinkovitega vertikalnega odskoka in ekscentričnosti odskoka za uspešno izveden skok.*

### 3.3 H03 - daljši kot je čas trajanja letne faze, več obratov je drsalka sposobna narediti v zraku

Kot že omenjeno, drsalka čas v zraku pridobi z vertikalno hitrostjo pri odskoku. V raziskavah so ugotovili, da je čas, ki ga drsalec med skokom preživi v zraku nekje med 0,5 in 0,7 s (Aleshinsky 1986 v Zatsiorsky, 2000, King idr. 1994, King 1997 v Zatsiorsky, 2000).

Rahlo bomo poenostavili in predpostavili, da je drsalka ves čas letne faze postavljena vertikalno. Zato da bo drsalka naredila zahtevano število obratov v zraku, mora pred zadnjim kontaktom z ledom proizvesti primerno veliko vrtilno količino. Velikost trenutne vrtilne količine ( $\Gamma_y$ ) izračunamo na naslednji način.

$$\Gamma_y = J_y \omega = J_y \frac{2\pi}{\sqrt{}}$$

$\Gamma_y$  ... vrtilna količina glede na vertikalno os

J ... vztrajnostni moment

$\omega$  ... trenutna hitrost vrtenja telesa okoli vzdolžne osi

$\sqrt{\quad}$  ... frekvenca

Iz enačbe je razvidno, da je vrtilna količina odvisna od vztrajnostnega momenta in kotne hitrosti.

V času, ko je drsalka v zraku se zavrti za nek kot  $\phi$ , ki mora biti pri dvojnem axlu:  $\phi = 2,5 \cdot 2\pi$ .

Kot  $\phi$  je odvisen od kotne hitrosti in časa letne faze (T). To izračunamo z naslednjo enačbo.

$$\phi = \int_0^T \omega(t) dt = \bar{\omega} \cdot T$$

$\bar{\omega}$  ... povprečna kotna hitrost

Na tem mestu lahko definiramo tudi povprečni vztrajnostni moment drsalke v zraku z enačbo:

$$\int_0^T M dt = J \cdot \omega = \Gamma,$$

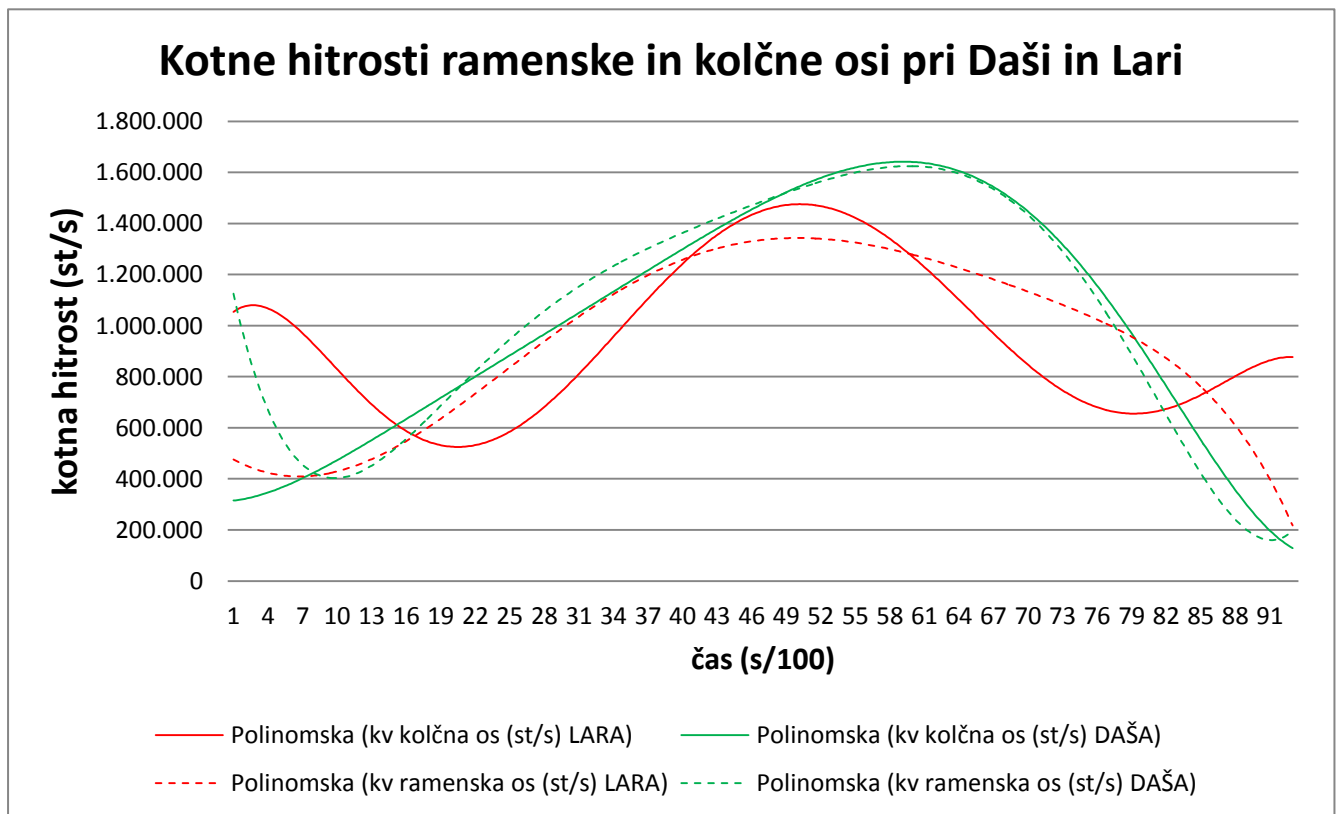
kjer smo z integralom  $\int_0^T M dt$  označili vektor sunka navora doseženega v celotni odskočni fazi, ki je seveda enak pridobljeni vrtilni količini  $\Gamma$ .

