



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

IVAN BON

**RAZLIKE U KINEMATIKIM I  
KINETIČKIM POKAZATELJIMA ZAVOJA  
IZMEĐU SKIJAŠA RAZLIČITE RAZINE  
SKIJAŠKOG  
ZNANJA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

IVAN BON

**DIFFERENCES IN KINEMATIC AND  
KINETIC PARAMETERS OF ALPINE  
SKIING TURNS BETWEEN SKIERS OF  
DIFFERENT SKILL LEVELS**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

IVAN BON

**RAZLIKE U KINEMATIKIM I  
KINETIČKIM POKAZATELJIMA ZAVOJA  
IZMEĐU SKIJAŠA RAZLIČITE RAZINE  
SKIJAŠKOG  
ZNANJA**

DOKTORSKI RAD

Mentor:  
izv. prof. dr. sc. Vjekoslav Cigrovski

Zagreb, 2024.



University of Zagreb  
FACULTY OF KINESIOLOGY

IVAN BON

**DIFFERENCES IN KINEMATIC AND  
KINETIC PARAMETERS OF ALPINE  
SKIING TURNS BETWEEN SKIERS OF  
DIFFERENT SKILL LEVELS**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:  
Assoc. prof. Vjekoslav Cigrovski, PhD

Zagreb, 2024.

## **ŽIVOTOPISI MENTORA**

**Izv. prof. dr. sc. Vjekoslav Cigrovski**, diplomirao je na Fakultetu za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu (današnji Kineziološki fakultet) 2000. godine, a zaposlen je kao izvanredni profesor na Katedri za monostrukturne discipline Sveučilišta u Zagrebu Kineziološkog fakulteta. Nositelj je obaveznih predmeta Skijanje na integriranom sveučilišnom studiju kineziologije kao i na stručnom studiju za izobrazbu trenera Sveučilišta u Zagrebu, kao i predmeta Teorija i metodika skijanja na sveučilišnom diplomskom studiju kineziologije Sveučilišta u Splitu. Doktorat znanosti stekao je u području kineziologije, s temom iz alpskog skijanja 2007. godine. Objavio je više od 130 publikacija u raznim časopisima i zbornicima; 69 znanstvenih radova, od koji je 45 u znanstvenim časopisima (od toga 34 znanstvene objave u WoS publikacijama). Bio je predavač i aktivni sudionik na više domaćih i međunarodnih skupova. Glavni interes istraživanja mu je područje alpskog skijanja s različitih aspekata, kao i razna područja pedagogije, kliničkih medicinskih znanosti i psihologije. Član je Zbora učitelja i trenera sportova na snijegu te je voditelj i suradnik na raznim domaćim i međunarodnim projektima vezanim uz kineziologiju sporta s naglaskom na sportove na snijegu. Autor ili koautor je više priručnika i poglavlja u udžbenicima od kojih su za istaknuti Skijaška tehnika-carving i Sportovi na snijegu.

## **ZAHVALA**

Podrška najužeg kruga bliskih ljudi i suradnja s brojnim kvalitetnim kolegama omogućili su mi ostvarenje ovog cilja. Želim iskazati veliku zahvalnost osobama koje su dale značajan doprinos u nastajanju ovog rada i čija je prisutnost bila ključna za moj uspjeh.

Hvala mentoru, izv. prof. dr. sc. Vjekoslavu Cigrovskom. Njegovo usmjeravanje, stručnost, susretljivost i razumijevanje oblikovali su me kao znanstvenika. Konstruktivne povratne informacije i intelektualna razmjena potaknuli su me da proširim svoje horizonte i izazvali me na kritičko razmišljanje. Čast mi je što sam imao priliku surađivati s njim i što me je naučio vrijednostima kvalitetnog vodstva.

Hvala članovima povjerenstva za ocjenu doktorskog rada, prof. dr. sc. Bojanu Matković, prof. dr. sc. Miljenku Marušiću i izv. prof. dr. sc. Tomislavu Krističeviću, što su svojim konstruktivnim savjetima i susretljivošću pomogli u svim fazama izrade ovog doktorskog rada.

Hvala kolegama iz Laboratorija za sportske igre što su bili moji partneri u učenju, istraživanju i zajedničkom radu na ovom i mnogim drugim projektima. Sati provedeni u raspravi o idejama i protokolima mjerenja te sudjelovanje u poticajnim razgovorima bili su iznimno poučni.

Za kraj hvala mojoj obitelji i prijateljima za podršku, neprekidnu motivaciju i vjeru u mene. Hvala im što su uvijek tu za mene.

# **RAZLIKE U KINEMATIČKIM I KINETIČKIM POKAZATELJIMA ZAVOJA IZMEĐU SKIJAŠA RAZLIČITE RAZINE SKIJAŠKOG ZNANJA**

## **Sažetak**

U svijetu postoje mnogobrojni programi škole skijanja uz zajednički cilj privlačenja što većeg broja skijaša učinkovitom i sigurnom savladavanju tehnike alpskog skijanja. S obzirom na to da se provodi u specifičnim uvjetima sa vrlo specifičnom opremom, jasno je da postoji potreba za što je moguće detaljnijom analizom i razumijevanjem pokreta skijaša i sila koje djeluju na njega tijekom izvođenja zavoja. Većina biomehaničkih istraživanja proučava natjecateljsko skijanje. Kako bi se dodatno utjecalo na unaprjeđenje i prilagodbu programa škole skijanja rekreativnim skijašima različitih razina znanja potrebno je objektivno utvrditi biomehaničke parametre zavoja izvedenog od strane rekreativnih skijaša. Na taj način moguće je egzaktno odrediti u kojim fazama zavoja se događaju točno određene pogreške koje su ključne i koje onemogućavaju izvođenje zavoja na željeni način. Promatrala su se razlike u izvedbi skijaškog zavoja između skijaša učitelja i skijaša rekreativne razine.

U istraživanju je sudjelovalo 46 ispitanika, podijeljenih u dvije skupine - učitelji skijanja i skijaši rekreativne populacije - neučitelji (studenti Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu). Svi parametri mjerili su se prilikom izvedbe elementa paralelni zavoj od brijega (PZ) u definiranom i omeđenom koridoru. Ispitanici su izvodili ukupno 24 zavoja od kojih je analizirano njih 20 (10 u svaku stranu). Na skijaškoj stazi postavljen je koridor širine 20 metara koji je bio omeđen vidljivim oznakama oko kojih su ispitanici izvodili zadani element. Parametri su izmjereni u 3 vremenske točke svakog zavoja (1. faza, 2. faza i 3. faza). Kinematički parametri mjereni su sustavom inercijskog odijela Xsens MVN Link. Kinetički parametri mjereni su ulošcima dizajniranim za detekciju sile stopala na podlogu (Novel, Pedar).

Promatrajući kinematičke parametre vidljivo je da u sve tri faze zavoja postoji značajna razlika u određenim varijablama između dvije testirane skupine ispitanika. Uočljivo je kako skupina ispitanika niže razine znanja ima zabilježenu manju fleksiju u promatranim zglobovima u svim fazama zavoja. Kod skupine ispitanika više razine znanja dakle, utvrđena je veća amplituda gibanja u zglobovima promatrajući od početka do završetka (1.-3. faze) zavoja. Navedeno se posebno odnosi na drugu i treću fazu zavoja gdje se sve promatrane kinematičke varijable značajno razlikuju. Iz analize kinetičkih parametara vidljivo je također da u sve tri promatrane faze zavoja postoji značajna razlika između skupina ispitanika. Kod skupine više

razine skijaškog znanja utvrđene su značajno veće vrijednosti ukupne sile a pogotovo na vanjskom stopalu te na medijalnoj i lateralnoj regiji stopala dok su manje vrijednosti zabilježene na stražnjem dijelu stopala u odnosu na skupinu ispitanika sa nižom razinom znanja. Posebno je moguće istaknuti fazu dolaska do padne linije (1. faza zavoja) gdje se skupine ispitanika međusobno razlikuju u svim promatranim kinetičkim varijablama. Također kod skupine ispitanika više razine skijaškog znanja utvrđen je veći omjer sile na vanjskom stopalu u odnosu na unutarnje stopalo te veći omjer sile u prednjim regijama stopala (medijalna i lateralna) u odnosu na stražnju regiju stopala (peta) u drugoj i trećoj fazi zavoja.

Utvrđene spoznaje iz sinkronizirane kinetičke i kinematičke analize pružaju osnove koje mogu poslužiti kao smjernice školama skijanja u razvijanju programa učenja na učinkovitiji i sigurniji način. Usporedbom skijaša različitih razina znanja kvantitativno su utvrđene razlike u kutovima donjih ekstremiteta te silama na različitim regijama stopala. Navedeno doprinosi razumijevanju procesa poučavanja skijaških početnika i neiskusnih skijaša. Samim time pozitivno se utječe na smanjenje broja ozljeda uzrokovanih nedovoljnom razinom tehnike skijanja. Informacije o najčešćim greškama mogu pomoći u prilagođavanju metodičkih vježbi a samim time smanjiti broj padova i ozljeda na skijaškoj stazi.

**Ključne riječi:** alpsko skijanje, biomehanika, kinematička analiza, kinetička analiza, skijaški zavoj, razina skijaškog znanja, škola alpskog skijanja, tehnika alpskog skijanja

# **DIFFERENCES IN KINEMATIC AND KINETIC PARAMETERS OF ALPINE SKIING TURNS BETWEEN SKIERS OF DIFFERENT SKILL LEVELS**

## **Abstract**

Numerous ski schools worldwide aim to attract a large number of skiers by providing effective and safe instruction in alpine skiing techniques. Given the specific conditions and equipment involved in alpine skiing, there is a clear need for a detailed analysis and understanding of skier movements and the forces acting on them during turns execution. While most biomechanical studies focus on competitive skiing, further research is required to enhance and adapt ski school programs for recreational skiers of varying skill levels. Objective determination of the biomechanical parameters of turns performed by recreational skiers is crucial for identifying specific errors that hinder the desired execution of turns. This study compared the performance of ski turns between ski instructors and recreational skiers.

Forty-six participants, divided into two groups—ski instructors and recreational skiers (non-instructors)—were involved in the study. All parameters were measured during the performance of parallel turns from the slope in a defined and marked corridor. Participants performed a total of 24 turns, with 20 turns (10 in each direction) being analyzed. A corridor 20 meters wide was set up on the ski slope, marked with visible signs around which participants performed the assigned element. Parameters were measured at three time points during each turn (1st phase, 2nd phase, and 3rd phase). Kinematic parameters were measured using the Xsens MVN Link inertial motion capture system. Kinetic parameters were measured using insoles designed for detecting foot force on the ground (Novel, Pedar).

By observing kinematic parameters, it was evident that significant differences exist in certain variables between the two tested groups of participants in all three phases of the turn. The group of participants with lower skill levels exhibited significantly less flexion in the observed joints in all phases of the turn. Conversely, the group of participants with higher skill levels demonstrated a greater amplitude of movement in the joints, observed from the beginning to the end (1st-3rd phase) of the turn. This was particularly evident in the second and third phases of the turn, where all observed kinematic variables differed significantly. Analysis of kinetic parameters also revealed significant differences between the groups of participants in all three observed phases of the turn. The group with higher ski skill levels exhibited significantly higher values of total force, especially on the outer foot and the medial and lateral

regions of the foot, while lower values were recorded on the rear part of the foot compared to the group with lower skill levels. The phase of approaching the fall line (1st phase of the turn) is particularly noteworthy, as the groups of participants differed in all observed kinetic variables. Additionally, the group with higher ski skill levels demonstrated a greater ratio of force on the outer foot compared to the inner foot, as well as a greater ratio of force in the front regions of the foot (medial and lateral) compared to the rear region of the foot (heel) in the second and third phases of the turn.

The findings from the synchronized kinetic and kinematic analysis provide a foundation that can serve as guidelines for ski schools in developing more effective and safer learning programs. By comparing skiers of different skill levels, quantitative differences in lower extremity angles and forces on various regions of the foot were identified. These findings contribute to understanding the process of teaching beginner and inexperienced skiers. As a result, they positively impact the reduction of injuries caused by insufficient skiing technique. Information about the most common errors can aid in adapting methodological exercises, thereby reducing the number of falls and injuries on the ski slope.

**Keywords:** alpine skiing, biomechanics, kinematic analysis, kinetic analysis, ski turn, ski skill level, alpine ski school, alpine ski tech

## SADRŽAJ

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1. UVOD .....</b>                                                  | <b>1</b>   |
| 1.1. TEHNIKA ALPSKOG SKIJANJA .....                                   | 1          |
| 1.2. SILE.....                                                        | 2          |
| 1.3. SKIJAŠKA GIBANJA .....                                           | 3          |
| 1.4. ZAVOJ.....                                                       | 6          |
| <b>2. OZLJEDE U ALPSKOM SKIJANJU .....</b>                            | <b>8</b>   |
| 2.1. ŠKOLA SKIJANJA KAO MEHANIZAM PREVENCIJE OZLJEDA .....            | 10         |
| <b>3. ŠKOLA ALPSKOG SKIJANJA .....</b>                                | <b>12</b>  |
| 3.1. VAŽNOST ŠKOLE SKIJANJA .....                                     | 12         |
| 3.2. PROGRAMI ŠKOLE SKIJANJA .....                                    | 14         |
| 3.3. ULOGA UČITELJA SKIJANJA .....                                    | 17         |
| <b>4. BIOMEHANIČKA ANALIZA .....</b>                                  | <b>18</b>  |
| 4.1 BIOMEHANIČKA ANALIZA U SKIJANJU.....                              | 21         |
| 4.2. BIOMEHANIČKA ISTRAŽIVANJA ZAVOJA U NATJECATELJSKOM SKIJANJU..... | 24         |
| 4.3. BIOMEHANIČKA ISTRAŽIVANJA ZAVOJA REKREATIVNE POPULACIJE .....    | 30         |
| <b>5. CILJ I HIPOTEZE .....</b>                                       | <b>35</b>  |
| <b>6. METODE ISTRAŽIVANJA .....</b>                                   | <b>36</b>  |
| 6.1. UZORAK ISPITANIKA .....                                          | 36         |
| 6.2. VARIJABLE I OPREMA.....                                          | 37         |
| 6.3. PROTOKOL MJERENJA .....                                          | 42         |
| 6.4. METODE ANALIZE PODATKA .....                                     | 45         |
| <b>7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....</b>                                | <b>46</b>  |
| <b>8. RASPRAVA .....</b>                                              | <b>64</b>  |
| <b>9. ZNANSTVENI I PRAKTIČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA .....</b>          | <b>85</b>  |
| <b>10. PREDNOSTI I OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA .....</b>                 | <b>86</b>  |
| <b>11. TESTIRANJE POSTAVLJENIH HIPOTEZA .....</b>                     | <b>88</b>  |
| <b>12. ZAKLJUČAK .....</b>                                            | <b>89</b>  |
| <b>13. LITERATURA .....</b>                                           | <b>90</b>  |
| <b>14. ŽIVOTOPIS AUTORA I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA .....</b>          | <b>104</b> |

## 1. UVOD

### 1.1. TEHNIKA ALPSKOGA SKIJANJA

Skijaška tehnika omogućuje savladavanje skijaškog terena gdje skijaš pritom mijenja brzinu i smjer kretanja (Cigrovski, Matković, 2015). Skije su se u prošlosti koristile kao prijevozno sredstvo na terenima prekrivenim snijegom. Danas se skije koriste uglavnom kao sredstvo za rekreaciju u zimskim mjesecima. U oba slučaja postojali su različiti načini kretanja na skijama, odnosno različite tehnike. Kako se s godinama razvijala skijaška oprema, tako se skijaška tehnika mijenjala i napredovala u skladu s tim promjenama i maksimalno iskorištavala mogućnosti tadašnje opreme (Natri i sur., 1999). S obzirom na navedeno, mnoge skijaške tehnike u današnje vrijeme više se ne upotrebljavaju dok su se neke nastavile primjenjivati i danas. Neke od istaknutijih skijaških tehnika iz povijesti su plužna, lilenfeldska, arlbergska, francuska rotacijska, skijaška tehnika sa suprotnim zasukom tijela, avalament tehnika, jet tehnika, prijestupna skijaška tehnika i druge (Cigrovski, Matković, 2015).

Plužna tehnika jedna je od onih koja se primjenjivala u prošlosti, a svoju primjenu ima i danas u gotovo svim školama skijanja. Cigrovski, Matković, BR Matković, 2010 navode da je plužna tehnika prva s kojom se susreću skijaši početnici i polazna osnova za učenje naprednije tehnike i skijaških elemenata. Karakterizira ju položaj skija gdje su vrhovi skija gotovo spojeni, a repovi rašireni. Također, ističu da široka oslonačna površina omogućuje da projekcija težišta tijela skijaša ne izlazi iz oslonačne površine ni u jednom trenutku tijekom kretanja niz padinu. Upravo iz tog razloga primjenjuje se kod skijaša početnika i omogućuje im jednostavnije održavanje ravnotežnog položaja. (Cigrovski, Matković, 2015; Neuwirth i sur., 2020)

Skijaška tehnika koja se u današnje vrijeme najčešće primjenjuje kod skijaša rekreativaca i natjecatelja je paralelna skijaška tehnika. Carving skije dodatno su doprinijele navedenoj činjenici. Ona podrazumijeva da su skije međusobno paralelne prilikom izvođenja skijaških elemenata i da su u stalnom kontaktu cijelom dužinom sa snježnom površinom navode (Müller i sur., 2005; Horterer, 2005). Vrlo često se u školama skijanja primjenjuje nakon savladavanje plužne tehnike. Prednost paralelne skijaške tehnike je njena primjenjivost na svim vrstama terena različitih nagiba, svim snježnim uvjetima (uređene staze, duboki snijeg, grbe) i kod različitih razina skijaškog znanja (Müller i Schwameder, 2003; Neuwirth i sur., 2020). Primjenjuju je skijaši rekreativne razine i skijaši natjecatelji. Određeni nedostatak paralelne

tehnike su poteškoće kod učenja složenijih elemenata koji se izvode pri većim brzinama. Tada je teže uočiti određena skijaška gibanja u pojedinim fazama zavoja koje demonstrira učitelj skijanja (Cigrovski, Matković, 2015). Iz tog razloga vrlo je bitno savladati osnovna skijaška gibanja i elemente koji se izvodi pri manjim brzinama, vrlo često koristeći pluznu tehniku (Cigrovski, Matković, BR Matković, 2010).

Burtscher i sur. (2013) navode da je alpsko skijanje specifična je aktivnost koja se sastoji od kompleksnih i neuobičajenih gibanja za ljudsko tijelo u odnosu na svakidašnje. Cigrovski (2021) u radu ističe da svakodnevne kretnje čovjeka poput hodanja i trčanja karakterizira ciklička naizmjenična kretanja jedne pa druge noge. U skijanju tijekom spuštanja niz padinu skijaš uglavnom izvodi kretnje istovremeno s obje noge na tlu kako bi napravio zavoj odnosno određeni element. Navedeno predstavlja izazov za skijaše početnike, te je potrebno određeno vrijeme, primjena metodičkih vježbi i optimalan teren kako bi se prilagodili na kretanje na skijama (Lewandowski, 2006). Nakon adaptacije moguće je započeti sa učenjem osnovnih skijaških gibanja i zadatke s ciljem usvajanja različitih zavoja (Cigrovski i sur., 2022).

Iako su se tijekom povijesti, kao što je već rečeno mijenjale skijaške tehnike, fizikalni zakoni koji djeluju na skijaša i spuštanje niz padinu ostali su nepromijenjeni. Zbog konstrukcijskih promjena na opremi (Federolf i sur., 2010 b), skijaši se u današnje vrijeme više vremena kreću na bočnim rubnicima skija u odnosu na bočno otklizavanje skija u zavoju (Kaiser, 1997; Raschner, et al., 2001; Spörri et al., 2016). Iz tog razloga povećala se brzina kretanja skijaša rekreativne razine, a pogotovo natjecatelja niz padinu.

## **1.2. SILE**

Mnogo je autora promatralo na koji način sile djeluju na skijaše tijekom izvođenja zavoja (Lieu i Mote, 1985; Renshaw i Mote, 1989; Jentschura i Fahrbach, 2004; Lind i Sanders, 1996; Reid, 2010; Gilgien i sur., 2013; Supej i sur., 2013; Lüthi i sur., 2004; Gilgien i sur., 2009; Komissarov, 2020) Sile koje su prisutne tijekom skijanja mogu se podijeliti na vanjske – one koje djeluju na skijaša i unutarnje – one koje su rezultat gibanja i pokreta koje skijaš stvara kako bi upravljao skijama. Lind i Sanders, 1996, ističu da su sile koje omogućuju kretanje skijašu niz skijašku padinu sila gravitacije i sila trenja. Sila gravitacije je konstantna i privlači tijelo skijaša niz padnu liniju prema dolini. Utjecaj sile gravitacije na brzinu kretanja skijaša proporcionalan je s njegovom težinom i silom inercije u svom radu tvrde Renshaw i Mote,

1989. Spuštajući se niz padinu skijaš se suprotstavlja sili gravitacije upravljajući skijama od padne linije u obje strane. Tijekom zavoja na skijaša djeluju centrifugalna i centripetalna sila (Howe, 1983). Centrifugalna sila nastoji skijaša odmaknuti od osi rotacije zavoja dok centripetalna sila privlači skijaša ka osi rotacije zavoja i predstavlja skiju postavljenu na bočne rubnike na snijeg. Veličina navedenih sila ovisi o dužini zavoja, nagibu terena, brzini kretanja skijaša, radijusu skija (LeMaster, 2010). Tijekom spuštanja niz padinu skijaš mijenja smjer kretanja skija te djeluje na snježnu površinu i tada se javlja sila otpora snježne površine. Jednake veličine, ali recipročnog djelovanja javlja se sila reakcije podloge (Jentschura i Fahrbach, 2004). Kako bi skijaš uspješno kontrolirao sile koje djeluju na njega i zadržao ravnotežni položaj mora postaviti skije pod određenim kutom na snježnu površinu te određenim pritiskom djelovati na njih (Loland, 2009). U prvom dijelu zavoja skijaš mora optimalno dozirati pritisak na podlogu te pritisak koji se javlja kao posljedica djelovanja sila na skijaša u drugom dijelu zavoja kada se počne udaljavati od padne linije ističe (Komissarov, 2020). Tada i Hirano, 2002, promatrajući mehaničke modele zaključuju da dio tog pritiska urezuje bočne rubnike skija u snijeg, a dio usmjerava skije bočno niz padinu. Ukoliko je skijaš optimalno postavio skije na podlogu u odnosu na položaj tijela te optimalno dozirao pritisak, skije će se po bočnim rubnicima kretati isključivo prema naprijed bez bočnog otklizavanja (Lieu i Mote, 1985). Osim doziranja pritiska tijekom zavoja, vrlo je važno da skijaš optimalno rasporedi pritisak na vanjsku i unutarnju skiju u odnosu na os rotacije zavoja ističu (Heinrich i sur., 2009). Upravo zbog njihovog položaja u odnosu na centar zavoja pri jednakom djelovanju skijaša na unutarnju i vanjsku skiju, vanjska skija je izloženija bočnom otklizavanju (LeMaster i Supej, 2015). Prema tome, prilikom izvođenja zavoja pritisak bi dominantno trebao biti raspoređen na vanjsku skiju kako bi se skija kretala po bočnom rubniku bez otklizavanja (Vaverka i Vodickova, 2010).

### **1.3. SKIJAŠKA GIBANJA**

Kako bi skijaš imao mogućnost upravljanja skijama u željenom smjeru, željenom brzinom, nalazio se u stabilnom ravnotežnom položaju, postavio skije pod željenim kutom na snježnu površinu i optimalno dozirao pritisak mora izvoditi određena specifična skijaška gibanja (LeMaster, 2010; Muller i Schwameder, 2003). Navedena gibanja moraju se izvoditi pravovremeno u točno određenoj fazi zavoja kako bi se kontrolirale sile koje djeluju na skijaša i skije usmjeravale u željenom smjeru.

Prema Cigrovski i Matković, 2015, gibanja koja se izvode tijekom alpskog skijanja izvodeći zavoje mogu se podijeliti u tri ravnine. To su sagitalna (bočna), čeona (frontalna) i vodoravna (transverzalna).