Iz formule lahko razberemo, da večja kot je povprečna kotna hitrost, ki je posledica učinkovitosti ekscentričnega odriva, večji je kot zasuka. Zaradi tega lahko drsalka naredi več obratov.

*Podobno kot pri hipotezi H02, glede na teorijo in izračune, to hipotezo potrjujemo. V konkretnem primeru, ki smo ga raziskovali, pa hipotezo ovržemo.*

### 3.4 H04 - daljši čas minimalne razlike med kotno hitrostjo kolčne in ramenske osi v zraku omogoča izvedbo axla z več obrati.

Za izvedbo večjega števila obratov v zraku mora drsalka biti sposobna ob odskoku proizvest dovolj veliko vrtilno količino. Vrtilna količina je odvisna od kotne hitrosti in vztrajnostnega momenta. Če hoče drsalka imeti čim manjši vztrajnostni moment in s tem povečati kotno hitrost, mora v zraku zavzeti položaj, kjer so zgornje in spodnje ekstremitete čim bližje vzdolžni osi vrtenja. Če hoče biti kos centrifugalni sili, ki se proizvede med rotacijo v zraku, mora imeti močne mišice trupa in predvsem adduktorjev rok in nog (Aleshinsky, 1986a, 1990, v Albert in Miller, 1996). Za zmanjšanje vztrajnostnega momenta mora drsalka zgornje in spodnje ekstremitete približati vzdolžni osi vrtenja. Da je to mogoče, se mora drsalka čim prej obnašati kot čim bolj togo telo. To je pogojeno s fizično pripravljenostjo in tehnično dovršenostjo. Težiti k togemu telesu pomeni zmanjševati razlike med kotnim hitrostim kolčne in ramenske osi.



Slika 13. Kotne hitrosti ramenske in kolčne osi pri Daši ter Lari.

Slika 13 prikazuje razlike med kotnimi hitrostmi ramenske in kolčne osi pri Daši ter Lari med izvajanjem dvojnega axla. Ob pogledu na graf opazimo, da se kotne hitrosti pri Daši med letno fazo kar nekaj časa prekrivajo, kar pomeni, da je v zraku dokaj toga. Pri Lari opazimo bistveno razliko, saj se njene hitrosti ramenske in kolčne osi skoraj nikoli ne prekrivajo, kar pomeni, da v zraku ni toga in se posledično počasneje vrti. Menimo, da je to posledica nižjega nivoja drsalke, ki se še ni naučila usklajevanja svojega telesa.

*Hipotezo smo s tem potrdili.*

### 3.5 H05 - daljši čas majhne kotne hitrosti ramenske osi v zaključku letne faze omogoča zanesljivejši doskok.

Pri sliki 11, ki prikazuje kotne hitrosti ramenske osi Daše in Lare, obstaja velika razlika. Daša ima ves čas večjo hitrost, kar je pomembna razlika na koncu letne faze. Letna faza se konča nekje pri 0,77 s. Dašina kotna hitrost ramenske osi kmalu začne dokaj padati, medtem, ko se Larina hitrost zmanjšuje le malo. To lahko pojasnimo s tem, da ima Daša skozi celoten skok zadostno kotno hitrost, da se ima že v zraku čas pripravljati na doskok, ki sledi. Zato je njeno zmanjševanje kotne hitrosti ramenske osi bistveno bolj intenzivno, s čimer dosega večji vztrajnostni moment in s tem povečuje svojo stabilnost. To si lahko privoščiti, ker je dosegla že dovolj velik kot zasuka. Rezultat tega pa je kontrolirana izpeljava iz skoka.

*Na našem primeru smo hipotezo potrdili.*

### 3.6 H06 – večja hitrost desne rame in desnega kolka (ob predpostavki, da je odzivna noga leva) ob koncu faze odskoka omogoča izvedbo axla z več obrati.

Za analizo te hipoteze je potrebno vedeti, kako je hitrost točke na togem telesu sestavljena. Hitrost je seštevek translatorne hitrosti težišča drsalke in tangentne hitrosti glede na trenutno os skozi težišče in jo zapišemo s formulo.

$$\vec{v} = \vec{v}_T + \vec{v}_r$$

$\vec{v}_T$  ... translatorna hitrost

$\vec{v}_r$  ... tangentna hitrost

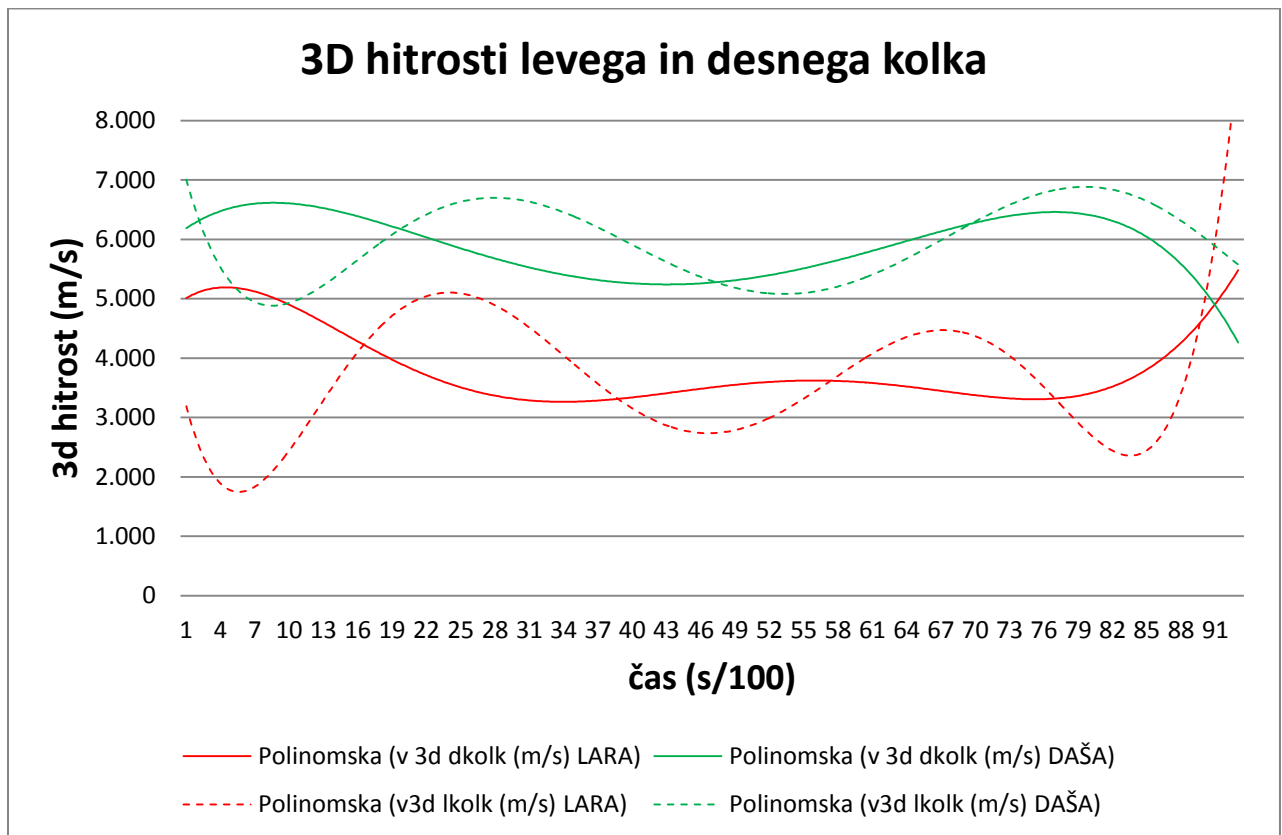
Velikost tangentne hitrosti točke na telesu je odvisna od razdalje točke od osi vrtenja in njene kotne hitrosti ( $\omega$ ) glede na to os, kar lahko zapišemo z enačbo