Sagitalna (bočna) ravnina dijeli tijelo skijaša na lijevu i desnu stranu. Iz perspektive sagitalne ravnine mogu se primijetiti pomicanja cijelog tijela skijaša prema naprijed i natrag te nagnjanja trupa prema naprijed i natrag. Navedena gibanja skijaš izvodi zbog prijenosa težišta (davanje pritiska) na prednji, srednji ili stražnji dio skija ovisno o fazi zavoja u kojoj se nalazi, uvjetima na terenu, nagibu padine itd. Navedena akcija prvenstveno se izvodi u zglobu gležnja (Federolf i sur., 2008; Nakazato, Scheiber i Müller, 2011). U rekreativnom skijanju skijaš nastoji većinom biti u poziciji da je projekcija njegovog težišta iznad sredine stopala. Odnosno, cilj je da zamišljena linija koja spaja njegovo težište i skije bude okomita na podlogu (Cigrovski, Matković, 2015 – carving). Promatrajući faze zavoja skijaša rekreativaca Müller i sur., 1998 ističu da se gledajući tijelo skijaša bočno u sagitalnoj ravnini, mogu primijetiti i vertikalna gibanja skijaša te utvrditi nalazi li se on u niskom, srednjem ili visokom skijaškom stavu. Stav skijaša tijekom različitih faza zavoja se mijenja, međutim konstantno nizak ili konstantno visok stav onemogućuju izvođenje drugih gibanja koja su ključna za upravljanje skijama tijekom zavoja i kontroliranje sila koje djeluju na skijaša.

Čeona (frontalna) ravnina dijeli tijelo skijaša na prednju i stražnju stranu. Iz perspektive frontalne ravnine mogu se primijetiti vertikalna gibanja skijaša iz niskog do visokog stava kao i u bočnoj (sagitalnoj ravnini). Mijenjajući visinu skijaškog stava skijaš u određenoj fazi zavoja dozira pritisak na skije te tako opterećuje ili rasterećuje skije odnosno podlogu navode Nakazato, Scheiber i Müller, 2011 te LeMaster, 1999. U frontalnoj ravnini moguće je također promatrati širinu skijaškog stava. Upotrebom *carving* skija taj stav ovisno o preferencijama skijaša može biti nešto uža (zatvoreni) ili nešto šira (otvoreni), a najčešće je otprilike u širini kukova iako se on mijenja tijekom faza zavoja ističu Yoneyama i sur., 2000 uspoređujući tradiciionalnu i carving skijašku tehniku. Na taj način moguće je u potpunosti iskoristiti konstrukciju carving skija bez da se u različitim fazama zavoja dodiruju vrhovi ili repovi skija. Prije pojave carving skija koristio se izrazito uski zatvoreni skijaški stav (Raschner i sur., 2001; Takahashi i Yoneyama, 2001). Širina stava mijenja se i ovisno u uvjetima na terenu kao npr. u uvjetima dubokog snijega ili grba, gdje se stav sužava s ciljem zadržavanja ravnotežnog položaja. Nadalje, u ovoj ravnini može se primijetiti distribucija pritiska na unutarnju i vanjsku nogu. Kao što je već rečeno, oslonac bi trebao dominantno biti na vanjskoj skiji na njenom unutarnjem rubniku te je tada i položaj ostalih dijelova tijela prilagođen tom osloncu (Bon i

sur., 2021). Također, u čeonj ravlini moguće je primijetiti kut pod kojim je skija postavljena na podlogu (Yoneyama i sur., 2008). Navedeni kut ovisi o kutu potkoljenica skijaša u odnosu na podlogu.

Vodoravna (transverzalna) ravlina dijeli tijelo skijaša na gornje i donje dijelove tijela. Iz ove perspektive moguće je vidjeti gibanja koja usmjeravaju skije u željenom smjeru (zavoju). Odnosno, vidljive su polukružne rotacije u zglobu kuka i u određenoj mjeri u zglobu koljena koja određuju smjer skija. Nadalje, u ovoj ravlini moguće je vidjeti i izuzetno važna bočna gibanja dijelova tijela. U određenoj fazi zavoja skijaš potiskuje pojedine dijelove tijela prema ili od centra zavoja kako bi pronašao ili održao optimalan ravnotežni položaj (Loland, 2009). Već ranije u kontekstu frontalne ravnine spomenuta su gibanja potkoljenice, odnosno naginjanje skija na bočne rubnike pod određenim kutom u odnosu na podlogu. Ona se također vide i u ovoj ravlini i izrazito su bitna za postavljanje skije na bočne rubnike kako bi se izbjeglo bočno otklizavanje skija navode (Yoneyama i sur., 2008; Sahashi i Ichino, 2001). Osim bočnih gibanja potkoljenica, skijaš izvodi bočna gibanja i u zglobu kuka te trupa kako bi zauzeo poziciju postraničnog luka (Loland, 2009) odnosno oslonac dominantno na vanjskoj skiji (Falda-Buscaiot i i sur., 2017; Cigrovski, 2021). S obzirom na spomenuto, gibanja u vodoravnoj ravlini vrlo su bitna u vidu zauzimanja optimalnog ravnotežnog položaja i usmjeravanja skija u zavoju (LeMaster, 1999; Müller i sur., 1998; Komissarov, 2020).

Skijaška gibanja vrlo su specifična te je vrlo bitno u procesu poučavanja upoznati skijaše početnike s njima. Gibanja donjeg dijela tijela ključna su u doziranju pritiska (Federolf i sur., 2008; Nakazato, Scheiber i Müller, 2011), postavljanja skija na bočne rubnike (Yoneyama i sur., 2008) i usmjeravanju skija dok gornji dio tijela prati gibanja nogu i služi za održavanje optimalnog ravnotežnog položaja tijekom zavoja (Müller i sur., 1998; Komissarov, 2020).

Prilikom izvođenja različitih vrsta zavoja navedena skijaška gibanja nije moguće strogo podijeliti. Sva navedena gibanja u određenoj mjeri sudjeluju u gotovo svim vrstama zavoja. Iako se u određenim elementima skijaške tehnike neka gibanja dominantno pojavljuju i ističu, neka gibanja su primjetna u svakoj fazi zavoja (Schöllhorn i sur., 2010). U protivnom, skijaš koji nije naučio i u određenom dijelu zavoja primijenio specifično gibanje, neće biti u stanju dozirati pritisak koji se javlja između skija i snježne podloge, postaviti ili maknuti skije s njihovih bočnih rubnika, niti će znati način kako skije rotirati prema, preko i od padne linije u zavoj k brijegu.

## 1.4. ZAVOJ

Alpsko skijanje je monostrukturni sport i zavoj je jedinica koja se ritmično ponavlja. Kontinuirano povezujući zavoje skijaši najčešće savladavaju padinu iako postoje i drugi načini poput spusta ravno ili spusta koso. Način savladavanja skijaške padine, odnosno vrsta zavoja koju će skijaš izvoditi prilikom savladavanja skijaške padine ovisi o uvjetima na terenu (nagib terena, snježnim uvjetima) i o skijaškom znanju ističu (Cigrovski, Matković, 2015). Uspješno izveden zavoj karakterizira rotiranje i usmjeravanje skija na njegovom početku (Müller i Schwameder, 2003), traženje oslonca na vanjskoj skiji (Falda-Buscaioti i sur., 2017), postavljanje skija na bočne rubnike najkasnije u padnoj liniji (Heinrich i sur., 2009), a onda završni dio zavoja izveden bez bočnog otklizavanja niz padinu (Komissarov, 2020). Ako su navedeni preduvjeti osigurani skijaš će imati kontrolu brzine i smjera kretanja. zaključuje LeMaster, 2010.

Bez obzira na širinu koridora u kojem se izvodi, na primijenjenu tehniku i uvjete na terenu (snježni uvjeti, nagib padine) skijaški zavoj može se podijeliti u nekoliko faza. Najčešće se dijeli na 3 faze prema (Müller i sur., 1998; Loland, 2009; Kim, J-H., Kim, J-N., 2017; Komissarov, 2020; Lešnik i Žvan, 2007). Podjela se može odnositi na akcije i pokrete koje skijaš mora izvesti u pojedinoj fazi zavoja. Prema tome postoje faza inicijacije zavoja, faza opterećivanja skija (dodavanja pritiska) i faza izlaska iz zavoja ističu (Falda-Buscaioti i sur., 2017; Spörri i sur., 2012; Müller, 1994). Osim prema akcijama i pokretima skijaša u pojedinoj fazi, zavoj se može podijeliti s obzirom na položaj skijaša u odnosu na padinu, odnosno na padnu liniju. U tom slučaju zavoj se može podijeliti na (početnu) fazu dolaska do padne linije, (središnju) fazu prelaska preko padne linije, (završnu) fazu odlaska od padne linije ističu (Müller i sur., 1998; Kim, J-H., Kim, J-N., 2017). U završnoj fazi ili fazi odlaska od padne linije skijaš se priprema za početak sljedećeg zavoja. U zavojima u kojima se koristi ubod skijaškog štapa, u toj fazi skijaš priprema vanjsku ruku laganim opružanjem za ubod štapa. Nakon uboda štapa skijaš odmiče koljena od brijega (centra zavoja) te se istovremeno opruža u gležnjevima, koljenima i kukovima podižući težište tijela kako bi smanjio silu pritiska na skije (Klous, Müller i Schwameder, 2012). Smanjujući pritisak na skijama, skijaš ih može rotirati, nagingati s jednih na druge rubnike i usmjeravati prema padnoj liniji. (Müller i Schwameder, 2003). Nakon rotiranja skija skijaš pokušava uspostaviti oslonac na njima postavljajući skije na unutarnje bočne rubnike pod određenim kutom u odnosu na snježnu podlogu (kut rubljenja) (Thorwartl i sur., 2023) i usmjeravati prema padnoj liniji (kut upravljanja) (Reid i sur., 2020). Skije bi najkasnije u trenutku prelaska preko padne linije trebale biti postavljene na bočne rubnike uz

optimalan pritisak njih. Skijaš tada započinje i spuštati težište tijela savijajući gležnjeve, koljena i kukove (Reid, 2010). Nakon prelaska preko padne linije skijaš se nalazi u srednjem ili nižem skijaškom stavu te vodi skije prema brijegu završavajući zavoj. Vođenje skije, kao što je već opisano, izvodi se donjim ekstremitetima kontinuiranim kružnim gibanjima prema naprijed i prema centru zavoja. Tada ponovno počinje priprema za sljedeći zavoj (Reid, 2010; LeMaster 2010). Ako skijaš primjeni optimalan pritisak na skije tijekom zavoja u odnosu na sile koje djeluju na njega, skije će se nakon prelaska padne linije savijati po uzdužnoj osi i biti na bočnim rubnicima (Komissarov, 2020). Ukoliko navedeno nije ispunjeno, one će bočno otklizavati niz padinu te skijaš neće moći izvesti zavoj po zamišljenom luku (Bon i sur., 2021). Povezujući tri prethodno opisane faze skijaš izvodi jedan cjelovit zavoj. Povezujući zavoje skijaš savladava skijašku padinu na kontrolirani i željeni način. U svakom zavoju, neovisno o primijenjenoj tehnici i elementu, skijaš iz neutralnog položaja skija na kliznoj površini, svojim gibanjima postavlja skije na bočne rubnike i dozira pritisak na njih u opisanim fazama. Isto tako, skijaš rotira i usmjerava skije prema ili od padne linije i tako izvodi zavoj (Loland, 2009).

Promatrajući paralelnu skijašku tehniku skijaš može zavoj izvesti na 3 načina. Pojedini načini izvođenja zavoja najviše ovise o razini skijaškog znanja. Skijaši slabije razine koji nisu savladali u potpunosti pravovremenost doziranja pritiska i vladanja sa silama koje su prisutne prilikom izvođenja zavoja najčešće zavoj izvode većinom pomoću bočnog otklizavanja skija. U takvom načinu izvođenja zavoja nedostaje skijaških gibanja te se skije prebrzo rotiraju prema padnoj liniji. Odnosno, kut upravljanja skijama je veliki te skije bočno otklizavaju (Müller, Klous i Wagner, 2009).

Zavoj se može izvesti i gotovo u potpunosti bez bočnog otklizavanja isključivo po bočnim rubnicima skija. Ukoliko su uvjeti na terenu optimalni te nagib padine primjeren, uz visoku razinu skijaškog znanja zavoj se može izvesti bez kuta upravljanja ili uz minimalan kut gdje su skije tijekom cijelog zavoja postavljene na bočne rubnike (Yoneyama i sur., 2008). Tijekom izvođenja takvog zavoja radijus skija jednak je radijusu zavoja koji se izvodi i u tom slučaju nema bočnog otklizavanja (Komissarov, 2020; Reid, 2010, Supej i sur., 2020).

U preglednom radu Hébert-Losier, Supej i Holmberg, 2013, zaključuju da se skijaški zavoj može se izvoditi i kombinacijom kontroliranog bočnog otklizavanja i postavljanjem skija na bočne rubnike. Kontroliranim otklizavanjem skijaš dolazi do padne linije, a nakon prelaska padne linije postavlja skije na bočne rubnike i završava zavoj. Ovaj način izvođenja zavoja

često primjenjuju skijaši dobre razine tehnike, ali i natjecatelji. Koristeći bočno otklizavanje skraćuju i odabiru direktniju putanju između vratiju a onda postavljaju skije na bočne rubnike od padne linije do završetka zavoja

Za upravljanje skijama tijekom izvedbe zavoja potrebna je pravovremena i koordinirana aktivnost čitavog tijela iako je udio pojedinih gibanja dijelova tijela skijaša različit. Najvažnija gibanja skijaša su u zglobovima nogu (fleksija i ekstenzija u gležnjevima, koljenima i kukovima te rotacije u kukovima i gležnjevima). Nadalje, sljedeća po važnosti su gibanja gornjeg dijela tijela (otklon te pretklon trupa) i konačno gibanja ruku (pravovremeno i pravilno ubadanje skijaških štapova te pozicija ruku tijekom ostalih faza zavoja). Uz to bitan je i položaj glave tijekom pojedinih faza zavoja.

## **2. OZLJEDE U ALPSKOM SKIJANJU**

Zimski sportovi postaju sve popularniji i dostupniji u zadnjih nekoliko desetljeća. Alpsko skijanje kao jedan od najpopularnijih zimskih sportova također bilježi sve veći broj rekreativnih skijaša. Povećanjem broja sudionika neminovno se povećava i broj ozljeda. Alpsko skijanje je sport koji se odvija u specifičnim okruženju. Sportaši su često izloženi raznim vremenskim uvjetima a pritom postižu velike brzine, moraju savladati zahtjevne staze, i terenske skokove. Iako su fizički pripremljeni na postavljene zahtjeve natjecanja, izloženi su riziku od ozljeđivanja. Rastući broj skijaša rekreativne razine također je izložen riziku. Zbog specifičnog okruženja u kojem se nalaze, velikog broja skijaša na stazi, opreme koju koriste i velike raznolikosti u starosnoj dobi i razini znanja, ozljede se događaju. Alpsko skijanje je specifična aktivnost i svakodnevne kretnje čovjeka razlikuju se od kretnji i gibanja koje čovjek izvodi na skijama (Burtscher i sur., 2013).

Kako bi se moglo utjecati na smanjenje rizika i frekvencije ozljeda potrebno je razumjeti koje su najčešće i kako one nastaju. Kao što je rečeno, alpsko skijanje odvija se u planinama te često veliki skijaški centri u neposrednoj blizini imaju klinike koje zbrinjavaju ozljede. Samim time postoje pouzdani podaci o prevalenciji nastanka ozljeda. Navedeni podaci iz velikog broja skijaških centara koriste se u svrhu poduzimanja određenih mjera prevencije.

U preglednom radu Davey i sur. (2018) koji obuhvaća istraživanja o ozljedama alpskih skijaša rekreativaca u periodu od 1996. – 2012. godine navodi se kako se najveći broj ozljeda

odnosi na ekstremitete. Prema dostupnim podacima ozljede donjih ekstremiteta od ukupnog broja čine između 43% i 77 % u alpskom skijanju. Ozljede gornjih ekstremiteta druge su po učestalosti, i njih čini prosječno 14% od ukupnog broja ozlijeđenih alpskih skijaša. Nakon toga slijede ozljede glave i vrata koje čine prosječno 13% uzevši u obzir sva obuhvaćena istraživanja u preglednom radu. Ozljede područja prsnog koša i abdomena događaju se u 5% a kralježnice u 2% slučajeva. Kao najčešća ozljeda izdvaja se ozljeda koljena koja se događa u otprilike 30% slučajeva. Najčešće ozljede koljena su istegnuća prednjeg križnog (ACL) i medijalnog kolateralnog ligamenta. Nakon ozljeda koljena sljedeće po učestalosti slijede ozljede zapešća (dislokacije/istegnuća ligamenata) i ramena (dislokacije) te ozljede potkoljenice.

Što se tiče razlike u spolovima, autori izdvajaju da se češće ozljeđuju muškarci u odnosu na žene (55% - 45%). Žene su sklonije ozljedama koljena (ACL), dok su muškarci skloniji frakturama što autori objašnjavaju činjenicom da su muškarci skloniji rizičnijem ponašanju na stazama.

Vezano uz starosnu dob Ekeland, Rødven i Heir (2018) proveli su istraživanje o pojavnosti ozljeda na rekreativnoj populaciji odraslih ( $\geq 20$  godina) i djece ( $\leq 12$  godina) skijaša i *snowboardera*. Pratili su ozljede na Norveškim skijalištima u sezoni 2010/2011 i 2011/2012. U tom periodu stopa ozljeda kod odraslih i djece je otprilike 1.12 ozljede na 1000 skijaša (1178 djece - 1326 ozljeda; 1989 odraslih - 2243 ozljede). Promatrajući vrste ozljeda, autori zaključuju kako je broj ozljeda pojedinih regija tijela približno isti, dok se određene regije značajno razlikuju. Kod djece je zabilježeno nešto više ozljeda gležnja (7 vs 5), gotovo 3 puta više ozljeda potkoljenice (19 vs 7). S druge strane, kod odraslih zabilježeno je značajno više ozljeda koljena (30 vs 22) i dvostruko više ozljeda ramena (14 vs 7).

Promatrajući područje na skijaškom terenu gdje se ozljeda dogodila, autori izdvajaju da se većina ozljeda dogodilo na označenoj skijaškoj stazi. Nadalje, 18% ozljeda djece i 13% odraslih dogodilo se u terenskim parkovima, gotovo dvostruko više ozljeda djece (14%) u odnosu na odrasle (8%) dogodilo se izvan označenih skijaških staza. Od ukupnog broja ozlijeđenih 31% djece bili su skijaši početnici dok je kod odraslih njih 15% prvi puta započelo sa alpskim skijanjem.

Dickson i Terwiel (2021) analizirali su trend ozljeda na kanadskim skijalištima u periodu između 2008 i 2018 godine. Tijekom tog perioda stopa ozljeda iznosila je 2,24 ozljede na 1000 skijaških dana, odnosno 1 ozljeda svakih 446 dana. Navedeno se odnosilo na sve

snježne aktivnosti. Autori su pratili pojavnost ozljeda na različitim razinama zahtjevnosti staza. 80% svih ozljeda dogodilo se na označenim skijaškim stazama. 47,3% dogodilo se na zelenim stazama od kojih je 73% skijaša početnika, 37% skijaša srednje razine, 23% naprednih rekreativnih skijaša i 18% odličnih skijaša. Nadalje, 40% ozljeda dogodilo se na plavim stazama, u omjeru 24% skijaša početnika, 44% skijaša srednje razine, 40% naprednih skijaša i 33% odličnih skijaša rekreativaca. Samo 13,2% ozljeda događa se na crnim stazama prema podacima autora a tek 3,8% na crnim stazama namijenjenima samo za odlične skijaše. Velika većina skijaških početnika (97%) ozljeđuje se na zelenim i plavim stazama a samo njih 3,5% na crnim stazama. Napredniji (62,4%) i odlični (50,9%) skijaši većinom se ozljeđuju također na zelenim i plavim stazama. Kao glavni mehanizam ozljeda autori navode pad koji je odgovoran za 79,6% svih ozljeda. Nakon pada slijedeći uzrok su sudari ili pokušaji izbjegavanja sudara (10,7%). Specifičnije gledano dominantni mehanizam ozljeđivanja je pad na plavoj ili zelenoj skijaškoj stazi pri kojem se događa 68,3% svih ozljeda.

Ozljede uzrokovane sudarom skijaša u skijaškim centrima analizirani su i u radu Wallner i sur. (2022). U 30 503 analiziranih sudara sudjelovalo je 52 430 skijaša (85,9%) i 8 576 snowboardera (14,1%). U sudarima, veći postotak skijaša (46,8%) je teško ozlijeđeno u odnosu na snowboardere (26,2%). Velika većina sudara dogodila na uređenim i označenim skijaškim stazama (>95%). Najčešće ozljede kod skijaša koje su se događale tijekom sudara su ozljede prsnog koša, mišića natkoljenice, zgloba kuka i ramena te koljena. To su uglavnom bila istegnuća, i prijelomi.

## **2.1. ŠKOLA SKIJANJA KAO MEHANIZAM PREVENCIJE OZLJEDA**

S obzirom na navedene podatke o trendovima i mehanizmima ozljeđivanja, nekoliko je mogućih mjera prevencija koje bi mogle učinkovito utjecati na smanjenu stopu ozljeđivanja alpskih skijaša. S obzirom na određen postotak ozljeda koji se događa u terenskim parkovima jedna od mogućih prevencija je dodatno usmjeravanje pažnje u izgled i sigurnosne mjere unutar terenskih parkova. Nadalje, dodatne mjere sigurnosti na označenim skijaškim stazama s obzirom na veliki broj ozljeda koje se događaju na uređenim stazama. Uređenje i osiguranje područja oko označenih skijaških staza također jedna je od mogućih preventivnih mjera. Nošenje zaštitne opreme a posebno kacige može pozitivno utjecati na smanjenje ozljeda. S obzirom da je veliki broj ozljeda uzrokovan padovima ili sudarima, kao jedan od razloga navedenim mehanizmima ozljeda je zasigurno i nedovoljna razina skijaškog znanja. Stoga kao

jedno od mogućih rješenja može biti povećanje udjela rekreativnih skijaša početnika koji pohađaju školu skijanja.

U prethodno navedenom radu Ekeland, Rødven i Heir (2018) zabilježena je nešto niža stopa ozljeda u odnosu na srodna istraživanja u drugim zemljama. U njihovom radu na uzorku norveških skijališta zabilježena stopa ozljeda skijaša i snowboardera bila je 1,27, dok je u radu Shealy i sur. (2015) zabilježena 2,8 na uzorku skijališta u SAD-u te je ista stopa zabilježena u radu Bianchi, Brügger i Niemann, (2017) na skijalištima u švicarskoj. Ekeland, Rødven i Heir (2018) navode da je mogući razlog to što u Norveškoj velika većina djece počinje alpsko skijati u školama skijanja u predškolskoj dobi te imaju vrlo dobro skijaško znanje a samim time u kasnijoj dobi manju mogućnost ozljeđivanja. Ekeland i Rødven (2005) su u svom istraživanju zabilježili razlike u stopama ozljeda između skijaša koji su pohađali školu skijanja i onih koji nisu. Kod skijaša koji su pohađali školu skijanja stopa ozljeda iznosila je 1,4 dok je kod onih koji nisu pohađali iznosila 1,5. Iako je dobivena razlika bila statistički značajna, minimalna je. Autori navode da u nekoliko istraživanja obuhvaćenih u njihovom preglednom radu nije utvrđen učinak škole skijanja na smanjenu stopu ozljeđivanja. S druge strane, Ettlinger, Johnson i Shealy (1995) proveli su istraživanje na 20 skijaških centara u SAD-u. zadatak učitelja bio je da svojim polaznicima dodatno naglašavaju i educiraju ih o sprječavanju nastanka ozljede ACL-a. Rezultati su pokazali kako su polaznici škole skijanja u kontrolnoj grupi smanjili broj ozbiljnih ozljeda ACL-a za 62%.

Mali broj istraživanja bavi se utjecajem škole skijanja na prevenciju ozljeda alpskih skijaša. Na temelju spomenutih istraživanja može se tvrditi kako škola skijanja može imati određene učinke kod smanjenja broja ozljeda. Ukoliko ne može direktno utjecati na smanjeni broj, zasigurno može indirektno pomoći u smislu podizanja razine skijaškog znanja sudionika na skijaškim stazama (Hébert-Losier, Holmberg, 2013). Na taj način, zbog sve većeg broja skijaša na stazama i mogućnosti sudara, viša razina usvojenosti skijaškog znanja može pozitivno utjecati na mogućnost izbjegavanja sudara. Uostalom u nekoliko prethodno navedenih istraživanja većina ozlijeđenih skijaša bili su skijaši početnici. Škola skijanja je najučinkovitiji način kako savladati tehniku alpskog skijanja. Stoga, poželjno je uključivati skijaše početnike u škole alpskoga skijanja kako bi se smanjio broj početnika i slabijih skijaša te tako neposredno smanjio rizik od ozljeđivanja odnosno broj ozljeda na skijalištima.

### **3. ŠKOLA ALPSKOGA SKIJANJA**

#### **3.1. VAŽNOST ŠKOLE SKIJANJA**

Kao što je već prethodno navedeno, alpsko skijanje može se opisati kao specifična aktivnost koja se sastoji od kompleksnih i neuobičajenih gibanja za ljudsko tijelo (Burtscher i sur., 2013). Svakodnevne kretnje čovjeka, gledajući obrasce gibanja, razlikuju se od kretanja na skijama, a pogotovo od izvođenja zavoja. Također, već je spomenuto kako se zavoj izvodi bilateralno s obje noge na tlu, dok se svi ostali oblici čovjekova kretanja, hodanja i trčanja izvode unilateralno (Bon i sur., 2021). Osim toga, skije su ovisno o antropometrijskim karakteristikama odrasle osobe relativno dugačke te su pričvršćene za stopala. Propriocepcija i osjećaj za ravnotežu uvelike je narušen prilikom izvođenja najosnovnijih kretnji sa skijama. Potrebno je određeno vrijeme kako bi se adaptirali na osjećaj za poziciju stopala tj. skije na položaj u odnosu na tijelo i prostor (Malliou i sur., 2004). Navedeno predstavlja izazov za skijaše početnike, te je potrebno određeno vrijeme i primjena metodičkih vježbi kako bi se prilagodili na kretanje na skijama. Tek nakon adaptacije moguće je započeti sa učenjem osnovnih skijaških gibanja i zadataka s konačnim ciljem usvajanja različitih skijaških zavoja (Cigrovski i sur., 2022).

S obzirom na navedene poteškoće s kojima se susreću početnici važno je da se odluče za stručnu pomoć prilikom savladavanja skijaške tehnike (Whiting, 2011). Alpsko skijanje je specifičan sport koji se provodi u hladnim snježnim uvjetima, u prirodnom okruženju na otvorenom i na nadmorskim visinama najčešće iznad 1500 metara (Turnbull, Kilding i Keogh, 2009; Hartmann i sur., 2005; Burtscher i sur., 2019). Zbog svojih specifičnih uvjeta odabir optimalne opreme vrlo je važan za samu izvedbu. Nužno je prije svega odabrati prikladnu skijašku opremu kako bi imali preduvjete za uspješno savladavanje tehnike alpskog skijanja. Vrlo često skijaši početnici nisu upoznati sa načinom odabira prikladne opreme što uvelike otežava proces poučavanja i povećava rizik od ozljede, zaključuje grupa autora koja je promatrala uzroke nastanka ozljeda u skijanju (Ekeland, Holtmoen, Lystad, 1993; Sulheim i sur., 2011) Ukoliko se odluče na samostalno savladavanje tehnike alpskoga skijanja ne mogu se savjetovati sa stručnom osobom oko odabira. Kao najvažniji dio opreme prvo je potrebno izabrati skijašku cipelu (optimalna veličina, tvrdoća). Isto tako potrebno je odabrati optimalne skije s obzirom na antropometrijske karakteristike (dužina, tvrdoća i radijus). Nadalje, potrebno je optimalno podesiti skijaške vezove u odnosu na skijašku cipelu i tjelesnu težinu (Božić i sur., 2019). Sve spomenuto skijaš početnik nije u stanju izabrati sam, bez stručne pomoći.

Nakon odabira odgovarajuće opreme, pristupanje školi skijanja najučinkovitiji je način savladavanja skijaške tehnike, navode Cigrovski i Matković, 2015. Učitelj skijanja osposobljena je osoba koja odabire i primjenjuje prikladne metodičke vježbe i način poučavanja početnika. Također, educirana je odabrati odgovarajući skijaški teren na kojem će moći provoditi određeni program prikladan za razinu znanja, zaključuju autori. S obzirom na porast broja rekreativnih skijaša, često se na stazi nalazi vrlo veliki broj skijaša što povećava rizik od sudara i ozljeda posebno za skijaša početnika navode (Wallner i sur., 2022) u svojoj longitudinalnoj studiji. Isto tako, nakon prolaska velikog broja skijaša na terenu se stvaraju grbe i neravnine koje značajno otežavaju kretanje po terenu posebice skijaškom početniku (LeMaster, 1999). Odabir prikladnog terena ključan je u prvim satima prilagodbe na skijašku opremu i kretanja na skijama. Na ravnom ili vrlo blagom terenu uglavnom se nalaze učitelji skijanja sa svojim polaznicima te je samim time takav teren manje opasan za sudare s drugim skijašima (Božić i sur. 2019).

Uzeći u obzir uvjete i potrebnu opremu za alpsko skijanje može se zaključiti kako su potrebni određeni financijski izdaci. (Cigrovski, Radman i Novak, 2013). Iz tog razloga manji dio ali određeni skijaški početnici odlučuju se na samostalno savladavanje tehnike skijanja ili uz pomoć nestručne osobe. Navedeno se događa u cilju financijske uštede ili misleći da će na taj način ubrzati proces učenja i što više iskoristiti skijaške dane. Nažalost vrlo često takvi slučajevi donose upravo suprotne učinke kao što je ozljeđivanje i samim time puno veće financijske izdatke i nemogućnost iskorištavanja skijaških dana (Ekeland, Rødven i Heir, 2018; Sulheim i sur., 2011).

Vrlo važna stavka u procesu škole skijanja je program po kojem se ona provodi. Danas u svijetu postoje različiti programi i pristupi poučavanja skijaške tehnike. Svi imaju logično postavljen metodički put kako bi se znanje usvajalo postepeno. Svi programi temelje se na savladavanju skijaških elemenata koji predstavljaju osnovu za daljnju nadogradnju skijaške tehnike. Konačni cilj je mogućnost polaznika da savlada nekoliko različitih vrsta zavoja. (LeMaster, 2010; Božić, 2019). Bez obzira na različitosti programa i metoda poučavanja svi početnici u školi skijanja usvajaju specifična skijaška gibanja koja se pojavljuju u svim tehnikama skijanja te su nezaobilazna u ulozi upravljanja skijama (LeMaster, 2010; Loland, 2009). Zbog svega navedenog može se tvrditi da je najučinkovitiji i najsigurniji način savladavanja tehnike alpskog skijanja pohađanje škole skijanja (Cigrovski, Matković, 2015).

### 3.2. PROGRAMI ŠKOLE SKIJANJA

Dakle iako postoje različiti programi poučavanja, dva su najčešća pristupa prema (Cigrovski, Matković, 2015). Prvi način poučavanja sastoji se od elemenata plužne i paralelne skijaške tehnike. Prilikom poučavanja, polaznici izvode određene elemente koji pripadaju plužnoj tehnici i određene koji pripadaju paralelnoj. Isto tako neki elementi sadrže kombinaciju navedenih tehnika pa se tako prvi dio zavoja izvodi u plužnoj poziciji skija a drugi dio zavoja u paralelnoj. Drugi pristup temelji se isključivo na paralelnoj skijaškoj tehnici, odnosno na izvođenju zavoja gdje su skije cijelom duljinom zavoja paralelne (Cigrovski, Matković i BR Matković, 2010).

Kao što je spomenuto jedan od načina poučavanja skijanja je primjenom elemenata različitih skijaških tehnika. Tom metodom učenja uglavnom se koriste elementi plužne i paralelne skijaške tehnike. Glavna prednost navedene metode je stabilnost i relativno jednostavno održavanje ravnotežnog položaja skijaša početnika u plužnom položaju skija. Plužni položaj skija nalikuje na jednakokranični trokut gdje su stražnji dijelovi skija rašireni a prednji dijelovi blago razmaknuti jedan od drugog. Na taj način skijaš tvori veliku oslonačnu površinu i projekcija težišta tijela uvijek se nalazi unutar oslonačne površine (Neuwirth i sur., 2020). Isto tako, skijaš jednostavno može kontrolirati brzinu kretanja oslanjajući skije na unutarnje rubnike potiskujući koljena i kukove naprijed i unutra, ističu (Kim, JN i sur., 2016). Zbog svojih biomehaničkih karakteristika zahtijeva sporije skijanje i ne prelaze se velike udaljenosti. Svi sljedeći skijaški elementi naučeni primjenjujući ovu metodu također zahtijevaju veću pozornost na individualnoj demonstraciji pojedinog zadatka i ispravljanju pogrešaka (Lešnik, Žvan, 2010). S obzirom na već spomenutu zahtjevnost prilagodbe skijaša početnika na kretanje na skijama, vrlo često se susreću s problemom održavanja ravnoteže na skijama. Skijaški početnici trebaju pronaći pravilnu ravnotežu na skijama, a oni koji imaju bolju ravnotežu brže će naučiti skijati zaključuje (Staniszewski i sur., 2016.) na temelju svojeg istraživanja. Ravnoteža je sposobnost koja razlikuje skijaške početnike koji brže uče (Loland, 2009). Osim toga, i koordinacija je sposobnost koja pomaže u postizanju ravnoteže na skijama kao i na snježnoj podlozi te ubrzava proces učenja. (Wojtyczek i sur., 2014.). Prilikom izvođenja zavoja sa paralelno postavljenim skijama a posebnu u trenutku kada se skijaš nalazi u padnoj liniji, projekcija težišta tijela izlazi iz oslonačne površine čime se znatno narušava dinamička ravnoteža (Reid, 2010). Dobri skijaši uz pomoć skijaških gibanja i korištenjem sila koje djeluju na skijaša zadržavaju ravnotežni položaj i usmjeravaju skiju od padne linije (Komissarov, 2020). Skijaši početnici još uvijek nisu savladali skijaška gibanja u toj mjeri stoga

im je prve zavoje jednostavnije izvoditi u plužnom kao što je navedeno. Sva skijaška gibanja u određenoj mjeri koriste se u svim vrstama zavoja pa tako i u plužnom zavoju (Schöllhorn i sur., 2010; Cigrovski, Matković, 2015). Zbog spomenutih karakteristika plužnog položaja, idealan je za izvođenje prvih zavoja kod početnika i upoznavanja sa skijaškim gibanjima. Početnik će imati vremena razmisliti o gibanjima koja treba izvesti u točno određenom trenutku zavoja. S druge strane učitelj će moći pratiti izvedbu i davati upute skijašu s obzirom na kontroliranu brzinu kojom se element izvodi (Lešnik i Žvan, 2010). U trenutku kada skijaš savlada izvođenje zavoja plužnom tehnikom učenje bi se postepeno trebalo usmjeravati ka izvođenju zavoja paralelnom tehnikom. Određeni skijaški elementi i metodičke vježbe u sebi sadrže dijelove zavoja koji se izvode plužnom i dijelove koji se izvode paralelnom tehnikom. Proces učenja trebao bi se usmjeravati u postepeno micanje plužne tehnike iz dijelova zavoja dok se zavoj u cijelosti ne počne izvoditi paralelnom tehnikom. (Hintermeister i sur., 1997; Neuwirth i sur., 2020). Hintermeister i sur., 1997 u svom radu navode da je najčešći način micanja plužne tehnike iz zavoja krenuvši od završetka zavoja prema početku. Isto spominju i (Cigrovski, Matković, 2015). Postoji mnogo metodičkih vježbi koje se koriste kako bi se prethodno navedeno i ostvarilo. Glavni postulat vježbi je usvajanje specifičnih skijaških gibanja kako bi skijaš zauzeo optimalan položaj u skijaškom stavu uz bočni otklon tijela (Loland, 2009) te težinom dominantno raspoređenom na vanjsku nogu (Falda-Buscaioti i sur., 2017), u kojem može bez gubitka ravnoteže koristiti ta gibanja kako bi upravljao skijama (Komissarov, 2020). S obzirom na prirast brzine sva gibanja moraju biti pravovremena točno određenim redoslijedom izvedena. Tada skijaš postupno može prelaziti iz plužnog u paralelni položaj skija (Cigrovski, Matković, 2015). Posebno se odnosi na fazu prelaska preko padne linije koja je najzahtjevnija za skijaše s obzirom na najveći prirast brzine u tom dijelu zavoja te se događa gubitak kontrole ukoliko skijaš ne zna svojim gibanjima iskoristiti sile koje djeluju na njega te ih usmjeriti od padne linije (Komissarov, 2020). Navedeno ukazuje kako korištenje plužne tehnike, odnosno plužnog položaja skija tijekom procesa poučavanja zbog karakteristika koje posjeduje za skijaške početnike doprinosi stabilnosti na skijama, boljoj dinamičkoj ravnoteži te im pomaže prilikom kontrole brzine za vrijeme izvođenja zavoja (Cigrovski, Matković i BR Matković, 2010; Neuwirth i sur., 2020).

S obzirom na različite uvjete u skijaškim centrima, škole skijanja prilagodile su svoj program kako bi najbolje odgovarao tim uvjetima (Cigrovski i sur., 2014). Već je spomenut način poučavanja paralelne tehnike bez korištenja elemenata drugih tehnika, odnosno plužne tehnike. Takav pristup forsira paralelno poučavanje od početka i poznat je kao izravan način

učenja (Murovec, 2006). Takvi programi mogu biti isto učinkoviti u savladavanju paralelnog zavoja kao i tradicionalna metoda, međutim treba biti pažljiv. Cigrovski i Matković, 2015 u svom radu naglašavaju da s obzirom na karakteristike paralelne tehnike, određeni elementi i gibanja se preskaču u procesu poučavanja u odnosu na tradicionalnu metodu. Upravo iz tog razloga treba biti pažljiv da se skijaš početnik ne zakine za određeni motorički obrazac ili gibanje koje možda nije nužno u tom trenutku ali će doprinijeti njegovoj skijaškoj tehnici u kasnijoj fazi procesa poučavanja.

(Murovec, 2006) u svojem radu naglašava da, s druge strane takvi programi koji u sebi ne sadrže elemente pluzne tehnike dinamičniji su te se početnici od samog početka brže kreću na skijama te izvede kontinuirane zavoje za svladavanje tehnike skijanja. Studija koju su proveli Lee i suradnici (2014) sugerira da skijaši koji prelaze veće udaljenosti na skijama imaju veći užitak u skijanju, što bi u konačnici moglo dovesti do stjecanja boljeg skijaškog znanja i pozitivnog stava prema skijanju, čineći ga sportskom aktivnošću kojom se redovito bave (Burtscher i sur., 2019). Stoga bi veća prijeđena udaljenost na skijama moglo biti potencijalno učinkovitiji način učenja alpskog skijanja od više "statičnog" učenja tijekom kojeg se prelaze kraće udaljenosti na skijama. Ukoliko dinamika nije optimalna za skijaša početnika proces učenja neće biti maksimalno učinkovit. Vrlo je bitno da se u procesu poučavanja ne preskaču određene metodičke vježbe i elementi neovisno o dobrom napretku skijaša početnika. Svaka vježba i element sadrže određeni zadatak koji je specifičan za određenu fazu zavoja ili položaj skijaša. Skijaš početnik treba sakupiti što je moguće više motoričkih obrazaca kako bi ih kasnije mogao primjenjivati tijekom skijanja ne razmišljajući o njima (Lešnik i Žvan, 2010). U istraživanju koje su proveli Giraldo i sur., 2010. zaključuju kako prebrza dinamika vrlo lako može dovesti do ozljeda uslijed izvođenja elemenata koji nisu u mogućnosti skijaša s obzirom na trenutne sposobnosti i znanje. S druge strane, ukoliko je dinamika prespora, skijaš može izgubiti interes te osjetiti zasićenost i nezadovoljstvo školom skijanja (Cigrovski i sur., 2007).

U svijetu postoji veliki broj različitih programa učenja alpskog skijanja, kao što je već navedeno iako različiti, svi imaju isti primarni cilj – uključivanje skijaških početnika u školu alpskog skijanja. Tek nakon uključivanja u škole skijanja cilj programa je naučiti početnike specifičnim skijaškim gibanjima i elementima skijaške tehnike te ih osposobiti za samostalno savladavanje skijaških padina (LeMaster, 2010.).

### **3.3. ULOGA UČITELJA SKIJANJA**

Unatoč prethodno navedenim uvjetima koji su nezaobilazne sastavnice škole skijanja (teren, oprema, program) učitelj je također vrlo važna stavka u procesu poučavanja. Učitelj skijanja trebao bi prepoznati individualne mogućnosti i sposobnosti skijaša početnika te ovisno o tome određenom dinamikom provoditi proces (Cigrovski, Matković, 2015). Stručnost i iskustvo učitelja u tom procesu su ključni za osiguravanje optimalnog napretka skijaša početnika. On bi trebao prepoznati kada je početnik spreman za složenije elemente skijanja u procesu poučavanja. Isto tako, učitelj bi trebao na temelju iskustva i trenutnog znanja skijaša početnika odabrati točno određene vježbe koje su biomehanički najprikladnije za početnika i njegove tehničke nedostatke (Lešnik i Žvan, 2010). Također, odgovaran je za odabir prikladnog terena u određenoj fazi procesa poučavanja. Nagib padine, snježni uvjeti, broj ljudi na određenoj stazi, uvelike utječu na proces provođenja programa i napredak skijaša početnika. Osim subjektivne procjene motoričkih sposobnosti i razine usvojenog skijaškog znanja učitelj isto tako mora prepoznati psihičko stanje, motivaciju i zadovoljstvo skijaša početnika te njegov interes prema zadacima koje mu zadaje (Cigrovski i sur., 2007; Cigrovski i sur., 2018).

Stručnost i iskustvo učitelja skijanja važni su faktori koji određuju ishod procesa poučavanja. Skijanje se provodi u specifičnim uvjetima te se, gledajući biomehaničke karakteristike, znatno razlikuje od aktivnosti koje se pojavljuju u svakidašnjem životu. Iz tog razloga skijaši početnici nemaju sliku o kvaliteti vlastite izvedbe zadanog zadatka. Martínez i sur. (2016) proveli su istraživanje o važnosti povratnih informacija. Rezultati pokazuju kako jasna demonstracija i detaljne povratne informacije o izvedbi znatno utječu na ishod procesa poučavanja. Povratne informacije posebno su bitne kako bi skijaš početnik imao viziju koje gibanje mora napraviti, kada dozirati pritisak u kojem trenutku, dijelu zavoja.

Učitelj stoga, mora vrlo dobro poznavati biomehaničku strukturu elemenata i metodičkih vježbi koje se primjenjuju. Također, mora prepoznati na temelju izvedbe skijaša početnika koja je od nekoliko grešaka koje se pojavljuju ključna. Ukoliko se u procesu ne identificira ključna greška koja onemogućava skijašu da izvede određeni zadatak, napredak neće biti moguć. Učitelji su educirani i teoretski poznaju biomehaničku strukturu elemenata, isto tako educirani su da subjektivnom procjenom ocjenjuju kvalitetu izvedbe i na temelju toga izabiru sljedeću vježbu odnosno zadatak, faktor pogreške je uključen. (LeMaster, 2009).

Znanstvena potkrepljenja o biomehaničkoj strukturi elemenata škole skijanja su rijetka. Objektivni pokazatelji o skijaškom zavoju uglavnom su određeni za izvedbe natjecatelja

(Hébert-Losier, Supej, i Holmberg, 2013). Stoga, učitelji imaju težak zadatak prilikom analize izvedbe i vođenja procesa iz razloga što se oslanjaju na vlastitu subjektivnu procjenu.

#### **4. BIOMEHANIČKA ANALIZA**

Biomehanika je disciplina koja proučava i izvodi fizikalne analize pokreta ljudskog tijela. Biomehanika sporta skup je multidisciplinarnih znanja iz biomedicinskih znanosti potpomognutih mehanikom i tehnologijom. (Márquez i sur., 2018). Odnosno, koristi se spoznajama iz biologije, anatomije, fiziologije (živčano-mišićni sustav) i principima mehanike uz određene tehnološke sustave (Kolb i sur., 2018). Na taj način služi kao alat za promatranje i analizu ljudskog tijela za vrijeme gibanja i sekundarno u rješavanju problema mehanike koji utječu na ljudsko tijelo u gibanju (Márquez i sur., 2018). Dakle, cilj biomehanike u sportskim aktivnostima je definiranje i usavršavanje tehnika kretanja. Osim toga, prema Grigorenko, Pliska i Sorochenko (2018) važna uloga biomehanike je i procijeniti odnos između izvedenog pokreta ili gibanja i utroška energije prilikom obavljanja tog istog pokreta ili gibanja, a u cilju njegove optimizacije odnosno maksimalne izvedbe. U domeni znanosti o sportu pomoću ove discipline postignut je značajan doprinos na nekoliko relevantnih i promatranih područja kao što su objektivna analiza različitih elemenata tehnike te usavršavanje istih, analiza različitih gibanja u cilju prevencije ozljeda, poboljšanje performansi vrhunskih sportaša, ergonomska optimizacija sportske opreme i drugo. Dakle, biomehanika omogućuje kineziolozima znanstvenu podlogu prilikom analize pokreta (Payton i Burden 2017).

S obzirom na sport-specifične i situacijske uvjete u kojima se izvode sportske aktivnosti ili promatrana gibanja često je vrlo zahtjevno provesti postupak mjerenja u terenskim uvjetima pa i u laboratorijskim. Za navedeno potrebni su sustavi koji mogu prikupljati i obrađivati veliku količinu podataka te educirani stručnjaci koji mogu provoditi proces mjerenja i analizirati dobivene podatke. U samim počecima mjerni uređaji bili su kompleksni u smislu kalibracije, provedbe samog mjerenja i analize podataka. Navedeni proces nerijetko je trajao mjesecima. U današnje vrijeme moguće je uspješno mjeriti, obrađivati i analizirati sportsku aktivnost u situacijskim uvjetima čak i u realnom vremenu na terenu (Márquez i sur., 2018). Ljudski pokret može se promatrati sa nekoliko aspekata pa sukladno tome, biomehanika se može se podijeliti na tri grane, elektromiografiju, kinematiku i kinetiku.

Elektromiografija (EMG) je grana biomehanike koja se koristi za bilježenje promjena u električnom potencijalu mišićnih vlakana koji je povezan s njihovom kontrakcijom (Zatsiorsky, 2002). Nakon što se motorneuron isprazni, akcijski potencijali se stvaraju na njegovim neuromuskularnim spojevima i zatim se šire duž svih mišićnih vlakana, prema regijama tetiva. Zbroj ovih potencijala naziva se akcijski potencijal motoričke jedinice i odgovoran je za kontrakciju mišića (Guyton, 2011). EMG u sportu se koristi kako bi se pratila aktivnost mišića, redoslijed njihovih uključivanja tijekom nekog pokreta, jačina potencijal u nekom pokretu. Također, koristi se kod detekcije ozljeda i kao kontrola mišićne funkcije u procesu oporavka od ozljeda. Postoje površinska EMG gdje se elektrode pričvršćuju na kožu iznad mišića ili intermuskularna gdje se elektrode pozicioniraju direktno u mišić. Posljednje navedena je mnogo invazivnija te se rijetko koristi u vrhunskom sportu (Turker i Sze, 2013). Kinematika proučava gibanja tijela bez analiziranja sila koje uzrokuju to gibanje. U kinematičkoj analizi, potpuni i točni kvantitativni opis čak i najjednostavnijeg pokreta zahtijeva velike količine podataka i varijabli (An, 1984). Cjelokupna kinematička analiza bilo kojeg segmenta tijela u prostornom sustavu zahtijeva i nekoliko referentnih točki (senzora). Varijable koje se koriste prilikom analiziranja pokreta segmenata tijela su najčešće njihove pozicije u odnosu na prostor, pozicije jednog u odnosu na drugi, linearnu brzinu i ubrzanje, kutnu brzinu i ubrzanje, orijentaciju i centar mase (Zatsiorsky, 1998).