$$v_t = r \cdot \omega.$$

Torej, večja kot je oddaljenost točke od trenutne osi, in večja kot je kotna hitrost točke glede na os, večja je tangentna hitrost in s tem celotna hitrost gibanja točke.

Ko se drsalka pomika po ledu, se pomika s translatorno hitrostjo in v največji meri z njo posamezni segmenti telesa. Med skokom se vrti, zato se pojavi dodatna hitrost, tangentna hitrost, ki je odvisna od razdalje obravnavane točke od rotacijske osi skozi CTT in zato imajo različne točke (segmenti) na telesu različne hitrosti. Ko drsalka izvaja skok axel, se pred odskokom pelje po levi nogi, kar pomeni, da je prosta desna noga, ki mora pomagati pri proizvodnji vrtilne količine pred letno fazo. Pri tem pa ji pomaga celotna desna stran telesa, saj mora telo biti sinhrono, da zagotovi pogoje za uspešen skok. Ob tem ima drsalka cilj, da se na začetku odskoka zavrti okoli leve strani, da se lahko sploh začne vrteti. V tem trenutku ima leva stran drsalke manjšo rotacijsko hitrost in s tem manjšo absolutno hitrost kot desna. Predvidevamo, da je na splošno absolutna hitrost desne strani drsalke tik pred odzivom večja, kot absolutna hitrost leve strani posameznih segmentov.

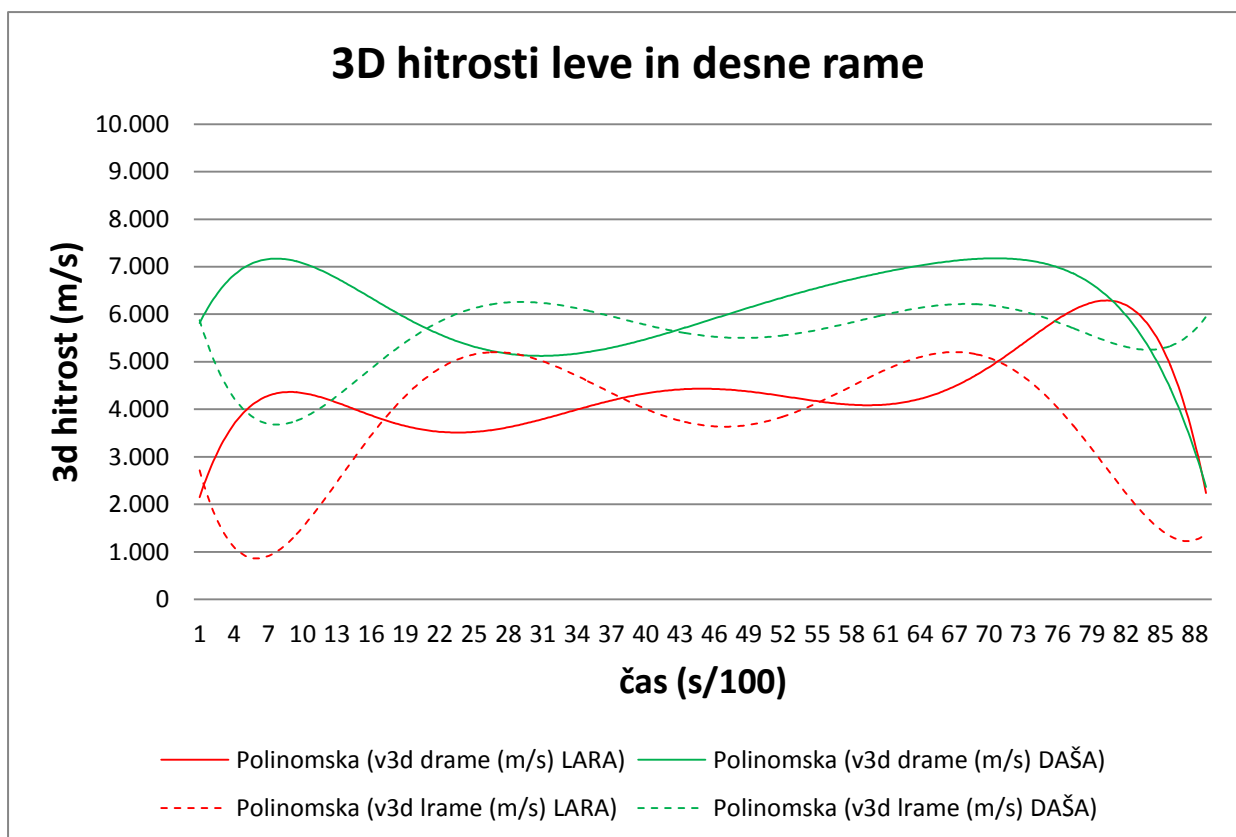
Rezultate raziskave kažejo naslednji grafi. Opazovali smo velikost hitrosti posameznega segmenta, ki jih bomo poimenovali kar 3D hitrosti.



Slika 14. 3D hitrosti desnega (dkolk) in levega (lkolk) kolka.