U prošlosti za kinematičku analizu koristile su se video-kamere kojom su se snimali određeni segmenti nekog motoričkog gibanja. Kako bi se mogli dobiti valjani kvantitativni podaci o tom gibanju, na segmente tijela i zglobove postavljali su se reflektirajući markeri koji su označavali poziciju segmenta ili zgloba u 2D koordinatnom sustavu. Navedeni senzori u određenoj mjeri utjecali su na izvedbu ispitanika lijepljenjem na površinu kože. Prilikom analize često se događalo da određeni senzori ne bi bili vidljivi na video-kameri. Navedene situacije zahtijevale su potom ručno označavanje pozicije tog senzora (interpolacije). Na ovaj način svaka sličica u sekundi snimljenog gibanja morala se provjeriti zbog vidljivosti senzora. Nadalje, ukoliko se segment tijela pomaknuo u trećoj ravnini, 2D sustav prepoznao je to kao promjenu kuta ili brzine segmenta tijela. Navedeno je otežavalo analizu i iziskivalo mnogo vremena prilikom analize. Isto tako prije početka analize bilo je potrebno kalibrirati sustav postavljanjem nekoliko markera u određenom kutu i na određenoj udaljenosti jedan od drugog kako bi kasnije prilikom analize navedeni podaci služili kao referentne vrijednosti. 3D sustavi koristili su nekoliko video-kamera postavljenih u prethodno kalibriranom prostoru kako bi snimali tijelo prilikom izvedbe iz nekoliko kutova. Navedeni sustavi su napredniji, međutim,

također su iziskivali mnogo vremena prilikom analize zbog provjere vidljivosti svakog markera u svakoj sličici u sekundi promatranog video zapisa. (Payton i Burden 2017).

U današnje vrijeme za kinematičku analizu koriste se inercijski i magnetni senzori sa pripadajućim softwareom. Navedeni senzori sastoje se od akcelerometra, žiroskopa i magnetnog senzora (Lebel i sur., 2017; Sprager i Juric, 2015). Na taj način sustav može mjeriti linearnu brzinu i ubrzanje, kutnu brzinu i ubrzanje te orijentaciju segmenta (senzora) u prostoru. Senzori su najčešće veličine od nekoliko centimetara i izrazito lagani. Najčešće se postavljaju u odijelo koje ispitanik prethodno oblači na sebe. Iz tog razloga neinvazivni su i gotovo uopće ne utječu na izvedbu (Chardonens i sur., 2013). Kalibracija navedenih sustava izvodi se unošenjem antropometrijskih mjera ispitanika te izvođenjem jednostavnog motoričkog zadatka poput hodanja ili zadržavanja predefinirane pozicije određeno vrijeme te na taj način sustav kalibrira pozicije senzora. Pripadajući softwarei omogućuju jednostavniju analizu gibanja čak i u realnom vremenu (Brennan i sur., 2011).

Kinetika proučava odnose između sustava sila koji djeluju na tijelo i promjene u gibanju tijela koje su uzrokovane istim tim silama (Zatsiorsky, 2002). Podaci o silama i pritiscima koji djeluju tijekom tjelesne aktivnosti omogućuju razumijevanje načina na koji sportaš koristi svoje tijelo kako bi izvodio određena gibanja ili pokrete. Isto tako važne su informacije o tome kako te sile nastaju i kakav učinak imaju na tijelo ili unutar tijela sportaša. Dakle, znanje o silama i pritiscima pomaže u razumijevanju izvedbe sportaša i mehanizmima ozljeda (Hall, 2019).

Kinetička analiza ponekad može biti zahtjevna jer se neke proizvedene sile ne mogu promatrati na temelju njihovih učinaka zato što su oni vidljivi samo unutar struktura mišića, na primjer održavanje statičke posture (Godfrey i sur. 2008). Kao što je već spomenuto kinetička analiza dominantno istražuje i proučava sile i pritiske koji se javljaju tijekom određenog motoričkog gibanja. Djelovanje sila se najčešće dijeli na unutarnje i vanjske. Unutarnje podrazumijevaju one koje su nastale unutar tijela čovjeka, odnosno proizveli su ih mišići. Vanjske sile su one koje nastaju u prirodi (sila otpora zraka, gravitacija). Postoje i sile koje nastaju kao rezultat interakcije (kontakta) između tijela i okoline. Vanjske sile mogu se izračunati na temelju matematičkih modela, dok se kontaktne sile moraju izmjeriti određenim uređajima. Tada one mogu poslužiti u dobivanju cjelokupnog modela gibanja tijela u određenoj situaciji (Payton i Burden, 2017).

Iz navedenih potreba kroz povijest su se razvijali mjerni uređaji koji mogu registrirati navedenu silu. U prošlosti to su bile fiksne platforme ugrađene u tlo laboratorija te su mogle registrirati silu u Newtonima (N) tijekom kontakta stopala sa podlogom (Hall i sur., 1996; Fairburn i sur., 2000). U današnje vrijeme pravokutne metalne platforme različitih dimenzija (puno manjih nego u prošlosti) su prenosive te se mogu postavljati i izvan laboratorija. Platforme registriraju sile reakcije podloge koje su rezultat apliciranja sile tijela na platformu te su identične ali suprotnog djelovanja. Najčešće omogućuju mjerenje varijabli sile reakcije podloge u 3 smjera (koordinatnog sustava-  $x,y,z$ ), točku kontakta tijela sa platformom u dvije koordinate te moment trenja oko vertikalne osi (Street i sur., 2001).

U kinetičkoj analizi prilikom opisivanja ljudskog gibanja koristi se i sila pritiska i njegove distribucije tijekom kontakta sa tlom. Senzori koji mjere pritisak mogu biti vrlo mali do 5 mm površine. Uređaji za mjerenje pritiska mogu također, kao i platforme za mjerenje sile, biti kvadratni i fiksno postavljeni u tlo u laboratoriju ili prijenosni. Također u današnje vrijeme vrlo često se koriste uređaji za mjerenje pritiska stopala u obliku uložaka koji se postavljaju u obuću (Nigg, 2006). Vrlo su tanki (2 mm) i lagani te ne utječu na mjereno gibanje. Pomoću takvih uložaka moguće je mjeriti pritisak stopala na podlogu u situacijskim uvjetima na terenu. Ulošci najčešće mjere pritisak na stotinjak točki (senzora) na ulošku ili na različitim regijama stopala (prsti, peta, medijalni dio stopala, lateralni dio stopala (Fong i sur., 2008).

#### **4.1. BIOMEHANIČKA ANALIZA U SKIJANJU**

Već je navedeno kako je alpsko skijanje specifičan sport zbog uvjeta u kojima se odvija a to su relativno visoke nadmorske visine, izloženost hladnim vremenskim uvjetima, snježna podloga (Burtscher i Ruedl, 2015). Međutim za alpsko skijanje specifično je i to što vanjske sile imaju značajan utjecaj na tijelo skijaša (Lind i Sanders, 1996). Prethodno je detaljnije opisano djelovanje sila na skijaša. Alpsko skijanje isključivo se izvodi na terenu koji ima određeni nagib. Sila gravitacije djeluje na tijelo i privlači ga prema dolini (Renshaw i Mote, 1989). Sila otpora zraka djelomično usporava gibanje tijela prema dolini (Supej i sur., 2023). Nadalje, sila trenja između snježne površine i skija omogućuje njihovo klizanje niz padinu, a sila reakcije podloge omogućuje usmjeravanje skija u željenom pravcu (Jentschura i Fahrbach, 2004). Centrifugalna sila odmiče skijaša od osi rotacije zavoja, a centripetalna sila privlači skijaša prema osi rotacije zavoja koju predstavlja skija postavljena na bočne rubnike. (LeMaster, 2010). Skijaš savladavajući padinu izvodi različite vrste zavoja kako bi se

kontrolirano spustio niz padinu. S obzirom na utjecaj navedenih vanjskih sila, skijaš mora iskoristiti i kontrolirati njihovo djelovanje i u određenim dijelovima zavoja im se oduprijeti kako bi uspješno izveo zavoj (Reid, 2010). Navedeno se ostvaruje unutarnjim silama odnosno, gibanjima tijela koje su produkt mišićnih kontrakcija. Kako bi u tome uspio, skijaš mora zauzeti optimalan položaj i prilagođavati ga kako se kreće prema završnoj fazi zavoja (Komissarov, 2020). Također i skijaška gibanja su prethodno detaljnije opisana. Skijaš mora postaviti potkoljenice pod određenim kutom na snježnu površinu kako bi optimalno postavio skije na bočne rubnike (Yoneyama i sur., 2008) , kompenzirati poziciju donjih ekstremiteta kako ne bi izgubio ravnotežni položaj pomicanjem trupa prema naprijed i prema osi rotacije zavoja pod točno određenim kutom (Loland, 2009). Vertikalnim gibanjima tijela u odnosu na padinu skijaš optimalno dozira pritisak na skije (Nakazato, Scheiber i Müller, 2011). Dakle prilikom izvođenja zavoja na skijaša djeluju vanjske sile koje on kontrolira i iskorištava na način da mišićnim kontrakcijama stvara unutarnje sile te pravovremeno izvodi točno određena gibanja.

Iz tog razloga moguće je tvrditi kako je biomehanika disciplina koja može kvantificirati zakonitosti koje se događaju za vrijeme izvođenja zavoja. Stoga, istraživanja u alpskom skijanju dominantno su iz područja kinematičke, kinetičke analize i EMG analize. Koriste se kod praćenja i unaprjeđenja izvedbe skijaša natjecatelja. Isto tako proučavanjem vrhunskih skijaša pokušava se dodatno unaprijediti rezultat tehnološkim razvojem opreme. Posljedično od toga ima koristi i cjelokupna industrija rekreativnog alpskog skijanja. Nadalje, objektivno utvrđenim modalnim vrijednostima vrhunskih natjecatelja moguće je utjecati na ciljani razvoj mlađih dobnih kategorija.

Kinematička i kinetička analiza imaju značajan doprinos i prilikom identificiranja mehanizama koji često dovode do ozljeda kod skijaša natjecatelja i rekreativnih skijaša. Također, omogućuju spoznaje s ciljem objektivne analize i usporedbe različitih skijaških tehnika i skijaških elemenata.

Upravo prethodno navedena tematika koja je imala značajan utjecaj na skijašku tehniku u povijesti bila je razjašnjena pomoću biomehaničke analize. Značajan broj studija zbog popularizacije carving skija u natjecateljskom i rekreativnom skijanju uspoređivalo je tradicionalnu i carving tehniku skijanja te njihove razlike.

U svom preglednom radu Müller i Schwameder (2003) na temelju rezultata iz dostupnih biomehaničkih istraživanja iznose razlike između zavoja izvedenih tradicionalnom i carving

skijaškom tehnikom sa strukiranim skijama. Niessen i Müller, (1999) na temelju kinematičke analize veleslalom zavoja natjecatelja u standardiziranim uvjetima staze zaključuju kako se koristeći carving skije postiže znatno veći kut rubljena tijekom svih faza zavoja u odnosu na dotadašnju konstrukciju skija. Također zaključuju da što je manji radijus skija (veća strukiranost) veći je kut rubljenja ali je i potrebna veća longitudinalna zakrivljenost skija kako bi skije ostale u kontaktu sa podlogom i kako bi se izveo zavoj bez bočnog otklizavanja. Razlike u fazama zavoja između zavoja izvedenih tradicionalnim i carving skijama utvrdili su i Schiefermüller, Schwameder i Müller (2003) u svojem istraživanju gdje su koristili kinematičku, kinetičku i EMG analizu. Natjecatelji su izvodili zavoj u standardiziranoj stazi sa tradicionalnim i carving skijama. Obje vožnje snimane su video-kamerama za potrebe kinematičke analize, distribucija pritiska stopala i sila reakcije podloge mjerena je kinetičkim ulošcima a aktivnost velikih mišićnih skupina donjih ekstremiteta mjerena je površinskom EMG. Što se tiče kinematičkih razlika autori navode kako je tijekom prve i druge faze zavoja koljeno unutarnje noge značajno više u fleksiji tijekom izvođenja carving zavoja a koljeno vanjske noge je opruženije tijekom čitavog zavoja. Promatrajući distribuciju pritiska na obje noge, zaključuju kako je tijekom sve tri faze zavoja pritisak na unutarnjoj nozi veći kod carving zavoja u odnosu na onaj izveden tradicionalnom tehnikom. Navedeno su potvrdili iz rezultata EMG na temelju veće aktivnosti mišića unutarnje noge tijekom zavoja izvedenog na carving skijama.

Klous, Müller i Schwameder (2012) također su uspoređivali zavoj izveden tradicionalnom i carving skijaškom tehnikom. Proveli su kinematičku i kinetičku analizu kako bi usporedili opterećenja na koljenom zglobu s obzirom na zabilježeni značajan broj ozljeda u natjecateljskom i rekreativnom skijanju. Za kinematičku analizu podaci su prikupljeni pomoću pet sinkroniziranih video-kamera koje su snimale skijaše koji su na sebi nosili odijelo sa pričvršćenim reflektirajućim markerima. Kinetičko mjerenje provedeno je uz pomoć prenosivih platforma za mjerenje sile koje su bile pričvršćene na skijaški vez obje skije, a napajanje i vanjska pohrana bili su smješteni u ruksaku ispitanika. Na temelju rezultata autori zaključuju da iako su zabilježene maksimalne sile na obje noge u većem dijelu zavoja izvedenog carving skijaškom tehnikom (preko 2 x tjelesne težine carving; tradicionalna- 1,5-2 x tjelesne težine) u odnosu na tradicionalnu bile veće, ne znači nužno da postoji veća šansa za ozljeđivanjem. Razlike u većoj fleksiji vanjske noge također ne utječu na veću mogućnost ozljeđivanja.

Spörri, Müller i Kröll (2022) proveli su biomehaničko istraživanje na skijašu natjecatelju prilikom izvođenja veleslalom zavoja na postavljenoj stazi. Istraživanje je

uključivalo mjerenje kinematičkih parametara inercijskim senzorima postavljenim na donje ekstremitete te je snimano sa nekoliko video-kamera. Kinetički parametri mjereni su ulošcima za detekciju pritiska a električni impulsi mišića natkoljenice izmjereni su površinskom EMG. Prilikom izvođenja zavoja skijaš je izgubio ravnotežu i pao na tlo te je klizao. Prilikom pokušaja podizanja na skije još uvijek kližući po snježnoj površini dogodila se ruptura ACL-a. S obzirom da se ozljeda dogodila u tijeku mjerenja, autori su imali mogućnost kvantificirati i utvrditi točan slijed akcija koje su dovele do ozljede. Utvrdili su naglo povećanje signala mišića vastus medialis prilikom kontakta skije i tla te naglu fleksiju koljenog zgloba. Istovremeno je zabilježena smanjena aktivnost mišića bicepsa femurisa. Navedeno je dovelo do translacije tibie prema femuru što je tipičan mehanizam za puknuće ACL-a. Autori su izravno na temelju in vivo ozljede mogli kvantificirati mehanizam koji dovodi do najčešće ozljede natjecatelja tijekom alpskog skijanja.

Kao što je prikazano u prethodnom poglavlju biomehanička analiza ima veliku primjenu u alpskom skijanju te je pomoću nje moguće doći do spoznaja koje mogu značajno utjecati na tehniku skijanja, opremu ili analizu mehanizama ozljeda. S obzirom da je zavoj osnovna jedinica koja se ritmično ponavlja tijekom alpskog skijanja, neovisno o području istraživanja, sve biomehaničke analize u skijanju, svoje spoznaje temelje na podacima izmjerenim tijekom izvođenja zavoja, kao što je vidljivo iz prethodno navedenih studija.

## **4.2. BIOMEHANIČKA ISTRAŽIVANJA ZAVOJA U NATJECATELJSKOM SKIJANJU**

Osim navedenih područja kao što su proučavanje tehnike alpskog skijanja, proučavanje skijaša natjecatelja u cilju poboljšanja izvedbe ili opreme te proučavanja mehanizama ozljeda, značajan broj istraživanja usmjeren je isključivo na kvantificiranju sila i pokreta koji se odvijaju tijekom zavoja i njegovih faza. Na koji način je moguće povećati brzinu skija u zavoju, u kojoj fazi zavoja se događa najveći gubitak brzine, gdje je najveći otpor snježne površine itd. Nadalje, određen broj studija bavio se podjelom i utvrđivanjem različitih faza zavoja. Pokušaj kvantificiranja parametara tijekom različitih vrsta natjecateljskog zavoja (slalom, veleslalom) i njihova usporedba te objektivno utvrđena gibanja koje skijaš mora izvesti tijekom svih faza zavoja predmet su mnogih studija.

Prilikom analize zavoja u alpskom skijanju većina autora primjenjuje kinematičku i kinetičku analizu kako bi dobili potpuni uvid u gibanja, ali i sile koje uzrokuju ta gibanja. Na taj način moguće je analizirati zavoj u svim fazama. Najčešće se zavoj dijeli na pokrete koje skijaš izvodi u pojedinom dijelu zavoja pa tako postoje faza inicijacije, faza upravljanja (opterećivanja skija) i faza izlaska iz zavoja (Falda-Buscaiot i sur., 2017; Spörri i sur., 2012). Druga najčešća podjela je prema položaju skijaša u odnosu na padnu liniju te prema tome postoje faza dolaska do padne linije, faza prelaska preko padne linije i faza odlaska od padne linije (Kim, J-H., Kim, J-N., 2017). Alpsko skijanje zahtjevan je sport za natjecatelje u smislu uvjeta, potrebne kondicijske pripremljenosti, opreme, skijaške tehnike na zahtjevno postavljenim stazama i nagibima terena itd. Veliki broj istraživanja koncentriran je na analizu zavoja u cilju idealne izvedbe. U natjecateljskoj stazi nalazi se između 50-ak i 70-ak zavoja, što više zavoja skijaš može idealno izvesti manji je ukupni gubitak vremena te bolji konačni rezultat. S obzirom da natjecatelje često dijeli nekoliko stotinki sekunde od postolja ili pobjede veliki broj istraživanja koncentriran je na odabir idealne putanje (Lešnik i Žvan, 2007; Spörri i sur., 2012; Federolf, 2012) tijekom povezanih zavoja u postavljenoj stazi. Utvrđivanje pravovremenog izvođenja pojedine faze ili određenog pokreta u fazi zavoja (Spörri i sur., 2012) također utječe na konačni rezultat. Nadalje, informacije o distribuciji pritiska gledajući regije stopala (Falda-Buscaiot i sur., 2017) u svakoj fazi zavoja te distribuciji pritiska u odnosu na vanjsku i unutarnju nogu u pojedinoj fazi zavoja (Kim, J-H., Kim, J-N., 2017), također omogućuju optimizaciju izvedbe. Zauzimanje položaja tijela s obzirom na silu otpora zraka (Supej i sur., 2012) kako bi minimizirali njen utjecaj također je predmet interesa određenog broja istraživanja.

Neke od navedenih karakteristika zavoja odnose se i na zavoj izveden od strane rekreativnog skijaša, međutim takva istraživanja dominantno se provode u cilju poboljšanja performansi skijaša natjecatelja. Brzina njihova kretanja na stazi i glavni cilj spusta u dolinu se značajno razlikuje od rekreativnog skijanja. Samim time postoje razlike u karakteristikama zavoja te većina rezultata iz takvih istraživanja nisu primjenjiva u cilju optimizacije procesa poučavanja.

Falda-Buscaiot i sur., (2017) proveli su kinematičku i kinetičku analizu kako bi proučavali promjene sile reakcije podloge unutarnje i vanjske noge u odnosu na faze zavoja (inicijacija, 1. faza upravljanja, 2. faza upravljanja i izlazak iz zavoja) i nagib padine prilikom izvedbe veleslalom zavoja na postavljenoj stazi. Autori zaključuju kako je sila reakcije podloge značajno viša tijekom većeg nagiba padine te tijekom 2. faze upravljanja u odnosu na ostale

faze zavoja. Tijekom zavoja od faze inicijacije do faze izlaska iz zavoja dominantni pritisak stopala na podlogu se pomicao od prednjeg dijela stopala da bi u fazi izlaska bio većinom na peti. Isto tako ukupna sila reakcije podloge tijekom zavoja značajno je bila veća na vanjskoj nozi u odnosu na unutarnju (0,73 vs 0,41 BW na strmom dijelu padine). Samim time vanjska noga je ključna u upravljanju skije dok unutarnja pomaže u održavanju ravnotežnog položaja.

Navedeni rezultati djelomično se mogu poistovjetiti sa rekreativnim skijanjem, međutim postoje značajne razlike. Tijekom rekreativnog skijanja, vanjska noga je također ključna u upravljanju skijama, isto tako u fazi upravljanja postižu se najveće vrijednosti pritiska stopala i pritisak se pomiče prema peti tijekom zavoja (Bon i sur., 2021). S druge strane, izmjerena sila vanjske noge tijekom faze upravljanja značajno je manja tijekom rekreativnog skijanja u odnosu na ovo istraživanje te se navedene vrijednosti ne mogu analizirati u kontekstu rekreativnog zavoja. Nadalje, u školi skijanja poučava se da pritisak u početnim fazama zavoja bude na prednjem dijelu stopala, međutim za razliku od natjecatelja, tijekom zavoja rekreativni skijaši pomiču se tako da pritisak bude na sredini stopala a nikako prema stražnjem dijelu. Rekreativni skijaši nemaju dovoljno razvijenu skijašku tehniku i kondicijske sposobnosti da mogu izvesti takav zavoj sa ekstremnim anterio-posteriornim gibanjima. Navedeno bi dovelo do padova i mogućnosti ozljede (Spörri i sur., 2012).

U upravo navedenoj studiji (Spörri i sur., 2012) istraživali su utjecaj izrazito horizontalno razmaknutih vratiju u stazi na brzinu skijaša i energetske zahtjeve potrebne da se uspješno izvede staza koristeći 3D kinematičku analizu. Ispitanik je bio vrhunski skijaš natjecatelj. Prilikom vožnje tako postavljene staze u odnosu na normalnu postavku, na stazi nije primijećeno značajno smanjenje brzine skijaša ali je izmjereno značajno povećanje sila koje djeluju na tijelo pri izlasku iz zavoja. Također, autori su zabilježili značajno veći pretklon trupa tijekom zavoja i smanjeno pomicanje težišta u anterio-posteriornom smjeru. Navedeno objašnjavaju povećanom energetsom potrošnjom i umorom tijekom tako postavljene staze rezultirajući nemogućnošću da skijaš nastavi sa anterio-posteriornim gibanjima koje opisana postavka staze zahtjeva.

Rezultati ovog istraživanja mogu pozitivno utjecati na postavke staze prilikom treninga i natjecanja sportaša u smislu egzaktnog sadržaja kondicijske pripreme potrebne za najviše zahtjeve natjecanja. Međutim, glavni nalazi ovog istraživanja ne mogu se primijeniti na optimizaciji zavoja rekreativnog skijaša zbog drugačijih parametara tijekom skijanja kao što su manja brzina kretanja te mjesto zavoja neodređeno pravilima natjecanja. Dakle, iako su neke

sastavnice (anterio-posteriorna gibanja težišta tijela) značajne i kod rekreativnog skijanja rezultati istraživanja nisu primjenjivi u cilju unaprjeđenja škole skijanja.

Federolf i sur. (2008) također su proučavali kinematičkom i kinetičkom analizom utjecaj anterio-posteriornih gibanja tijela kao i utjecaj kuta rubljenja na brzinu skijaša i silu otpora zraka. Autori su zaključili kako povećani kut rubljenja negativno utječe na brzinu tako što povećava silu trenja između skija i snježne površine. Dakle, iako su anterio-posteriorna gibanja i kut rubljenja vrlo značajni u optimalnom izvođenju zavoja rekreativnog skijaša oni se ne mogu poučavati ni primjenjivati u spomenutom kontekstu zbog različitih ciljeva spuštanja u dolinu. Kod rekreativnog skijaša to je osjećaj užitka dok je kod natjecatelja to što bolji rezultat u poretku.

Osim anterio-posteriornih gibanja, prilikom skijanja važna su mnoga druga kao što je prethodno opisano. Gibanja gornjeg dijela tijela služe održavanju ravnoteže a gibanja donjeg dijela tijela služe upravljanju skijama u željenom pravcu. Vertikalna gibanja skijaša bitna su u doziranju pritiska na skije u točno određenim fazama zavoja što omogućuje izvođenje kontroliranog zavoja. Važnu ulogu u tim gibanjima imaju koljena.