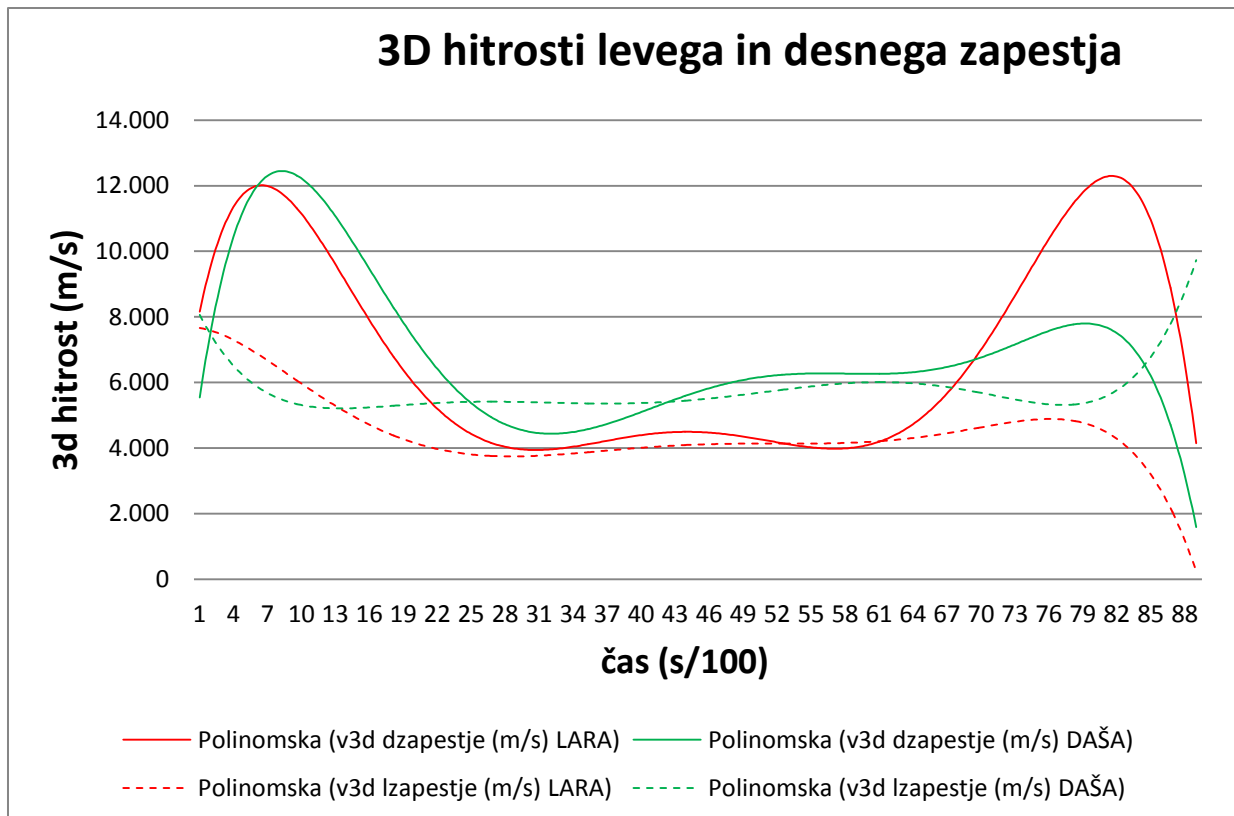
Slika 14 prikazuje 3D hitrosti desnega in levega kolka Daše ter Lare. Iz grafa je razvidno, da sta hitrosti desnega kolka tik pred odzivom bistveno večji kot pri levem kolku pri obeh drsalkah.

Zaradi pozicije desne proste noge in pozicije desnega kolka se težišče spreminja ves čas leta, s tem pa oddaljenost kolkov glede na težiščno os, kar seveda posledično spreminja tangentne hitrosti in s tem tudi absolutne. To spreminjanje absolutne hitrosti prikazujejo grafi na sliki 14.



Slika 15. 3D hitrosti leve (lrame) in desne (drame) rame.

Slika 15 prikazuje 3D hitrosti desne in leve rame pri celotni izvedbi dvojnega axla pri Daši in Lari. Pred začetkom letne faze se opazi, da sta absolutni hitrosti desne rame tako pri Daši kot Lari večji kot pri levi rami. Ko je drsalka že v zraku, jo leva rama dohiti in prehit v absolutni hitrosti. Razlog je v tem, da se ji poveča rotacijska hitrost, in sicer zaradi enakega vzroka kot je opisano pri analizi hitrosti kolkov.



Slika 16. 3D hitrosti levega (lzapestja) in desnega (dzapestja) zapestja.

Slika 16 prikazuje 3D hitrosti levega in desnega zapestja pri obeh drsalkah. Ob koncu odskočne faze in v začetku letne ima desno zapestje pri Lari in Daši večje absolutne hitrosti, kot pri levem zapestju. Čeprav razlike med desnim in levim zapestjem pri obeh drsalkah niso tako očitne, vseeno obstaja razlika. Zanimivo je, da imata Daša in Lara precej podobni hitrosti desnega in levega zapestja. Zakaj Lari to pri izvedbi dvojnega axla ne pomaga v zadostni meri, da bi ga uspešno izvedla, nam pove slika 8, na kateri je vidno, da pri generiranju vrtilne količine prispevek rok najmanj pomaga. Najbolj zanimivo je opaziti, da sta pri Daši obe roki priročeni telesu prej in vztrajata dalj časa (enaki hitrosti levega in desnega zapestja) kot pri Lari, kar pomeni, da je bil pri Daši minimiziran vztrajnostni moment zaradi približevanja rok osi izveden prej in je trajal dalj časa. Videti pa je tudi, da je zadnji del letne faze pri Daši bil izveden z manjšimi in manj sunkovitimi premiki rok od telesa.