Alhammoud i sur., (2020) proveli su kinematičku analizu na 20 skijašica i skijaška francuske nacionalne selekcije. Kroz treninge 4 disciplina (slalom, veleslalom, superveleslalom, spust) u ukupno 253 vožnje kroz stazu bežićnim kinematičkim senzorima pratili su kut koljena i kuka unutarne i vanjske noge. Analizirali su ekscentrične, koncentrične i izometričke kontrakcije nogu i kutove u navedenim zglobovima. Kao glavne nalaze autori izdvajaju razlike u trajanju izometričke faze u zglobo koljena i kuka vanjske noge tijekom izvođenja slalom zavoja (kraće vrijeme) u odnosu na ostale 4 discipline. Zaključuju kako je slalom puno dinamičnija disciplina odnosno zavoj koji se izvodi te gibanja moraju biti neprestana kako bi skijaš uspješno vodio skiju kroz zavoj. Glavnu ulogu vanjske noge u upravljanju u vremenski kraćem zavoju potvrđuje i rezultat trajanja izometričke faze unutarne noge gdje je ona dulja od trajanja vanjske noge kod slaloma dok je kod ostale 3 discipline obrnut slučaj. U bržim disciplinama, zavoji su duži te se skijaši moraju oduprijeti većim centrifugalnim silama uspostavljajući čvrsti kontakt vanjske noge sa snježnom površinom za vrijeme trajanja čitavog zavoja. Navedene faze trajanja izometričke kontrakcije autori potvrđuju i kutovima vanjske noge u odnosu na unutarnju nogu gdje je u svim disciplinama izmjeren veći kut vanjske noge u odnosu na unutarnju a posebno u bržim disciplinama (superveleslalom i spust). Rezultati ovog istraživanja pokazuju smjernice za kondicijski trening režima rada mišića unutarne i

vanjske noge. Noge bi trebalo trenirati međusobno odvojeno što se tiče trajanja mišićne kontrakcije i kuta u kuku i koljenu pod kojim su najviše opterećene vanjskim silama. Vanjska noga najveća opterećenja podnosi prilikom većeg kuta dok je kod unutarnje noge obrnuto.

Navedeni zaključci mogu se djelomično koristiti prilikom kondicijske pripreme za rekreativno skijanje. Međutim, treba biti oprezan u smislu opterećenja kojeg se stavlja pred rekreativnog skijaša. Isto tako, skijaši natjecatelji moraju imati značajno specifičniji i usmjereniji trening, dok se kod rekreativnog skijaša prije odlaska na snijeg mora posvetiti mnogo više bazičnim sadržajima kondicijske pripreme. Stoga, navedeni rezultati imati će manji doprinos na trening rekreativnih skijaša.

Sličnom tematikom su se bavili i do vrlo sličnih rezultata su došli Kröll i sur., (2015) koji su uspoređivali discipline slalom i veleslalom u kinematičkim parametrima koljena i silu reakcije podloge kod vrhunskog skijaša. Također su zaključili da je slalom dinamičnija disciplina. Kutovi vanjske noge u slalomu su manji u odnosu na veleslalom dok su kutovi unutarnje noge manji u veleslalomu u odnosu na slalom. Za veleslalom su karakteristična veća opterećenja vanjske noge kada je noga opruženija te manja ekscentrično koncentrična opterećenja unutarnje noge kada je u fleksiji. Kod slaloma opterećenja su simetrična na unutarnjoj i vanjskoj nozi uzeći u obzir faze zavoja. Autori daju iste preporuke za trening natjecatelja kao u prethodnoj studiji sa naglaskom da se primjenjuju specifičniji treninzi mišićnog opterećenja na sile i kutove u odnosu na disciplinu.

Obje prethodno navedene studije iznose važne nalaze u vidu režima rada donjih ekstremiteta tijekom zavoja kod skijaša natjecatelja. Informacije o gibanjima i položajima tj. kutovima u koljenu i kuku obje noge prilikom faze odupiranja najvećim centrifugalnim silama mogu služiti kao vrlo bitne smjernice prilikom odabira sadržaja, režima rada mišića i doziranja opterećenja prilikom specifične kondicijske pripreme. Navedene smjernice kao što je rečeno mogu poslužiti i za skijaše rekreativne populacije, međutim treba biti vrlo oprezan zbog mogućnosti od ozljeđivanja. Istovjetne informacije tijekom zavoja prilikom izvedbi rekreativnog skijaša bile bi puno primjenjivije u kondicijskoj pripremi za tu populaciju.

Kao što je već rečeno cilj svakog skijaša rekreativca i natjecatelja je izvesti svaki zavoj idealno i simetrično lijevi u odnosu na desni. Istraživanje o tome koliko asimetrije lijevog u odnosu na desni zavoj u tehnici i sili reakcije podloge utječu na konačni rezultat u slalomu proveli su Supej i sur. (2020). Ispitanici su bili 9 muških skijaša natjecatelja. Inercijskim

senzorima mjereni su kinematički parametri a kinetički ulošcima za mjerenje pritiska. Autori navode da su najveće asimetrije utvrđene između radijusa zavoja i kuta potkoljenice u odnosu na tlo te sili reakcije podloge kod vanjske noge. Usprkos visoko razvijenoj razini tehnike i automatizaciji pokreta čak i kod skijaša natjecatelja utvrđene su značajne razlike u navedenim parametrima između lijevog i desnog zavoja. Velika je vjerojatnost da postoji značajno veći broj kinematičkih i kinetičkih parametara koji se razlikuju između zavoja kod skijaša rekreativne razine. Navedene spoznaje mogle bi utjecati na usmjeravanje pažnje u procesu poučavanja određenim metodičkim vježbama kojima bi se smanjila asimetrija lijevog i desnog zavoja. Cilj je da se skijaš rekreativne razine osjeća što ugodnije i sigurnije prilikom izvođenja svakog zavoja.

Osim opisanih, biomehaničke analize zavoja provodile su se u značajnom broju. U nekoliko istraživanja ispitanici su bili skijaši natjecatelji Svjetskoga kupa (Supej i Cernigoj, 2006; Lešnik i Žvan 2007; Supej, Kipp i Holmberg, 2010; Supej, 2008; Supej, Hebert-Losier, Holmberg, 2015) i elitni skijaši (Supej i Holmberg, 2011; Watanabe, Ohtsuki, 1977). Autori su najviše proučavali zavoj u natjecateljskim disciplinama veleslaloma (Lešnik i Žvan 2007, Spörri i sur., 2012; Supej, 2008; Supej i sur., 2013; Brodie, Walmsley i Page, 2008) i slaloma (Lešnik i Žvan 2007; Supej, Kipp i Holmberg, 2010; Federolf, 2012; Supej i Holmberg, 2011). U nekoliko istraživanja parametri su izmjereni u terenskim uvjetima na stazi (Spörri i sur., 2012; Federolf, 2012; Supej i sur., 2013; Supej i Holmberg, 2011; Brodie, Walmsley i Page, 2008). Autori su proučavali silu trenja i silu reakcije podloge tijekom zavoja (Supej, Kipp i Holmberg, 2010; Brodie, Walmsley i Page, 2008), putanje skija i težišta tijela (Lešnik i Žvan 2007; Supej, Kipp i Holmberg, 2010; Spörri i sur., 2012; Supej, 2008; Supej i sur., 2013; Brodie, Walmsley i Page, 2008), tehniku zavoja i radijus (Supej, Kipp i Holmberg, 2010; Spörri i sur., 2012; Supej, 2008; Brodie, Walmsley i Page, 2008).

Navedena biomehanička istraživanja svojim spoznajama značajno doprinose poboljšanju performansi skijaša natjecatelja i kvantificiranju parametara zavoja. Međutim rekreativno skijanje značajno se razlikuje od natjecateljskog a samim time postoje velike razlike između parametara zavoja. Da bi se utvrdili parametri zavoja rekreativnog skijaša u cilju razvoja škole skijanja i smanjenje rizika od ozljeda potrebno je utvrditi biomehaničke parametre zavoja kod rekreativnog skijaša.

#### **4.3. BIOMEHANIČKA ISTRAŽIVANJA ZAVOJA REKREATIVNE POPULACIJE**

Prethodno je opisano nekoliko istraživanja i napravljen kratki pregled nekolicine biomehaničkih analiza zavoja u natjecateljskom skijanju. Iz navedenog je vidljivo kako su rezultati i spoznaje iz tih istraživanja natjecateljskog zavoja samo djelomično relevantni u rekreativnom skijanju.

Alpsko skijanje široko je rasprostranjen zimski sport s dugogodišnjom tradicijom u kojem participira oko 400 milijuna skijaša različitih dobnih skupina, u više od 2000 skijališta diljem svijeta (Burtscher i sur., 2019). Trend povećanja broja rekreativnih skijaša je u porastu zadnjih nekoliko desetljeća, sukladno tome sve je važnija uloga škole skijanja. Prethodno su navedene prednosti i važnost škole skijanja u populaciji rekreativnih skijaša. Svakodnevne kretnje čovjeka značajno se razlikuju od izvođenja zavoja, odabir optimalne skijaške opreme uvelike je olakšan uz stručnu pomoć učitelja te se sudjelovanjem u školi skijanja osigurava najučinkovitije stjecanje znanja tehnike alpskog skijanja.

U svijetu postoje mnogobrojni programi škole skijanja uz zajednički cilj privlačenja što većeg broja skijaša kako bi učinkovito i sigurno savladali tehniku alpskog skijanja. Kako bi se dodatno utjecalo na unaprjeđenje i prilagodbu programa škole skijanja rekreativnim skijašima različitih razina znanja potrebno je objektivno utvrditi biomehaničke parametre zavoja izvedenog od strane rekreativnih skijaša. Na taj način moguće je egzaktno odrediti u kojim fazama zavoja se događaju točno određene pogreške koje su ključne i koje onemogućavaju izvođenje zavoja na željeni način. Istraživanja mogu biti usmjerena ka učinkovitijem procesu poučavanja i definiranju smjernica za škole skijanja. Međutim, biomehaničke analize zavoja u kojem su ispitanici učitelji skijanja su rijetke a one u kojima su rekreativni skijaši gotovo da i ne postoje.

U 90-im i 2000-im godina mnoga istraživanja iz područja biomehanike alpskog skijanja provodila su se sa ciljem usporedbe carving i tradicionalne skijaške tehnike kao što je već navedeno u području natjecateljskog skijanja. Isto tako carving skijaška tehnika popularizirala se i u populaciji rekreativnih skijaša te su određena istraživanja zavoja provedena na rekreativnim skijašima u cilju učinkovitijeg procesa poučavanja tada novije tehnike skijanja.

Yoneyama i sur. (2000) proveli su biomehaničku analizu s ciljem usporedbe kinematičkih i kinetičkih parametara zavoja između tradicionalne paralelne i carving skijaške tehnike. Ispitanik je bio učitelj skijanja. Kinematičke parametre mjerili su senzorima pozicioniranim na koljenu i kuku, dok su kinetičke mjerili platformom smještenom ispod skijaških vezova. Učitelj skijanja izvodio zavoj manjeg i većeg radijusa objema tehnikama.

Promatrajući zavoj većeg radijusa, ispitanik je prilikom carving tehnike imao veću razliku između kuta u koljenu vanjske i unutarnje noge (vanjska noga u ekstenziji, unutarnja u fleksiji) u odnosu na tradicionalnu tehniku. U navedenom zavoju sila na prednjem dijelu stopala bila je značajno veća prilikom carving zavoja. Također u zavoju većeg radijusa primijećena je i manja fleksija natkoljenice u zavoju izvedenom carving tehnikom. Tijekom izvođenja zavoja kraćeg radijusa, u carving tehnici primijećena je blaga rotacija natkoljenice. U tradicionalnoj tehnici zabilježena je brža i amplitudom veća rotacija natkoljenice na početku zavoja. Autori zaključuju kako su gibanja u promatranim zglobovima fluidnija i uz manje otpora u odnosu na tradicionalnu skijašku tehniku. Navedeni rezultati mogu se koristiti u kontekstu škole skijanja u smislu opisivanja specifičnih faza zavoja tijekom poučavanja carving skijaške tehnike. Međutim, navedeno istraživanje provedeno je nešto starijom tehnologijom potencijometra za mjerenje gibanja u zglobovima te platformom za mjerenje sile. Isto tako provedeno je na 1 ispitaniku.

Kaiser (1997) je proveo slično istraživanje o usporedbi zavoja izvedenog dvjema različitim tehnikama i uz uzorak ispitanika rekreativne populacije. U svom istraživanju usporedio je skijaša natjecatelja i rekreativnog skijaša. Navodi kako je važno aplicirati pritisak na rubnik u završnoj fazi zavoja kako skija ne bi bočno otklizala. Tada skijaš neće zakasniti sa pripremom u sljedeći zavoj. U svom radu autor tvrdi kako je izvodeći zavoj na carving skijama manjeg radijusa uz određenu razinu skijaškog znanja moguće izvesti zavoj bez bočnog otklizavanja i u određenoj mjeri se približiti formi natjecateljskog zavoja. Navedeno se dakako odnosi isključivo na formu uz značajno manje amplitude gibanja i proizvedene sile u zavoju. Zaključuje kako je koristeći strukirane carving skije rekreativnom skijašu moguće izvesti dinamičniji zavoj u odnosu na tradicionalnu skijašku tehniku. Posljedično, porasla je popularnost carving skija te su se počele dominantno koristiti u rekreativnom skijanju a samim time i u školi skijanja. Detaljniju analizu o zavoju skijaša rekreativne populacije različitih razina tek je trebalo provesti na osnovu ovog istraživanja.

Jedno od prvih biomehaničkih istraživanja gdje su uzorak ispitanika činili isključivo učitelji skijanja (21, Austrija) i gdje je cilj bio utvrditi parametre zavoja u rekreativnoj školi skijanja bilo je ono provedeno 1994. autora Müller. Cilj istraživanja bio je kvantificirati i dodatno pojasniti objektivno izmjerenim parametrima gibanja skijaša tijekom nekoliko elemenata austrijske škole skijanja. Istraživanje je provedeno koristeći kinematičku i EMG analizu. Autor zaključuje kako je na temelju ovakvih analiza moguće utjecati na proces učenja rekreativnih skijaša, te na kraju rada iznosi nekoliko sugestija s ciljem uvrštenja u tadašnji kurikulum austrijske škole skijanja.

Veliki broj učitelja skijanja prilikom poučavanja daju upute polaznicima na način da im opisuju kakav bi trebali imati osjećaj u smislu pritiska stopala ili rotacije noge u određenom trenutku zavoja. Upravo iz tog razloga Lafontaine i sur. (1998) proveli su kinetičku analizu nekoliko elemenata škole skijanja kako bi utvrdili trend pritiska stopala na podlogu u svakome od njih kroz faze zavoja. Veleslalom zavoj, dinamički paralelni zavoj, paralelni zavoj i zavoj kratkog radijusa izvodilo je 6 učitelja skijanja najvišeg ranga kanadske škole skijanja. Maksimalna sila pritiska u zavoju i najveća prosječna sila pritiska zabilježena je prilikom izvođenja zavoja kratkog radijusa. Autori navode kako je zavoj kratkog radijusa dinamičan te zbog kraćeg trajanja zavoja sva gibanja se izvode eksplozivnije. Stoga, pokreti nisu fluidni kao kod ostalih elemenata gdje se izvodi zavoj dužeg radijusa. Iz tog razloga navode kako je zavoj kraćeg radijusa zahtjevniji za izvesti rekreativnim skijašima. Isto tako, autori su utvrdili kako se pritisak stopala pomicao od središnjeg dijela stopala prema naprijed u svim elementima osim u veleslalom zavoju. Jedino prilikom izvedbe natjecateljskog veleslalom zavoja zabilježen je pritisak stopala u stražnjem dijelu prema peti. Navedeno potvrđuje već ranije spomenutu činjenicu kako se u školi skijanja rekreativnim skijašima daju smjernice kako ni u kojem dijelu zavoja pritisak stopala odnosno težište tijela ne bi smjelo biti pomaknuto prema natrag. Navedeno istraživanje ima relevantne i primjenjive rezultate u području rekreativnog skijanja. Međutim, kompletnija slika o akcijama koje skijaši izvode tijekom zavoja bila bi moguća kada bi se navedeni kinetički parametri analizirali uz parametre gibanja tijela. Također, određeni nedostatak istraživanja je i uzorak ispitanika koji se sastojao od manjeg broja vrhunskih učitelja skijanja bez usporedbe sa skijašima niže razine znanja.

Vaverka i Vodickova (2010) proveli su kinetičku analizu gdje su uspoređivali silu reakcije podloge lijeve i desne noge u oba zavoja kako bi utvrdili potencijalne asimetrije u odnosu na preferiranu dominantnu nogu. Ispitanici su bili učitelji skijanja. Platformom su mjerene sile reakcije podloge te trajanje faze inicijacije i upravljanja tijekom zavoja. Na temelju

parametara zaključili su kako lijevi zavoј duže traje, ima kraću fazu inicijacije i dulju fazu upravljanja te se prosječno proizvede veća sila. Autori zaključuju kako zavoј u kojem je dominantna noga vanjska skijaši koriste kako bi kontrolirali brzinu kretanja. Također jedno od istraživanja koje može imati primjenu dobivenih spoznaja u rekreativnom skijanju i školi skijanja. Na temelju ovih podataka moguće posvetiti više pažnje na savladavanje zavoja u kojem je vanjska noga ona koja nije dominantna. Određenim metodičkim vježbama moguće je međusobno približiti kvalitetu oba zavoja kako bi rekreativni skijaš mogao sigurno kontrolirati brzinu sa oba zavoja i posljedično spriječio potencijalni sudar ili ozljedu. Nedostaci ovog istraživanja su izostajanje usporedbe učitelja skijanja sa ostalom populacijom skijaša. Također, nedostatak je i neprovođenje kinematičke analize kako bi se dobivene spoznaje mogle dodatno objasniti gibanjima donjih ekstremiteta. Isto tako s obzirom na broj ispitanika, rezultati se moraju interpretirati s oprezom.

Kinetičku analizu s ciljem usporedbe uložaka za mjerenje pritiska stopala i platforme za mjerenje sile reakcije podloge proveli su Nakazato, Scheiber i Müller, (2011). Iako je primarni cilj ovog istraživanja bila usporedba dva navedena mjerna uređaja, dizajn istraživanja mogao bi se primijeniti za određene spoznaje o zavoju izvedenom od strane rekreativnih skijaša i detektiranju razlika u odnosu na vrhunsku izvedbu. Ispitanici su bili podijeljeni u 2 skupine (učitelji najvišeg ranga u austrijskoj školi skijanja i rekreativni skijaši). Ispitanici su izvodili nekoliko elemenata škole skijanja te su obje skupine ispitanika izvodile iste elemente sa istovremenim mjerenjem kinetičkih parametara sa oba uređaja. Autori su podijelili zavoј na 3 faze te su utvrđivali razlike između mjernih uređaja u pojedinoj fazi. S obzirom na navedeni cilj istraživanja navode malo podataka o direktnim razlikama u parametrima zavoja između učitelja skijanja i rekreativnih skijaša. Navedeni koncept istraživanja gdje se mogu direktno uspoređivati izvedbe zavoja učitelja skijanja i skijaša rekreativaca uz dodatnu kinematičku analizu mogli bi poslužiti za detekciju razlika u izvedbi i posljedično unaprjeđenju metoda poučavanja alpskog skijanja.

Kvantificiranje skijaške tehnike odnosno zavoja rekreativne populacije proveli su na temelju kinematičke analize Debertin i sur. (2022) kroz nekoliko koraka. Cilj istraživanja bio je kinematički analizirati carving zavoje izvedene od strane 8 austrijskih učitelja skijanja najvišeg ranga koji su imali upute izvoditi zavoј točno onako kako je opisan u kurikulumu austrijske škole skijanja. Nakon toga 1 skijaš rekreativne populacije izvodio je identične elemente kao i učitelji skijanja sa istim uputama. Autori su tada direktno usporedili izmjerene kinematičke parametre učitelja sa rekreativnim skijašem te su utvrdili određene različitosti u

nekim fazama zavoja. Kod rekreativnog skijaša zabilježena su veća vertikalna gibanja i pretklon trupa u fazi inicijacije zavoja. Navedeno istraživanje može vrlo učinkovito utjecati na otkrivanje glavnih nedostataka rekreativnog skijaša. Na taj način moguće je objektivno utvrđenim parametrima dati smjernice za proces poučavanja. Transfer znanstveno potkrepljenih činjenica može se implementirati u kurikulum škole skijanja. Naravno da je potrebno provesti istraživanje na većem uzorku kako bi se identificirale ključne greške koje se učestalo ponavljaju. Isto tako nedostatak ovog istraživanja je izostanak kinetičkih parametara kako bi se gibanja skijaša potkrijepila sa proizvedenim silama.

Jedno od rijetkih istraživanja gdje su parametri zavoja izmjereni i analizirani u populaciji rekreativnih skijaša je istraživanje Müller i sur. (1998). Isto tako u ovom istraživanju autori su direktno usporedili parametre između učitelja skijanja i rekreativnih skijaša. U studiji je napravljena kinematička analiza 4 elementa austrijske škole skijanja te su usporedili dobivene parametre zavoja između 5 učitelja skijanja i 5 skijaša rekreativne razine. Autori su podijelili zavoj na fazu inicijacije, 1. fazu upravljanja i 2. fazu upravljanja. Najviše razlika u kinematičkim parametrima između skupina zabilježeno je u fazi inicijacije. Autori objašnjavaju kako su učitelji skijanja uspješniji prilikom pripreme samog zavoja te svojim gibanjima stvaraju preduvjete za uspješno izveden zavoj u drugom dijelu u kojem bi skija trebala biti postavljena na vanjske rubnike kako bi se spriječilo bočno otklizavanje. Navedeno potvrđuje i nalaz kako se parametar „kut rubljenja“ najviše razlikovao između 2 skupine. Jedan od nedostataka ovog istraživanja je ograničeni uzorak ispitanika te nedostatak kinetičke analize. Međutim, ovakav dizajn istraživanja može direktno ukazati na glavne razlike između skijaša više i niže razine tehnike. Na taj način moguće je objektivne znanstvene spoznaje primijeniti u praksi prilikom procesa poučavanja. Također, ovakva istraživanja mogu potaknuti i druge interese u području rekreativnog skijanja kao što su razvoj opreme i prevencija ozljeda. Iz tog razloga potrebno je provoditi više biomehaničkih istraživanja u području rekreativnog skijanja. Navedeno se posebno odnosi na istraživanja u kojem se direktno uspoređuju parametri zavoja skijaša rekreativne populacije najviše razine (učitelji skijanja) i ostalih razina znanja. Na taj način moguće je definirati modalne vrijednosti i kvantitativno utvrditi odstupanja od tih vrijednosti skijaša niže razine znanja. Navedene spoznaje mogu poslužiti u detektiranju mehanizama ozljeda i razvijanju učinkovitijeg metodskog procesa poučavanja.

Ovo područje još uvijek nije dovoljno istraženo te će se ovim istraživanjem nastojati analizirati spomenuta problematika i doći do određenih novih spoznaja i zaključaka koje se kasnije mogu primijeniti u praksi.

## 5. CILJ I HIPOTEZE

Cilj ovog istraživanja je utvrditi razlike između skijaša više i niže razine usvojenosti skijaške tehnike u određenim kinematičkim i kinetičkim parametrima tijekom izvođenja paralelnog zavoja. Također, cilj je utvrditi razlike u navedenim parametrima tijekom tri vremenske točke (faze) zavoja, u fazi dolaska do padne linije, u trenutku kada su skije paralelne sa padnom linijom te u fazi odlaska od padne linije.

Na temelju postavljenih ciljeva i rezultata dosadašnjih istraživanja postavljene su sljedeće hipoteze:

H1: Postoji značajna razlika u fazi dolaska do padne linije između dviju promatranih grupa ispitanika u fleksiji koljena, fleksiji kuka, abdukciji kuka vanjske i unutarnje noge te omjeru distribucije sile stopala.

H2: Postoji značajna razlika u fazi prolaska kroz padnu liniju između dviju promatranih grupa ispitanika u fleksiji koljena, fleksiji kuka, abdukciji kuka vanjske i unutarnje noge te omjeru distribucije sile stopala.

H3: Postoji značajna razlika u fazi prolaska kroz padnu liniju između dviju promatranih grupa ispitanika u fleksiji koljena, fleksiji kuka, abdukciji kuka vanjske i unutarnje noge te omjeru distribucije sile stopala.

## 6. METODE ISTRAŽIVANJA

### 6.1. UZORAK ISPITANIKA

U istraživanju je sudjelovalo 46 ispitanika, podijeljenih u dvije skupine - učitelji skijanja i skijaši rekreativne populacije - neučitelji (studenti Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu). Učitelji skijanja licencirani su od strane Hrvatskog zbora učitelja i trenera sportova na snijegu sa najmanje IVSI licencom. Svi studenti bili su alpski skijaši rekreativne populacije koji su završili osnovnu školu alpskog skijanja.. Prije ulaska u proces testiranja ispitanici su ispunili kratki upitnik kojem je cilj bio sakupiti informacije o eventualnim prethodnim ozbiljnim zdravstvenim problemima ili smetnjama u vezi sa koštano – mišićnim sustavom koji bi mogli utjecati na rezultate istraživanja (svi su odgovorili negativno). Tijekom provedbe testiranja nijedan ispitanik nije odustao.

### ODOBRENJE ETIČKOG POVJERENSTVA

Sudjelovanje u istraživanju bilo je dobrovoljno, a ispitanici su bili informirani o svrsi istraživanja. Svi ispitanici dali su pisani pristanak za sudjelovanje u ovom istraživanju nakon što su bili detaljno upoznati s ciljevima i protokolom istraživanja. Ispitanici su imali mogućnost odustajanja u bilo kojem trenutku tijekom provođenja testiranja. Etičko povjerenstvo Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Hrvatska) odobrilo je protokol testiranja i studiju koja je provedena u skladu s etičkim standardima Helsinške deklaracije (broj odobrenja-107/2020).

Tablica 1. Osnovni podaci o ispitanicima.

| VARIJABLA                 | REZULTAT                                             |
|---------------------------|------------------------------------------------------|
| BROJ ISPITANIKA           | 46 (M-27; Ž-19) 23 učitelja; 23 rekreativnih skijaša |
| DOB ISPITANIKA (AS±SD)    | 25,96±5,45                                           |
| MASA ISPITANIKA (AS±SD)   | 79,10±8,73                                           |
| VISINA ISPITANIKA (AS±SD) | 178,60±5,49                                          |

## OPĆE INFORMACIJE O PROVEDBI ISTRAŽIVANJA

Sva mjerenja provodio je autor rada, a u mjerenjima je asistiralo još dvoje magistara kineziologije s višegodišnjim iskustvom u području sportske dijagnostike. Testiranje se provodilo u skijaškom centru Sappada, Italija tijekom zimskih mjeseci 2019/2022. Za potrebe testiranja koristila su se pomagala i mjerni sustavi (Link, Xsens i Novel Pedar) u vlasništvu Laboratorija za sportske igre (Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu).

### 6.2. VARIJABLE I OPREMA

Svi parametri mjerili su se prilikom izvedbe elementa paralelni zavoj od brijega (PZ) u definiranom i omeđenom koridoru. Element se započinje iz srednjeg skijaškog stava spusta koso. Nakon toga skijaš se oslanja na unutarnji rubnik trenutno vanjske skije te ubada vanjski štap u snijeg. Ta kretnja povezana je s gibanjem skijaša u okomitoj ravnini prema gore i u smjeru novog zavoja. S odmicanjem koljena od brijega istovremeno se izvodi promjena rubljenja i prijenos težine tijela na buduću vanjsku skiju. Skijaš također izvodi gibanja u vodoravnoj ravnini, odnosno kontinuirano potiskuje koljena i kukove prema naprijed i prema centru novog zavoja kako bi skija preko padne linija skrenula od brijega. Trup skijaša otklanja se niz padinu da bi se zadržao idealan ravnotežni položaj. Kada skijaš prođe sa skijama padnu liniju, element se završava zavojem k brijegu.

Promatrale su se razlike u izvedbi navedenog elemenata između skijaša učitelja i skijaša rekreativne razine. Ispitanici su izvodili ukupno 24 zavoja od kojih će biti analizirano njih 20 (10 u svaku stranu). Parametri su izmjereni u 3 vremenske točke svakog zavoja prilikom izvedbe navedenog elementa. Prva vremenska točka odnosi se na 1. fazu zavoja (prilaz padnoj liniji) u trenutku kada je skijaš u maksimalnoj ekstenziji donjih ekstremiteta neposredno prije početka gibanja vertikalno prema dolje u nižu skijašku poziciju. Druga vremenska točka odnosi se na 2. fazu zavoja (prolazak kroz padnu liniju) u trenutku kada su skije paralelne sa padnom linijom. Treća vremenska točka odnosi se na 3. fazu zavoja (odlazak od padne linije) u trenutku kada je skijaš u maksimalnoj fleksiji donjih ekstremiteta neposredno prije početka gibanja vertikalno prema gore i odmicanja rubnika vanjske skije od brijega.

Varijable koje su se promatrale u ovom istraživanju odabrane su na temelju relevantnih studija usmjerenih na kinematičku i kinetičku analizu skijaške tehnike (Spörri, Müller i Kröll, 2022; Falda-Buscaiot i sur., 2017; Kim, J-H., Kim, J-N., 2017; Alhammoud i sur., 2020; Supej i sur.,

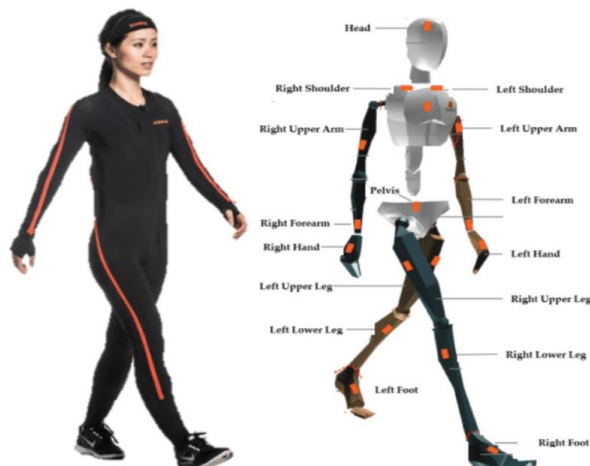
2020; Vaverka i Vodickova, 2010; Nakazato, Scheiber i Müller, 2011; Spörri i sur., 2012). Cijeli postupak mjerenja sniman je video kamerom (Panasonic GH 5) u svrhu kontrole i sinkronizacije kinetičkog i kinematičkog sustava tijekom analize. U cilju sinkronizacije kinematičkog i kinetičkog sustava prije početka izvedbe PZ ispitanici su izvodili 2 unilateralna skoka naizmjenično sa svakom nogom. Na temelju navedenog skoka prilikom analize podataka ujednačeno je vrijeme na oba uređaja.

Kinematički parametri mjereni su sustavom inercijskog odijela Xsens MVN Link. Sustav se sastoji od 17 trodimenzionalnih senzora koji sadrže akcelerometar/žiroskop/magnetometar, bateriju i hard disk (slika 1). Senzori su međusobno žično spojeni te spojeni s baterijom i eksternim hard diskom gdje se pohranjuju svi podaci. Odijelo je tanko i usko kako bi prijanjalo uz tijelo ispitanika te su žice i senzori prekriveni tkaninom i samim time ne ometaju ispitanika prilikom oblačenja skijaške opreme, ali i prilikom izvedbe (slika 2). Brzina uzorkovanja postavljena je na 240 Hz, što je dovoljno da se osigura neometana analiza gibanja koja se odvijaju prilikom izvođenja skijaških zavoja. Prije početka mjerenja potrebno je provesti kalibraciju čiji je protokol određen od strane proizvođača (Xsens technologies B.V., Netherlands). Ispitanik mora stajati u tzv. N položaju koji se definira na način da ispitanik stoji u mirnom uspravnom stavu rukama uz tijelo 30 sekundi, nakon čega kreće s uobičajenim hoda 5 metara te se okreće i ponovno hoda do početnog položaja gdje opet stoji mirno 30 sekundi. Po završetku mjerenja podaci se prebacuju sa hard diska u odgovarajući softver MVN BIOMECH (Xsens, MVN Studio 4.4, verzija firmvera 4.3.1, Enschede, Nizozemska) te se u njemu analiziraju prethodno definirani parametri. Prethodne studije potvrdile su pouzdanost i valjanost kinematičkog inercijskog odijela Xsens za analizu kinematičkih parametara u aktivnostima istim ili srodnima alpskom skijanju (Krüger i Edelmann-Nusser, 2010; Supej, 2010; Brodie, Walmsley i Page, 2008; Supej i Holmberg, 2011)

Antropometrijske mjere u ovom istraživanju koristile su se u svrhu kalibracije kinematičkog sustava Xsens i bile su sljedeće: visina tijela (TV), raspon ruku (RR), raspon laktova (RL), raspon zglobova šake (RŠ), visina ramena (VR), širina ramena (RBI) (biakromijalni), dužina noge (DN), širina zdjelice (ŠZ), dužina potkoljenice (DP), dužina stopala (DS), visina gležnja (VG) (lateralnog maleola). Navedeni parametri mjereni su standardiziranim protokolom (Mišigoj – Duraković, 2008).

Kinematičke varijable koje su promatrane u istraživanju su sljedeće:

V\_K\_1/2/3- kut fleksije u koljenu vanjske noge u zavoju- faza 1,2,3;  
 U\_K\_1/2/3- kut fleksije u koljenu unutarnje noge u zavoju- faza 1,2,3;  
 V\_F\_KUK\_1/2/3- kut fleksije u kuku vanjske noge u zavoju- faza 1,2,3;  
 U\_K\_KUK\_1/2/3- kut fleksije u kuku unutarnje noge u zavoju- faza 1,2,3;  
 V\_A\_KUK\_1/2/3- kut abdukcije u kuku vanjske noge u zavoju- faza 1,2,3;  
 U\_A\_KUK\_1/2/3- kut abdukcije u kuku unutarnje noge u zavoju- faza 1,2,3.  
 Varijable su izražene u stupnjevima (°).



Slika 1. Prikaz kinematičkog sustava Xsens.

(preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/figure/The-Xsens-MVN-link-system-Left-compression-garment-worn-by-the-individual-during-a\\_fig9\\_340280090](https://www.researchgate.net/figure/The-Xsens-MVN-link-system-Left-compression-garment-worn-by-the-individual-during-a_fig9_340280090))



Slika 2. Prikaz odijela i senzora sustava Xsens. (preuzeto sa:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Xsens-MVN%3A-Full-6DOF-Human-Motion-Tracking-Using-Roetenberg-Luinge/ffd2416057dc96d69ab6ed047910606f270039be>) Roetenberg, D., Luinge,

H., & Slycke, P.J. (2009). Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors.

Kinetički parametri mjereni su ulošcima dizajniranim za detekciju sile stopala na podlogu (Novel, Pedar). Zbog svoje konstrukcije (2 mm debljine i 16 grama težina), ulošci imaju minimalan utjecaj na izvedbu pokreta tijekom testiranja dinamičkih aktivnosti kao što je alpsko skijanje (slika 3). Ulošci su kožni te sa stražnje lateralne strane imaju traku duljine 30 cm na kojoj se nalazi baterija i *bluetooth* prijemnik (slika 3). Traka omogućuje da baterija i prijemnik budu izvan skijaške cipele kako ne bi ometale skijaša tijekom izvedbe. Svi podaci se *bluetooth* tehnologijom prenose na iOS uređaj gdje se pohranjuju (Slika 4.). Također, iOS uređaj služi i za upravljanje ulošcima tijekom mjerenja. Ulošci koji su korišteni u ovom istraživanju bili su podijeljeni u 3 regija stopala tako da mjere silu na medijalnom lateralnom i stražnjem dijelu stopala kako je prikazano na slici 5. Za potrebe ove studije, brzina uzorkovanja bila je postavljena na 100 Hz. Prije početka mjerenja potrebno je provesti kalibraciju čiji je protokol određen od strane proizvođača (Novel GmBh, Munich). Ispitanik mora stajati uspravno i naizmjenično podizati jednu pa drugu nogu kako bi potpuno opteretio i rasteretio uložak. Na taj način u sustavu se kalibrira težina ispitanika i nulta vrijednost (uložak je potpuno rasterećen od sile). Podaci se nakon mjerenja prebacuju na računalo te su analizirani u odgovarajućem softveru (Novel, Loadpad 25.3.6). Pouzdanost i valjanost uložaka za mjerenje sile pritiska potvrđena je u prethodnim istraživanjima sličnih aktivnosti (Nakazato, Scheiber i Müller, 2011; Stricker i sur., 2010; Martinez i sur., 2020)

Kinetičke varijable koje su promatrane u istraživanju su sljedeće:

V\_UK\_F\_1/2/3- ukupna maksimalna sila vanjskog stopala u zavoju- faza 1,2,3;

U\_UK\_F\_1/2/3- ukupna maksimalna sila unutarnjeg stopala u zavoju; - faza 1,2,3;

V\_ME\_F\_1/2/3- sila na medijalnom dijelu vanjskog stopala u zavoju; - faza 1,2,3;

U\_ME\_F\_1/2/3- sila na medijalnom dijelu unutarnjeg stopala u zavoju; - faza 1,2,3;

V\_LA\_F\_1/2/3- sila na lateralnom dijelu vanjskog stopala u zavoju; - faza 1,2,3;

U\_LA\_F\_1/2/3- sila na lateralnom dijelu unutarnjeg stopala u zavoju; - faza 1,2,3;

V\_PET\_F\_1/2/3- sila na peti vanjskog stopala u zavoju; - faza 1,2,3;

U\_PET\_F\_1/2/3- sila na peti unutarnjeg stopala u zavoju; - faza 1,2,3;

Varijable su izražene u njutnima (N).

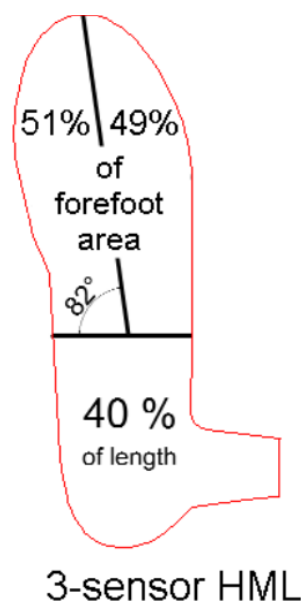
Izmjerene varijable lijevog i desnog zavoja za svakog ispitanika svedene su na aritmetičke sredine te je statistička analiza provedena na tim podacima.



Slika 3. Ulošci za detekciju sile ispod stopala.



Slika 4. Prikaz uložaka i iOS uređaja pomoću kojih se upravlja ulošcima tijekom postupka mjerenja.  
(preuzeto sa: <https://novel.de/products/pedar/>)



Slika 5. Prikaz regija uloška na kojima detektira silu. (preuzeto sa: <https://novel.de/products/pedar/>)

### 6.3.PROTOKOL MJERENJA

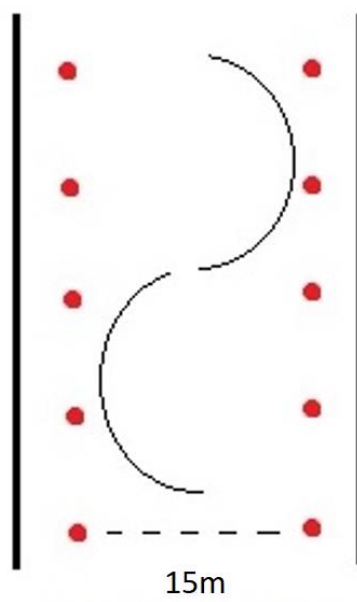
Svi uključeni ispitanici testirani su identičnim protokolom. Testiranje je provedeno u trajanju od 16 dana, odnosno svaki dan testirana su 3 ispitanika. Prije početka testiranja ispitanicima je provjerena ispravnost skijaških cipela te su vezovi namješteni u skladu s veličinom cipele. Ispitanici su sudjelovali u testiranju na slalom skijama Elan SLX duljine 165 cm, radijusa 12,80 m. Ispitanice su sudjelovale testiranje na slalom skijama Elan SLX duljine 155 cm, radijusa 11 m. Istraživanje je provedeno u skijaškom centru Sappada u Italiji, tijekom provođenja nastave studenata Kineziološkog fakulteta.

Za potrebe testiranja odabrana je crvena staza srednje strmine nagib. Mjerenje se provodilo u što sličnijim vremenskim i snježnim uvjetima. Također, u danima kada vremenski uvjeti nisu bili odgovarajući (padaline, magla itd.) testiranje se nije provodilo. Na skijaškoj stazi postavljen je koridor širine 20 metara koji je bio omeđen vidljivim oznakama oko kojih su ispitanici izvodili zadani element (slika 6). Razmak između vratiju kojima se definirao ritam i trajanje izvođenja zavoja bio je postavljen na 15 metara. Ispitanici su dobili uputu o izvođenju zavoja maksimalno blizu oznake, a ukoliko je moguće da je dodiruju. Na taj način pokušalo se unificirati izvođenje svakog pojedinog zavoja, odnosno njegovo trajanje i duljina. Navedeni dio

staze u kojem je koridor bio postavljen i gdje se provodilo testiranje bio je zatvoren za ostale skijaše kako bi se isključila mogućnost dodatnih remetećih faktora.

Ispitanicima koji su se testirali toga dana izmjerene su prethodno navedene antropometrijske mjere u svrhu provođenja analize i kalibracije sustava po završetku mjerenja. Nakon toga izabrao se, s obzirom na veličinu stopala, odgovarajući uložak za mjerenje sile ispod stopala. Ispitanik je obukao kinematičko odijelo, skijaško odijelo i ostalu skijašku opremu te skijaške cipele s ulošcima za mjerenje. Po dolasku na stazu ispitanik je dobio jasne i detaljne upute o načinu izvođenja zadanog elementa u omeđenom koridoru. PZ izvodio se na standardan način kako se izvodi u hrvatskoj školi alpskog skijanja. Nakon dobivenih uputa ispitanici su izvodili probnu vožnju u omeđenom koridoru. Nakon toga, prema uputama proizvođača provedena je kalibracija kinematičkog i kinetičkog sustava. Ispitanik se namjestio na startnu poziciju, pokrenuli su se svi mjerni sustavi nakon čega je ispitanik izveo 2 unilateralna skoka naizmjenično sa svakom nogom. Na temelju navedenih skokova prilikom analize podataka ujednačeno je vrijeme na oba uređaja odnosno napravljena je sinkronizacija uređaja. Po završetku navedenih radnji započelo se sa testiranjem. Svi ispitanici izvodili su 24 zavoja u prethodno opisanom elementu. U završnu analizu i obradu uzeto je u obzir 20 zavoja. Nekoliko zavoja kod svakog ispitanika je izuzeto iz analize zbog sljedećih razloga: ispitanik nije ušao u željeni ritam zavoja odmah na početku mjerenja, došlo je do proklizavanja tijekom izvedbe, prerani izlazak iz ritma izvođenja zavoja prije završetka izvođenja završnih nekoliko zavoja.

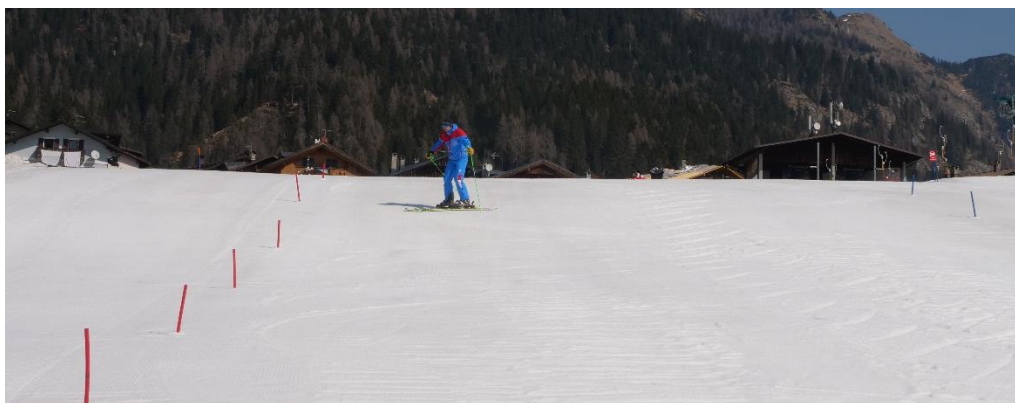
U nastavku slijedi prikaz protokola testiranja i koridora u kojem su ispitanici izvodili PZ (slika 7. i 8.a,b,c).



Slika 6. Prikaz koridora u kojem su ispitanici izvodili paralelni zavoj.



Slika 7. postavljeni koridor na skijaškoj stazi.



a)



b)



c)

Slika 8. Prikaz izvedbe paralelnog zavoja u postavljenom koridoru: a) prva faza zavoja, b) druga faza zavoja, c) treća faza zavoja.

#### 6.4.METODE ANALIZE PODATAKA

G\*power 3.1.9.7 (University of Dusseldorf, Dusseldorf, Germany) programom izračunata je veličina uzorka ispitanika ( $n=46$ ) potrebna za postupak ispitivanja uz statističku značajnost  $p<0,05$ ; statističku snagu 0,8; veličinu učinka 0,50 i broj grupa  $=2$ . Podaci su analizirani statističkim paketom Statistica 14.0.1.25 (TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA).

Izračunati su osnovni deskriptivni statistički pokazatelji varijabli (aritmetička sredina, standardna devijacija).

Za testiranje razlika u izvođenju zavoja između skupine učitelja i neučitelja korištena je multivarijatna analiza varijance (MANOVA).

Za testiranje razlika između pojedinih faza zavoja korištena je također multivarijatna analiza varijance (MANOVA), u slučaju značajnog glavnog učinka provedena je Tukey post-hoc testom za usporedbu između faza zavoja.

Za utvrđivanje razlika između skupine učitelja i neučitelja u svakoj pojedinoj fazi koristila se multivarijatna analiza varijance (MANOVA). U slučaju utvrđivanja značajnosti glavnog učinka prikazan je model za sve varijable.

Statistička značajnost postavljena je na  $p < 0.05$ .

## 7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U nastavku slijedi prikaz rezultata istraživanja redoslijedom obrade podataka. Najprije su prikazani svi deskriptivni pokazatelji izmjerenih podataka te nakon toga slijedi prikaz statističkih analiza kojima su testirane postavljene hipoteze.

U Tablici 2. nalaze se deskriptivni pokazatelji (aritmetička sredina i standardna devijacija) za obje skupine ispitanika (učitelji i neučitelji) prilikom izvedbe PZ za svaku pojedinu kinematičku varijablu u izmjerenim fazama zavoja. U prvom dijelu tablice podaci su izraženi u kutovima ( $180^\circ$  označava potpunu ekstenziju noge), a u drugom dijelu se nalazi prikaz promjene u kinematičkim varijablama između vremenskih točaka u kojima su izmjerene kako bi se jasnije prikazala gibanja tijekom zavoja kod obje skupine ispitanika.

Tablica 2. Deskriptivni statistički parametri za obje skupine ispitanika promatrane u tri faze zavoja u svim kinematičkim varijablama.

| KINEMATIKA |                        |                      |                        |                      |                        |                      |
|------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
|            | 1. FAZA ( $^\circ$ )   |                      | 2. FAZA ( $^\circ$ )   |                      | 3. FAZA ( $^\circ$ )   |                      |
|            | UČITELJI               | NEUČITELJI           | UČITELJI               | NEUČITELJI           | UČITELJI               | NEUČITELJI           |
| V_K        | 158,116 $\pm$ 8,553    | 167,602 $\pm$ 3,893  | 143,637 $\pm$ 8,966    | 161,058 $\pm$ 5,042  | 133,223 $\pm$ 8,878    | 157,161 $\pm$ 5,865  |
| U_K        | 152,654 $\pm$ 7,576    | 154,647 $\pm$ 6,094  | 131,494 $\pm$ 7,733    | 145,399 $\pm$ 6,019  | 116,309 $\pm$ 7,646    | 140,492 $\pm$ 6,670  |
| V_F_KUK    | 156,283 $\pm$ 7,602    | 158,440 $\pm$ 8,307  | 134,030 $\pm$ 7,501    | 146,923 $\pm$ 7,712  | 121,115 $\pm$ 8,212    | 141,023 $\pm$ 7,697  |
| U_F_KUK    | 152,410 $\pm$ 6,546    | 147,807 $\pm$ 11,567 | 125,370 $\pm$ 6,705    | 133,408 $\pm$ 10,375 | 108,013 $\pm$ 6,183    | 126,747 $\pm$ 10,556 |
| V_A_KUK    | 174,292 $\pm$ 2,483    | 178,372 $\pm$ 0,923  | 168,158 $\pm$ 2,405    | 175,886 $\pm$ 0,950  | 164,382 $\pm$ 2,398    | 174,809 $\pm$ 0,978  |
| U_A_KUK    | 182,480 $\pm$ 0,797    | 180,114 $\pm$ 1,068  | 188,566 $\pm$ 1,067    | 182,757 $\pm$ 1,160  | 192,108 $\pm$ 1,127    | 183,907 $\pm$ 1,173  |
|            | FAZA ( $\Delta$ 1.-2.) |                      | FAZA ( $\Delta$ 2.-3.) |                      | FAZA ( $\Delta$ 1.-3.) |                      |
| V_K        | 14,480 $\pm$ 1,283     | 6,543 $\pm$ 1,560    | 10,413 $\pm$ 1,244     | 3,898 $\pm$ 1,047    | 24,893 $\pm$ 1,294     | 10,441 $\pm$ 2,421   |
| U_K        | 21,160 $\pm$ 1,806     | 9,248 $\pm$ 2,009    | 15,185 $\pm$ 1,285     | 4,907 $\pm$ 1,053    | 36,345 $\pm$ 1,928     | 14,115 $\pm$ 2,591   |
| V_F_KUK    | 22,253 $\pm$ 1,657     | 11,517 $\pm$ 2,003   | 12,916 $\pm$ 1,665     | 5,900 $\pm$ 1,230    | 35,168 $\pm$ 1,631     | 17,417 $\pm$ 2,794   |
| U_F_KUK    | 27,040 $\pm$ 1,178     | 14,399 $\pm$ 3,045   | 17,357 $\pm$ 1,772     | 6,661 $\pm$ 1,214    | 44,397 $\pm$ 2,026     | 21,060 $\pm$ 3,417   |
| V_A_KUK    | 6,135 $\pm$ 0,521      | 2,486 $\pm$ 0,441    | 3,776 $\pm$ 0,496      | 1,077 $\pm$ 0,256    | 9,910 $\pm$ 0,774      | 3,563 $\pm$ 0,520    |
| U_A_KUK    | 6,086 $\pm$ 0,916      | 2,643 $\pm$ 0,526    | 3,542 $\pm$ 0,579      | 1,150 $\pm$ 0,289    | 9,628 $\pm$ 1,013      | 3,793 $\pm$ 0,493    |

Legenda: V\_K- Kut fleksije u zglobu koljena vanjske noge; U\_K- Kut fleksije u zglobu koljena unutarnje noge; V\_F\_KUK- Kut fleksije u zglobu kuka vanjske noge; U\_F\_KUK- Kut fleksije u zglobu kuka unutarnje noge; V\_A\_KUK- Kut abdukcije u zglobu kuka vanjske noge; U\_A\_KUK- Kut abdukcije u zglobu kuka unutarnje noge;  $\Delta$  1.-2.- promjena u kutovima između 1. i 2. točke mjerenja;  $\Delta$  2.-3.- promjena u kutovima između 2. i 3. točke mjerenja;  $\Delta$  1.-3.- promjena u kutovima između 1. i 3. točke mjerenja (ukupna promjena); učitelji- ispitanici koji pripadaju skupini licenciranih učitelja alpskog skijanja; neučitelji- ispitanici koji pripadaju skupini rekreativnih skijaša.