Teh hitrosti ne moremo posploševati, saj so roke in s tem zapestje zelo mobilna. Ker računamo absolutne hitrosti, ne moremo določiti, kakšen je del translatorne hitrosti in kakšen je rotacijski delež. Obenem pa lahko na hitrosti zapestja pridobivajo na določenih korektivih.

V tej analizi se okoli kvalitete skoka ne moremo opredeljevati.

*Biomehanski premislek in rezultati danega primera, hipotezo potrjujejo.*

## 4 SKLEP

Za uspešno izveden skok mora drsalec izpolnjevati naslednje pogoje: vzpostaviti primerno vertikalno hitrost, dovolj veliko vrtilno količino in optimirati vztrajnostni moment v zraku. Da drsalec najde primerno razmerje med časom letne faze in kotno hitrostjo, ki jo potrebuje za določeno število obratov v zraku, mora pred odskokom vzpostaviti primerno silo podlage, primeren navor in kontrolirati vztrajnostni moment v zraku.

Ti parametri ne omogočajo kvalitativne analize niti niso dobro opisljivi čez kinestetične občutke tekmovalca, zato smo poskušali zgraditi tak kinematični model in določiti kinematične parametre, ki omogočajo kvalitativno analizo kompetentnega trenerja.

Izbrali smo trajektorijo gibanj težišča, kotne hitrosti ramenske in kolčne osi ter absolutne hitrosti levega in desnega kolka, leve ter desne rame in levega ter desnega zapestja.

Ugotavljamo, da iz analize trajektorije leta lahko korektno sklepamo na čas trajanja letne faze in kvaliteto vertikalnega odriva. Iz kotne hitrosti ramenske in kolčne osi lahko sklepamo na učinkovitost odskočne faze, torej ocene začetne vrtilne količine. Poleg tega pa nam analiza v veliki meri pove, kako uspešna je bila drsalka pri optimiranju vztrajnostnega momenta v zraku. Absolutne hitrosti levega in desnega kolka so dober pokazatelj kvalitete ekscentričnega odriva, medtem ko je analiza hitrosti levega in desnega zapestja dober pokazatelj hitrosti minimiziranja vztrajnostnega momenta v letni fazi in kvalitete doskoka. Ne smemo pozabiti, da analiza kotne hitrosti ramenske osi omogoča presojo kvalitete doskoka.

Po pregledu referenc in rezultatov izvedenih merjenj smo ugotovili, da je Lara, ki ni uspešno izvedla dvojnega axla, v fazi odskoka pridobila premajhno vrtilno količino in v fazi leta ni optimirala (v največjem delu minimizirala) vztrajnostnega momenta. Zaradi tega je bila njena povprečna kotna hitrost premajhna, da bi naredila zadostno velik kot zasuka okoli vzdolžne osi skozi težišče telesa v razpoložljivem času, ki ga ima v zraku. Za doseg optimiranja vztrajnostnega momenta se priporoča, da pridobiva na fizični moči, predvsem na moči adduktorjev nog, rok in mišic trupa, saj ji bo to pomagalo pri zmanjševanju vztrajnostnega momenta. Slabo vzpostavljanje primerne vrtilne količine pa je predvsem odvisno od njene slabe tehnike odskoka. Pred odskokom bi morala zagotoviti ekscentričnost sile podlage glede na težišče in s tem povečati navor te sile. S tem povečati sunek navora in posledično povečati spremembo vrtilne količine.

Na primeru zelo dobre tekmovalke in slabše, vendar še vedno dovolj dobre, da ima stabilizirano tehniko skokov lahko pokažemo, da smo dosegli zastavljeni cilj. Vzorec je bil premajhen, da bi lahko rezultate posploševali. Na dveh primerih so rezultati tako zelo nazorni, da je mogoče čez njih direktno razbrati kvaliteto skoka.