Uvidom u rezultate prikazane u Tablici 2. moguće je usporediti skupinu učitelja i neučitelja u tri promatrane faze zavoja. U prvom dijelu tablice vrijednosti kutova prikazani su u stupnjevima. Promatrajući podatke može se primijetiti kako u prvoj fazi zavoja skupina

učitelja i neučitelja međusobno nemaju vidljivo različite vrijednosti kutova u zglobovima. Primjetna je jedino nešto veća razlika između vrijednosti u varijabli kuta u koljenu vanjske noge. Skupina neučitelja ima veću vrijednost kuta u koljenu, odnosno noga je opruženija u zglobu koljena tijekom prve faze zavoja. Analizirajući drugu fazu zavoja može se zaključiti kako u svim promatranim zglobovima, skupina neučitelja ima veće vrijednosti kutova u odnosu na skupinu učitelja. Promatrani zglobovi tijekom izvođenja zavoja opruženiji su kod skupine neučitelja. Isti trend primjetan je i u trećoj fazi zavoja gdje je vidljivo da su vrijednosti promatranih kutova značajno veći kod neučitelja u odnosu na učitelje. Navedeno se može dodatno objasniti analizirajući drugi dio Tablice 2. u kojoj su prikazane promjene u kutovima promatranih zglobovima od prve do treće faze zavoja. Između prve i druge faze ( $\Delta$  1.-2.) zavoja te isto tako između druge i treće faze ( $\Delta$  2.-3.), vidljivo je kako su vrijednosti promjene kutova značajno veće kod skupine učitelja. Odnosno skupina učitelja ima vidljivo veću amplitudu gibanja u promatranim varijablama između prve i druge te druge i treće faze zavoja u odnosu na neučitelje. Ukupna amplituda ( $\Delta$  1.-3.) promatrajući deskriptivne pokazatelje, vidljivo je veća kod skupine učitelja, što znači da su koristili više gibanja u svim promatranim zglobovima izvodeći PZ.

U Tablici 3. prikazani su deskriptivni pokazatelji (aritmetička sredina i standardna devijacija) za obje skupine ispitanika (učitelji i neučitelji) prilikom izvedbe PZ za svaku pojedinu kinetičku varijablu u izmjeranim fazama zavoja. U prvom dijelu tablice podaci su izraženi u njutnima (N) a u drugom dijelu su izraženi u sili u odnosu na tjelesnu težinu (BW).

Tablica 3. Deskriptivni statistički parametri za obje skupine ispitanika promatrane u tri faze zavoja u svim kinetičkim varijablama.

| KINETIKA  |                |                |                |                 |                |                |
|-----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| VARIJABLE | 1. FAZA (N)    |                | 2. FAZA (N)    |                 | 3. FAZA (N)    |                |
|           | UČITELJI       | NEUČITELJI     | UČITELJI       | NEUČITELJI      | UČITELJI       | NEUČITELJI     |
| V_UK_F    | 670,170±69,310 | 557,778±88,889 | 981,029±92,099 | 680,052±106,157 | 777,496±68,195 | 612,352±95,907 |
| U_UK_F    | 505,543±51,242 | 420,657±65,395 | 361,017±43,685 | 351,035±59,177  | 435,409±58,728 | 370,822±64,401 |
| V_ME_F    | 293,587±31,586 | 189,333±39,389 | 495,826±46,418 | 286,819±51,356  | 316,891±22,695 | 186,769±30,778 |
| U_ME_F    | 204,443±24,236 | 131,293±20,224 | 84,248±12,611  | 76,116±16,661   | 107,683±24,718 | 92,096±22,840  |
| V_LA_F    | 277,779±37,866 | 177,948±32,963 | 194,871±42,376 | 163,654±35,285  | 186,800±28,367 | 150,748±36,031 |
| U_LA_F    | 222,933±25,135 | 143,574±33,341 | 169,023±22,678 | 139,417±28,420  | 173,183±19,463 | 113,969±27,973 |
| V_PET_F   | 98,803±30,913  | 190,497±34,159 | 290,332±47,143 | 229,579±34,535  | 273,804±46,338 | 274,835±51,099 |
| U_PET_F   | 78,167±14,410  | 145,790±23,161 | 107,745±20,173 | 135,502±26,334  | 154,543±21,398 | 164,757±38,159 |
| VARIJABLE | 1. FAZA (BW)   |                | 2. FAZA (BW)   |                 | 3. FAZA (BW)   |                |
|           | UČITELJI       | NEUČITELJI     | UČITELJI       | NEUČITELJI      | UČITELJI       | NEUČITELJI     |
| V_UK_F    | 0,850±0,025    | 0,812±0,044    | 1,256±0,026    | 0,998±0,031     | 0,987±0,027    | 0,891±0,048    |
| U_UK_F    | 0,642±0,031    | 0,613±0,050    | 0,457±0,023    | 0,511±0,040     | 0,551±0,031    | 0,539±0,046    |

|                |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>V_ME_F</b>  | 0,373±0,027 | 0,275±0,036 | 0,631±0,045 | 0,416±0,028 | 0,404±0,034 | 0,273±0,034 |
| <b>U_ME_F</b>  | 0,260±0,020 | 0,192±0,017 | 0,108±0,018 | 0,111±0,018 | 0,135±0,021 | 0,135±0,033 |
| <b>V_LA_F</b>  | 0,352±0,028 | 0,259±0,027 | 0,246±0,044 | 0,239±0,041 | 0,237±0,026 | 0,219±0,038 |
| <b>U_LA_F</b>  | 0,283±0,019 | 0,209±0,037 | 0,215±0,023 | 0,203±0,028 | 0,220±0,013 | 0,166±0,031 |
| <b>V_PET_F</b> | 0,125±0,035 | 0,278±0,035 | 0,367±0,042 | 0,335±0,027 | 0,346±0,039 | 0,399±0,038 |
| <b>U_PET_F</b> | 0,099±0,016 | 0,213±0,025 | 0,136±0,018 | 0,197±0,025 | 0,196±0,018 | 0,238±0,033 |

V\_UK\_F- Ukupna sila stopala vanjske noge; U\_UK\_F- Ukupna sila stopala unutarnje noge; V\_ME\_F- Sila na medijalnom dijelu stopala vanjske noge; U\_ME\_F- Sila na medijalnom dijelu stopala unutarnje noge; V\_LA\_F- Sila na lateralnom dijelu stopala vanjske noge; U\_LA\_F- Sila na lateralnom dijelu stopala unutarnje noge; V\_PET\_F- Sila na peti stopala vanjske noge; U\_PET\_F- Sila na peti stopala unutarnje noge; učitelji- ispitanici koji pripadaju skupini licenciranih učitelja alpskog skijanja; neučitelji- ispitanici koji pripadaju skupini rekreativnih skijaša.

Pregledom Tablice 3. moguće je usporediti parametre izmjerene ukupne sile i na tri regije stopala između skupine učitelja i neučitelja. U prvom dijelu tablice rezultati su izraženi u njutnima (N). U prvoj fazi zavoja vidljivo je kako skupina učitelja ima veću silu u svim mjerenim varijablama osim u sili na stražnjem dijelu stopala vanjske i unutarnje noge (V\_PET\_F: učitelji- 98,803±30,913, neučitelji- 190,497±34,159; U\_PET\_F: učitelji- 78,167±14,410, neučitelji- 145,790±23,161). Navedeni podaci prikazuju kako je kod skupine neučitelja tijekom prve faze zavoja određeni dio težine bio raspoređen na peti, odnosno težište tijela je bilo pomaknuto prema natrag. U drugoj fazi zavoja kada se skijaš nalazi sa skijama paralelno sa padnom linijom obje skupine ispitanika stvorile su najveću silu. Također, iz podataka je vidljivo kako je skupina učitelja proizvela veću ukupnu silu na vanjskoj nozi u odnosu na neučitelje (V\_UK\_F: učitelji- 981,029±92,099, neučitelji- 680,052±106,157) dok je sila na unutarnjoj nozi približno istih vrijednosti (U\_UK\_F: učitelji- 361,017±43,685, neučitelji- 351,035±59,177). U trećoj fazi zavoja trend sila sličan je kao i u drugoj fazi zavoja. Promatrajući drugi dio tablice, u kojem su podaci izraženi u obliku sile u odnosu na prosječnu težinu ispitanika, može se steći bolji uvid u količinu sila koje različite skupine ispitanika stvaraju na regijama stopala u pojedinim fazama zavoja. Može se istaknuti parametar u drugoj fazi zavoja ukupne sile na vanjskoj nozi (V\_UK\_F: učitelji- 1,256±0,026, neučitelji- 0,998±0,031) gdje je vidljivo da je skupina učitelja stvorila silu veću od prosječne težine ≈20% dok je skupina učitelja stvorila silu koja odgovara prosječnoj težini ispitanika.

U nastavku slijedi grafički prikaz distribucije sile na promatranim regijama stopala za svaku pojedinu fazu zavoja. Iz navedenog prikaza moguće je usporediti skupinu učitelja i neučitelja u doziranju sile na određeni dio stopala, te utvrditi razlike u omjerima između unutarnje i vanjske noge.



Graf 1. prikaz distribucije sile stopala tijekom faza zavoja.

Iz Grafa 1. vidljivo je kako je omjer sile između vanjske i unutarnje noge kod skupine učitelja i neučitelja vrlo sličan u prvoj fazi zavoja. Kod obje skupine ispitanika izmjerena je nešto veća sila na vanjskoj nozi (učitelji- 57% : 43%, neučitelji- 57% : 43%) . Promatrajući distribuciju po regijama stopala obje noge, vidljivo je kako učitelji imaju dominantno raspoređenu težinu na prednjem dijelu stopala (učitelji-medijalno:  $\approx 42\%$ , lateralno:  $\approx 42\%$ ; neučitelji- medijalno:  $\approx 32\%$ , lateralno:  $\approx 32\%$ ), dok neučitelji imaju veću izmjerenu silu na stražnjem dijelu stopala (peta) u odnosu na učitelje ( $\approx 34\%$  vs  $\approx 15\%$ ). U drugoj fazi zavoja omjer sile između vanjske i unutarnje noge kod skupine učitelja je dominantno na strani vanjske noge (vanjska noga 73%, unutarnja 26%). Kod skupine neučitelja je također na vanjskoj nozi, međutim manja je razlika (vanjska noga 65%, unutarnja 34%). Promatrajući regije stopala, kod obje skupine ispitanika sila je dominantno raspoređena na medijalnoj i lateralnoj regiji iako su vidljive određene razlike. Veća sila zabilježena je na medijalnom dijelu stopala vanjske noge kod učitelja u odnosu na neučitelje (51% vs 42%), te manja na peti (29 % vs 33%). U toj fazi zavoja izmjerene su najveće sile te je moguće zaključiti kako skupina učitelja postavlja vanjsku skiju na unutarnji (medijalni) bočni rubnik i odupire se o snježnu podlogu. Analizirajući unutarnju nogu pritisak je očekivano najveći na lateralnom dijelu stopala kod obje skupine (učitelji 46%, neučitelji 39%) s obzirom da je skija također postavljena na bočni rubnik. Iako, veći pritisak je zabilježen kod skupine učitelja. Kod neučitelja zabilježen je značajno veća sila

na peti (učitelji- 29%, neučitelji 38%). U trećoj fazi zavoja omjer između sile na unutarnjoj i vanjskoj nozi kod obje skupine ispitanika je sličan, sila je dominantno raspoređena na vanjsku nogu ( $\approx 63\%$ ). Unutar stopala vanjske noge pritisak na medijalnom dijelu stopala značajno je veći kod skupine učitelja (40% vs 30%), dok je kod neučitelja veći na peti (44% vs 35%). Kod unutarnje noge, sila na lateralnom dijelu je veća kod učitelja (39% vs 30 %) dok je kod neučitelja veća na peti (35% vs 44%).

Kako bi se dobio popuni uvid i razumjeli rezultati na temelju kojih će se moći donijeti konkretni zaključci o eventualnim značajnim razlikama između skijaša učitelja i neučitelja u tri promatrane faze zavoja potrebno je provesti statističke analize. Isto tako na temelju detaljnije analize moći će se direktno utvrditi kinematičke i kinetičke karakteristike zavoja izvedenog za svaku pojedinu skupinu ispitanika. Kompleksnije analize za ispitivanje postavljenih hipoteza nalaze se u nastavku.

U nastavku slijedi prikaz rezultata statističke analize provedene u cilju testiranja postavljenih hipoteza.

Tablica 4. Multivarijatna analiza varijance (MANOVA) za utvrđivanje razlika između grupe učitelja i neučitelja.

| <b>Efekt</b> | <b>Test</b> | <b>Lambda</b> | <b>F</b> | <b>p</b> |
|--------------|-------------|---------------|----------|----------|
| Grupa        | Wilks       | 0,044         | 192,051  | 0,000*   |

Multivarijatom analizom varijance utvrđivala se razlika u svim izmjeranim varijablama između dvije promatrane grupe ispitanika. Rezultati prikazani u tablici ukazuju na postojanje statistički značajne razlike između dvije testirane skupine ( $F= 192,051$ ,  $p<0,001$ ).

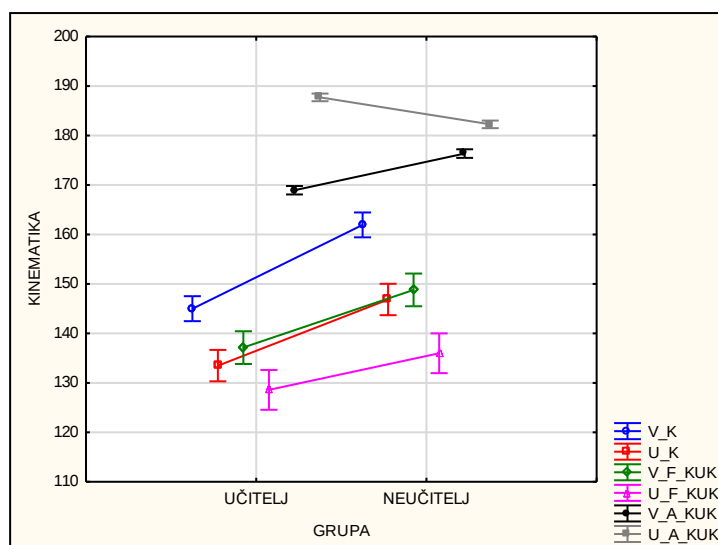
Tablica 5. Prikaz modela razlika između dvije promatrane skupine ispitanika za svaku promatranu varijablu.

| <b>VARIJABLE</b>  | <b>F</b> | <b>p</b> |
|-------------------|----------|----------|
| <b>KINEMATIKA</b> |          |          |
| <b>V_K</b>        | 88,490   | 0,000*   |
| <b>U_K</b>        | 34,665   | 0,000*   |
| <b>V_F_KUK</b>    | 24,234   | 0,000*   |
| <b>U_F_KUK</b>    | 6,587    | 0,011*   |
| <b>V_A_KUK</b>    | 147,007  | 0,000*   |
| <b>U_A_KUK</b>    | 98,682   | 0,000*   |

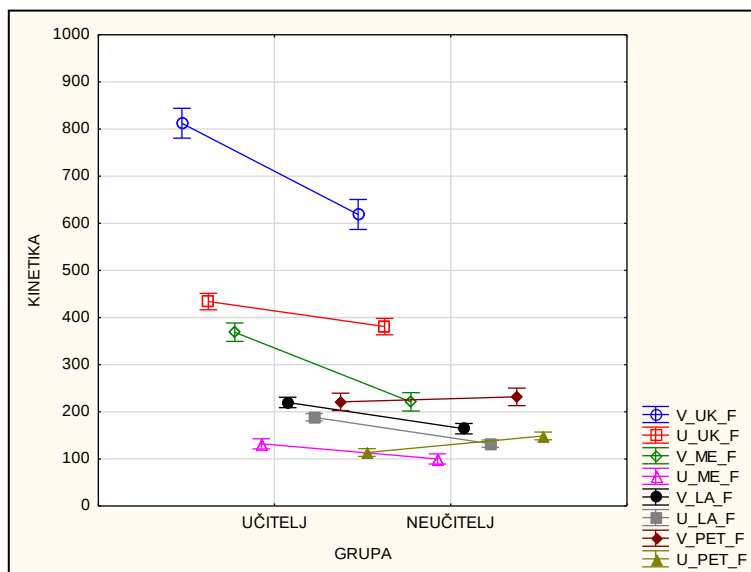
| KINETIKA |         |        |
|----------|---------|--------|
| V_UK_F   | 72,602  | 0,000* |
| U_UK_F   | 17,974  | 0,000* |
| V_ME_F   | 113,055 | 0,000* |
| U_ME_F   | 17,455  | 0,000* |
| V_LA_F   | 49,550  | 0,000* |
| U_LA_F   | 100,864 | 0,000* |
| V_PET_F  | 0,645   | 0,423  |
| U_PET_F  | 36,097  | 0,000* |

U tablici 5. su prikazani rezultati za sve promatrane varijable te je vidljivo da je utvrđena razlika u svim varijablama između dvije grupe ispitanika. Statistički značajne razlike su utvrđene u svim kinematičkim varijablama te u svim kinetičkim varijablama s iznimkom sile na stražnjem dijelu stopala (peti) vanjske noge tijekom izvođenja PZ ( V\_PET\_F, F=0,645, p=0,423).

U nastavku slijedi grafički prikaz rezultata i razlike između svih promatranih varijabli skupine učitelja i neučitelja.



Graf 1. prikaz vrijednosti rezultata i razlike između dvije testirane skupine ispitanika u kinematičkim varijablama.



Graf 2. prikaz vrijednosti rezultata i razlike između dvije testirane skupine ispitanika u kinetičkim varijablama.

Tablica 6. Multivarijatna analiza varijance (MANOVA) za utvrđivanje razlike između tri promatrane vremenske točke (faze) prilikom izvođenja PZ.

| Efekt | Test  | Lambda | F      | p      |
|-------|-------|--------|--------|--------|
| Grupa | Wilks | 0,031  | 40,717 | 0,000* |

Multivarijatnom analizom varijance utvrđivala se razlika između tri promatrane vremenske točke (faze) tijekom izvođenja PZ. Rezultati prikazani u tablici ukazuju na postojanje statistički značajne razlike između tri promatrane faze zavoja ( $F = 40,717$ ,  $p < 0,001$ ).

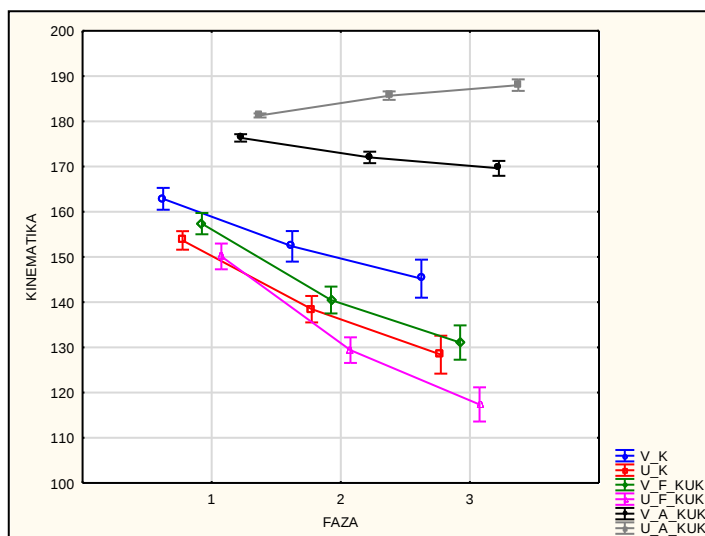
Tablica 7. Tukey post hoc test za sve varijable koje se statistički značajno razlikuju u promatranim fazama zavoja.

| KINEMATIKA |        |        |        |         |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| V_K        |        |        |        | U_K     |        |        |        |
| Faza       | 1      | 2      | 3      | Faza    | 1      | 2      | 3      |
| 1          |        | 0,000* | 0,000* | 1       |        | 0,000* | 0,000* |
| 2          | 0,000* |        | 0,008* | 2       | 0,000* |        | 0,000* |
| 3          | 0,000* | 0,008* |        | 3       | 0,000* | 0,000* |        |
| V_F_KUK    |        |        |        | U_F_KUK |        |        |        |
| Faza       | 1      | 2      | 3      | Faza    | 1      | 2      | 3      |
| 1          |        | 0,000* | 0,000* | 1       |        | 0,000* | 0,000* |
| 2          | 0,000* |        | 0,000* | 2       | 0,000* |        | 0,000* |
| 3          | 0,000* | 0,000* |        | 3       | 0,000* | 0,000* |        |
| V_A_KUK    |        |        |        | U_A_KUK |        |        |        |
| Faza       | 1      | 2      | 3      | Faza    | 1      | 2      | 3      |

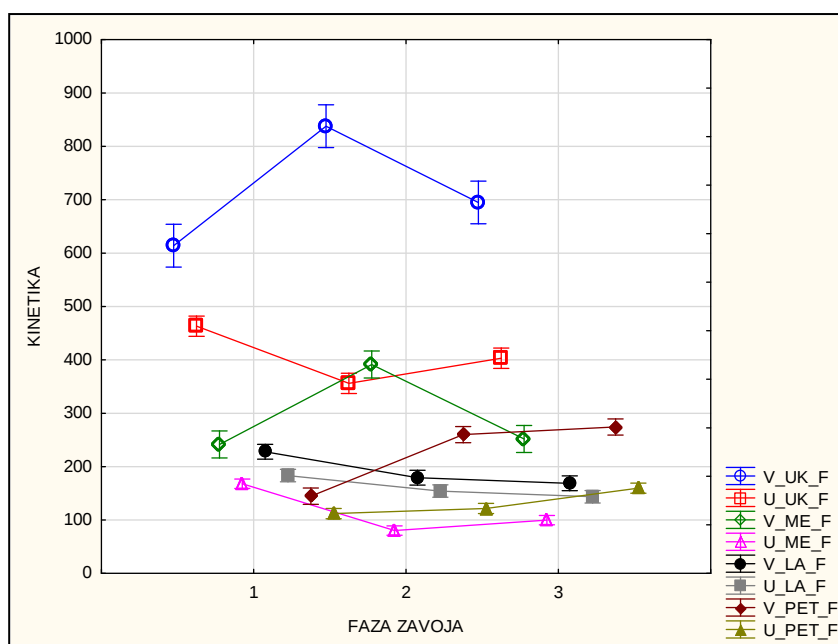
|                 |        |        |        |                |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|
| 1               |        | 0,000* | 0,000* | 1              |        | 0,000* | 0,000* |
| 2               | 0,000* |        | 0,021* | 2              | 0,000* |        | 0,001* |
| 3               | 0,000* | 0,021* |        | 3              | 0,000* | 0,001* |        |
| <b>KINETIKA</b> |        |        |        |                |        |        |        |
| <b>V_UK_F</b>   |        |        |        | <b>U_UK_F</b>  |        |        |        |
| Faza            | 1      | 2      | 3      | Faza           | 1      | 2      | 3      |
| 1               |        | 0,000* | 0,013* | 1              |        | 0,000* | 0,000* |
| 2               | 0,000* |        | 0,000* | 2              | 0,000* |        | 0,001* |
| 3               | 0,013* | 0,000* |        | 3              | 0,000* | 0,001* |        |
| <b>V_ME_F</b>   |        |        |        | <b>U_ME_F</b>  |        |        |        |
| Faza            | 1      | 2      | 3      | Faza           | 1      | 2      | 3      |
| 1               |        | 0,000* | 0,834  | 1              |        | 0,000* | 0,000* |
| 2               | 0,000* |        | 0,000* | 2              | 0,000* |        | 0,005* |
| 3               | 0,834  | 0,000* |        | 3              | 0,000* | 0,005* |        |
| <b>V_LA_F</b>   |        |        |        | <b>U_LA_F</b>  |        |        |        |
| Faza            | 1      | 2      | 3      | Faza           | 1      | 2      | 3      |
| 1               |        | 0,000* | 0,000* | 1              |        | 0,000* | 0,000* |
| 2               | 0,000* |        | 0,545  | 2              | 0,000* |        | 0,408  |
| 3               | 0,000* | 0,545  |        | 3              | 0,000* | 0,408  |        |
| <b>V_PET_F</b>  |        |        |        | <b>U_PET_F</b> |        |        |        |
| Faza            | 1      | 2      | 3      | Faza           | 1      | 2      | 3      |
| 1               |        | 0,000* | 0,000* | 1              |        | 0,336  | 0,000* |
| 2               | 0,000* |        | 0,382  | 2              | 0,336  |        | 0,000* |
| 3               | 0,000* | 0,382  |        | 3              | 0,000* | 0,000* |        |

U tablici 7. prikazani su rezultati Tukey post hoc testa kojim je testirana razlika između promatranih varijabli u tri faze zavoja. Iz tablice je vidljivo da se tri promatrane faze međusobno statistički značajno razlikuju u svim kinematičkim varijablama. U kinetičkim varijablama nije utvrđena razlika između faza u nekoliko promatranih varijabli. U varijabli sila na medijalnom dijelu stopala vanjske noge (V\_ME\_F) nije utvrđena statistički značajna razlika između prve i treće faze (1 vs 3,  $p=0,302$ ). Sila na lateralnom dijelu stopala vanjske noge (V\_LA\_F) ne razlikuje se statistički značajno između druge i treće faze zavoja (2 vs 3,  $p=0,223$ ) isto kao i na stopalu unutarnje noge (U\_LA\_F) (2 vs 3,  $p=0,052$ ). Na stražnjem dijelu stopala (peta) razlika između faza nije utvrđena u sili stopala vanjske noge (V\_PET\_F) između druge i treće faze zavoja (2 vs 3,  $p=0,201$ ), dok na sili unutarnje noge (U\_PET\_F) nije utvrđena statistički značajna razlika između prve i druge faze zavoja (1 vs 2,  $p=0,201$ ).