Na splošno ocenjujemo, da bi z obsežnejšimi in bolj kompleksno zasnovanimi biomehanskimi meritvami bilo smiselno nadaljevati in poskušati čez tovrstne analize ne samo dobiti natančnejši model kvalitativne observacije, ampak tudi morda objektivizirati ocenjevanje umetniškega vtisa.



## 5 VIRI

Albert, W. J. in Miller, D. I. (1996). Takeoff Characteristics of Single and Double Axel Figure Skating Jumps. *Journal of applied biomechanics*, 12, 72-87

Arnold, A. S., King, D. L. in Smith, S. L. (1994). Figure skating and sports biomechanics: the basic physic of jumping and rotating. *Skating magazin*, 91, 1-18

*Axel jump* (2015). Wikipedia. The Free Encyclopedia. Pridobljeno iz [https://en.wikipedia.org/wiki/Axel\\_jump](https://en.wikipedia.org/wiki/Axel_jump)

Boudreau, C. (2009). *Biomechanics I: Principles of movement*. Pridobljeno iz <https://www.usfigureskating.org/Content/BiomechanicsI-Principles%20of%20Movement.pdf>

Bratec Lesjak, A. (2012). Tehnična ekipa in pravila po novem sistemu sojenja v umetnostnem drsanju. *Šport*, 3-4, 180-184

Fortin, J. D., Harrington, L. S. in Langenbeck, D. F. (1997). The biomechanics of figure skating. *Physical medicine and rehabilitation: State of the art reviews*, 11, 3

King, D. L. (2005). Performing Triple and Quadruple Figure Skating Jumps - Implications for Training. *Can. J. Appl. Physiol.* 30(6), 743-753

King, D. L., Arnold, A. S. in Smith, S. L. (1994). A Kinematic Comparison of Single, Double and Triple Axels. *Journal of applied biomechanics*, 10, 51-6

King, D., Smith, S., Higginson, B., Muncasy, B. in Scheirman, G. (2004). Characteristics of Triple and Quadruple Toe-Loops Performing during The Salt Lake City 2002 Winter Olympics. *Sports Biomechanics*, 3 (1), 109-123

Lockwood, K. L., Gervais, P. J. in McCreary, D. R. (2006). Landing for success. *Sports Biomechanics*, 5, 2

Newtonovi zakoni gibanja (2015). Wikipedija. Prosta enciklopedija. Pridobljeno iz [https://sl.wikipedia.org/wiki/Newtonovi\\_zakoni\\_gibanja](https://sl.wikipedia.org/wiki/Newtonovi_zakoni_gibanja)

Petkevich, J. M. (1988). *Sports illustrated figure skating champions techniques*. Pridobljeno iz:

<https://books.google.hu/books?id=2EQZoKnMN7gC&printsec=frontcover&dq=figure+skating&hl=sl&sa=X&ved=0CCQQ6AEwAWoVChMI176L0vyKxwIVyhAsCh0K1wv6#v=onepage&q=figure%20skating&f=false>

Sedej, T. (2012). Sodniški sistem v umetnostnem drsanju. *Šport*, 3-4, 174-179

Shulman, C (2002). *The complete book of figure skating*. Pridobljeno iz <http://www.humankinetics.com/ProductSearchInside?Login=Done&isbn=9780736035484>

Stanovnik, M. (1997). *Osnove drsanja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.

*The Science of Jumping and Rotating* (april, 1998). Montana State University-Bozeman. Pridobljeno iz <http://btc.montana.edu/olympics/physbio/biomechanics/bio-intro.html>

Uлага, N., Smolič, M. (2014). *Biomehanika umetnostnega drsanja*. Neobjavljeno delo. Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija

Winter, D. A.(2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. Waterloo: University of Waterloo

Zatsiorsky, V. (2000). *Biomechanics in sport*. Pridobljeno iz [http://vk.com/doc54217671\\_73367367?hash=766845da769caee61&dl=ff5c5542a1d1f9a64c](http://vk.com/doc54217671_73367367?hash=766845da769caee61&dl=ff5c5542a1d1f9a64c)