U grafičkom obliku u nastavku je prikazan trend rezultata u svakoj kinematičkoj i kinetičkoj varijabli tijekom triju promatranih faza izvođenja zavoja.



Graf 3. prikaz vrijednosti rezultata i razlike između tri promatrane faze zavoja u kinematičkim varijablama.



Graf 4. prikaz vrijednosti rezultata i razlike između tri promatrane faze zavoja u kinetičkim varijablama.

U nastavku slijedi prikaz rezultata utvrđivanja razlike između skupine učitelja i neučitelja za svaku promatranu fazu zavoja zasebno.

Tablica 8. Multivarijatna analiza varijance (MANOVA) za utvrđivanje razlika između grupe učitelja i neučitelja u prvoj fazi zavoja.

| Efekt | Test  | Lambda | F       | p      |
|-------|-------|--------|---------|--------|
| Grupa | Wilks | 0,018  | 153,163 | 0,000* |

Multivarijatnom analizom varijance utvrđivala se razlika u svim izmjeranim varijablama u prvoj fazi paralelnog zavoja između dvije promatrane skupine ispitanika. Rezultati prikazani u tablici ukazuju na postojanje statistički značajne razlike između dvije testirane skupine ( $F = 153,163$ ,  $p < 0,001$ ).

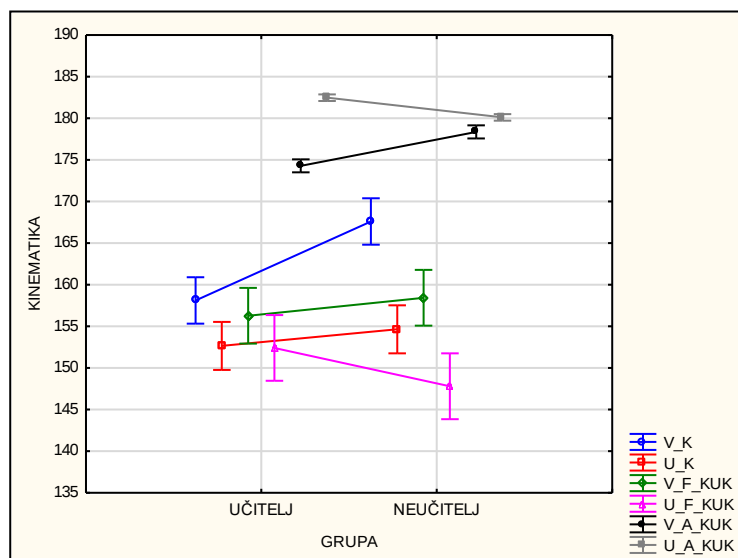
Tablica 9. Prikaz modela razlika između dvije skupine ispitanika za svaku promatranu varijablu u prvoj fazi zavoja.

| VARIJABLE         | F       | p      |
|-------------------|---------|--------|
| <b>KINEMATIKA</b> |         |        |
| V_K               | 23,435  | 0,000* |
| U_K               | 0,967   | 0,331  |
| V_F_KUK           | 0,844   | 0,363  |
| U_F_KUK           | 2,759   | 0,104  |
| V_A_KUK           | 54,581  | 0,000* |
| U_A_KUK           | 72,475  | 0,000* |
| <b>KINETIKA</b>   |         |        |
| V_UK_F            | 22,867  | 0,000* |
| U_UK_F            | 24,011  | 0,000* |
| V_ME_F            | 98,066  | 0,000* |
| U_ME_F            | 123,521 | 0,000* |
| V_LA_F            | 90,948  | 0,000* |
| U_LA_F            | 83,088  | 0,000* |
| V_PET_F           | 91,110  | 0,000* |
| U_PET_F           | 141,344 | 0,000* |

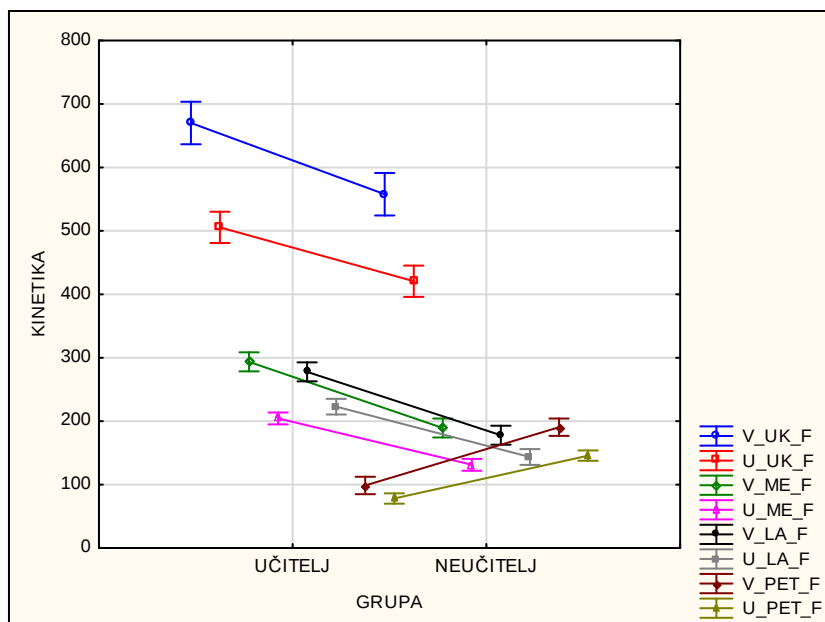
U tablici 9. je prikazana razlika između skupine učitelja i neučitelja u svim promatranim varijablama tijekom izvođenja prve faze paralelnog zavoja. Promatrajući kinematičke parametre statistički značajne razlike nisu utvrđene u tri varijable. Skupina učitelja i neučitelja ne razlikuje se kutu koljena unutarnje noge (U\_K,  $F = 23,435$ ,  $p = 0,000$ ). Razlika između skupina nije utvrđena ni u fleksiji u zglobu kuka vanjske noge (V\_A\_KUK,  $F = 54,581$ ,  $p =$

0,000), kao ni u abdukciji unutarnjeg kuka (U\_A\_KUK,  $F= 72,475$ ,  $p= 0,000$ ). Statistički značajne razlike utvrđene su u svim izmjerenim kinetičkim varijablama.

U nastavku slijedi grafički prikaz rezultata i razlike između svih promatranih varijabli skupine učitelja i neučitelja u prvoj fazi zavoja.



Graf 5. prikaz vrijednosti rezultata i razlike u kinematičkim varijablama između dvije testirane grupe u prvoj fazi zavoja.



Graf 6. prikaz vrijednosti rezultata i razlike u kinetičkim varijablama između dvije testirane grupe u prvoj fazi zavoja.

Tablica 10. Multivarijatna analiza varijance (MANOVA) za utvrđivanje razlika između grupe učitelja i neučitelja u drugoj fazi zavoja.

| Efekt | Test  | Lambda | F       | p      |
|-------|-------|--------|---------|--------|
| Grupa | Wilks | 0,015  | 149,917 | 0,000* |

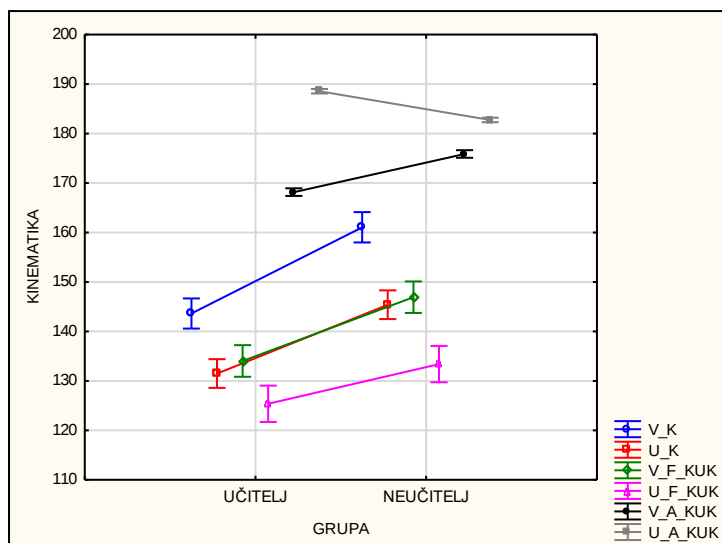
Multivarijatnom analizom varijance utvrđena je razlika u promatranim varijablama u drugoj fazi zavoja između dvije promatrane grupe ispitanika. Rezultati prikazani u tablici ukazuju na postojanje statistički značajne razlike između dvije testirane skupine ispitanika ( $F=149,917$ ,  $p<0,001$ ).

Tablica 11. Prikaz modela razlika između dvije grupe ispitanika za promatrane varijablu u drugoj fazi zavoja.

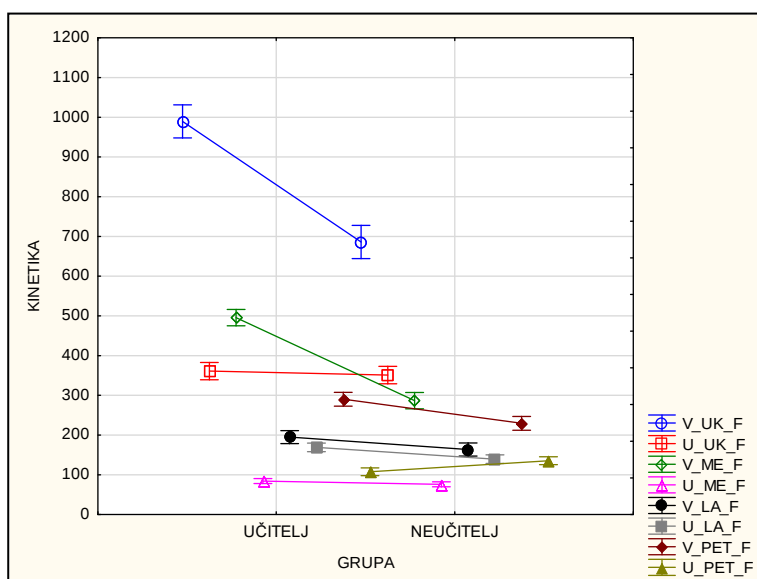
| VARIJABLE         | F       | p      |
|-------------------|---------|--------|
| <b>KINEMATIKA</b> |         |        |
| V_K               | 65,984  | 0,000* |
| U_K               | 46,312  | 0,000* |
| V_F_KUK           | 33,036  | 0,000* |
| U_F_KUK           | 9,737   | 0,003* |
| V_A_KUK           | 205,390 | 0,000* |
| U_A_KUK           | 312,480 | 0,000* |
| <b>KINETIKA</b>   |         |        |
| V_UK_F            | 107,345 | 0,000* |
| U_UK_F            | 0,424   | 0,519  |
| V_ME_F            | 209,664 | 0,000* |
| U_ME_F            | 3,484   | 0,069  |
| V_LA_F            | 7,371   | 0,009* |
| U_LA_F            | 15,250  | 0,000* |
| V_PET_F           | 24,858  | 0,000* |
| U_PET_F           | 16,104  | 0,000* |

U tablici 11. je prikazana razlika između dvije skupine ispitanika u svim promatranim varijablama tijekom izvođenja druge faze paralelnog zavoja. Statistički značajne razlike su utvrđene u svim kinematičkim varijablama. U kinetičkim varijablama nije utvrđena statistički značajna razlika u ukupnoj sili stopala na unutarnjoj nozi (U\_UK\_F,  $F=0,424$ ,  $p=0,519$ ) te u sili na medijalnom dijelu stopala na unutarnjoj nozi (U\_ME\_F,  $F=3,484$ ,  $p=0,069$ ).

Grafički prikaz rezultata i razlike između promatranih kinematičkih i kinetičkih varijabli skupine učitelja i neučitelja u drugoj fazi zavoja nalazi se u nastavku.



Graf 8. prikaz vrijednosti rezultata i razlike u kinematičkim varijablama između dvije testirane grupe u drugoj fazi zavoja.



Graf 7. prikaz vrijednosti rezultata i razlike u kinetičkim varijablama između dvije testirane grupe u drugoj fazi zavoja.

Tablica 12. Multivarijatna analiza varijance (MANOVA) za utvrđivanje razlika između skupine učitelja i neučitelja u trećoj fazi zavoja.

| Efekt | Test  | Lambda | F       | p      |
|-------|-------|--------|---------|--------|
| Grupa | Wilks | 0,014  | 200,687 | 0,000* |

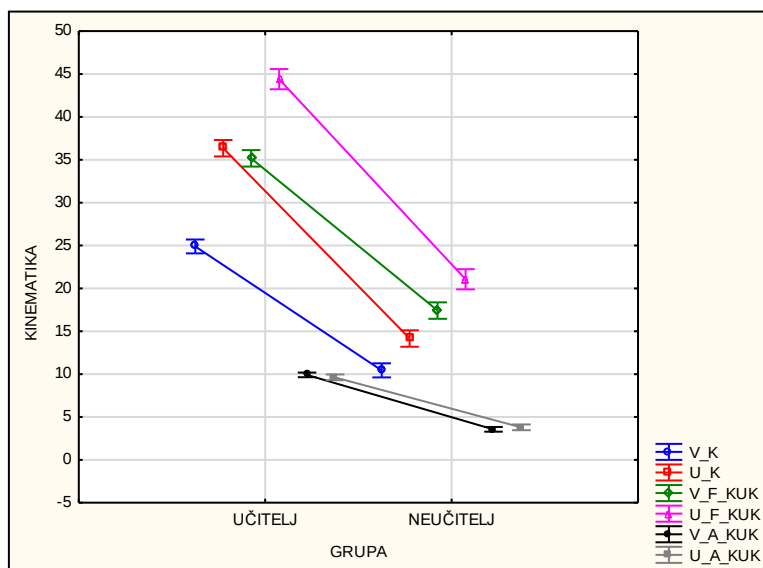
Multivarijatnom analizom varijance provjeravala se razlika u izmjenjenim kinematičkim i kinetičkim varijablama u trećoj fazi PZ između skupine učitelja i neučitelja. Rezultati prikazani u tablici ukazuju na postojanje statistički značajne razlike između dvije testirane skupine ( $F= 200,687$ ,  $p<0,001$ ).

Tablica 13. Prikaz modela razlika između dvije skupine ispitanika za promatrane varijable u trećoj fazi zavoja.

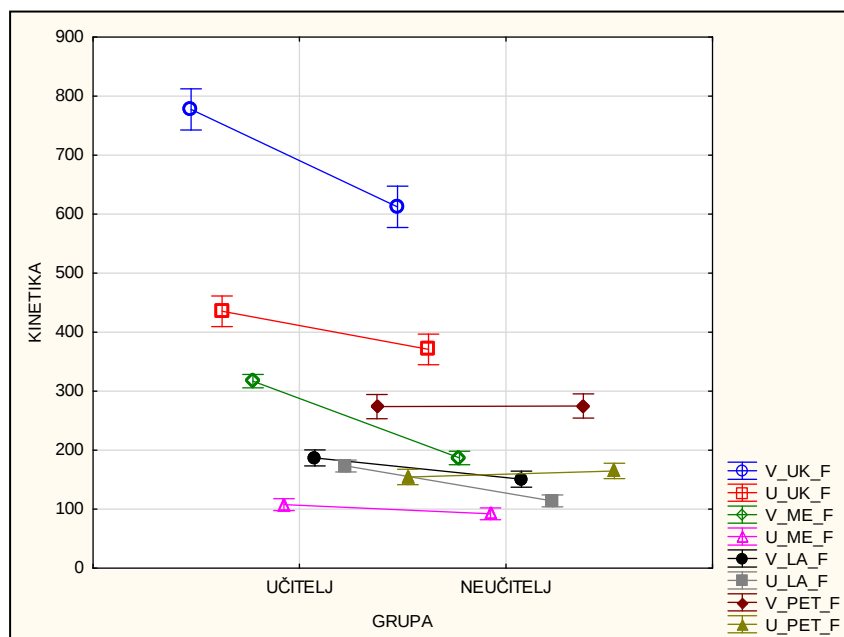
| VARIJABLE         | F       | p      |
|-------------------|---------|--------|
| <b>KINEMATIKA</b> |         |        |
| <b>V_K</b>        | 116,418 | 0,000* |
| <b>U_K</b>        | 130,651 | 0,000* |
| <b>V_F_KUK</b>    | 71,955  | 0,000* |
| <b>U_F_KUK</b>    | 53,932  | 0,000* |
| <b>V_A_KUK</b>    | 372,893 | 0,000* |
| <b>U_A_KUK</b>    | 584,731 | 0,000* |
| <b>KINETIKA</b>   |         |        |
| <b>V_UK_F</b>     | 45,294  | 0,000* |
| <b>U_UK_F</b>     | 12,630  | 0,001* |
| <b>V_ME_F</b>     | 266,308 | 0,000* |
| <b>U_ME_F</b>     | 4,934   | 0,032* |
| <b>V_LA_F</b>     | 14,216  | 0,000* |
| <b>U_LA_F</b>     | 69,444  | 0,000* |
| <b>V_PET_F</b>    | 0,005   | 0,943  |
| <b>U_PET_F</b>    | 1,254   | 0,269  |

U tablici 13. je prikazana razlika između dvije skupine ispitanika u svim promatranim varijablama tijekom izvođenja treće faze zavoja. Statistički značajne razlike su utvrđene u svim kinematičkim varijablama. Promatrajući kinetičke varijable, skupine učitelja i neučitelja ne razlikuju se u sili na stražnjem dijelu stopala (peta) vanjske ( $V\_PET\_F$ ,  $F=0,005$ ,  $p=0,943$ ) i unutarnje ( $U\_PET\_F$ ,  $F=1,254$ ,  $p=0,269$ ) noge. U svim ostalim kinetičkim varijablama utvrđena je statistički značajna razlika.

Grafički prikaz rezultata i razlike između promatranih kinematičkih i kinetičkih varijabli skupine učitelja i neučitelja u trećoj fazi zavoja nalazi se u nastavku.



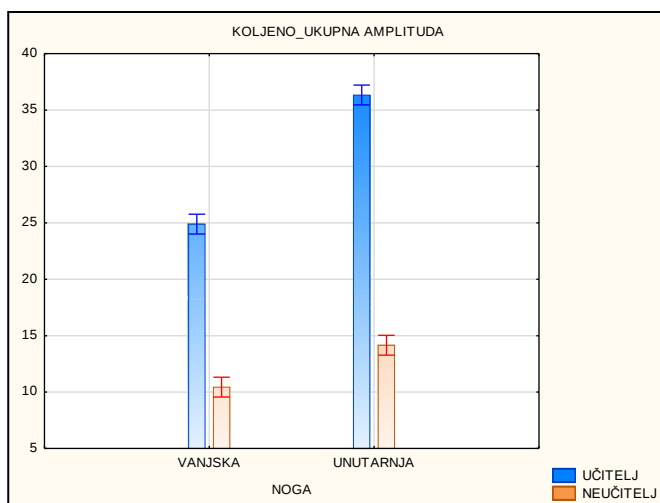
Graf 9. prikaz vrijednosti rezultata i razlike u kinematičkim varijablama između dvije testirane grupe u trećoj fazi zavoja.



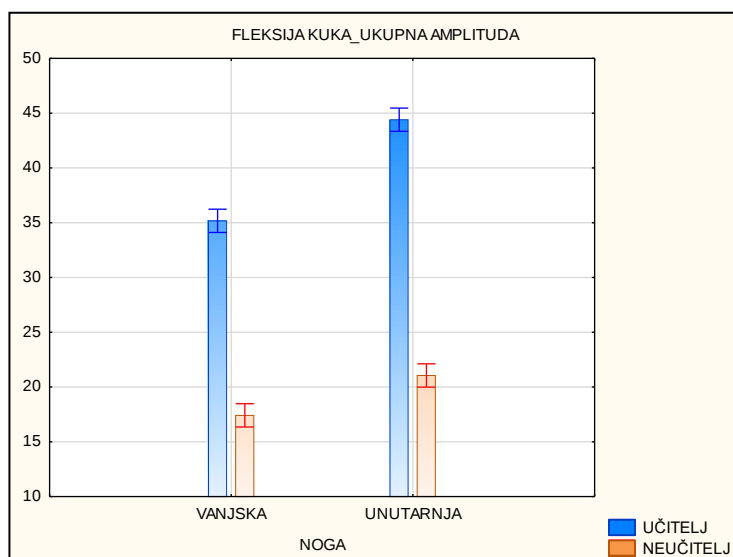
Graf 10. prikaz vrijednosti rezultata i razlike u kinetičkim varijablama između dvije testirane grupe u trećoj fazi zavoja.

U sljedećih nekoliko grafičkih prikaza vidljive su usporedbe između dvije testirane skupine ispitanika učitelja i neučitelja. Prikazan je trend nekih kinematičkih i nekih kinetičkih varijabli kroz tri promatrane faze zavoja. Osim usporedbe učitelja i neučitelja prikazana je i međusobna usporedba između sila i kutova vanjske i unutarnje noge.

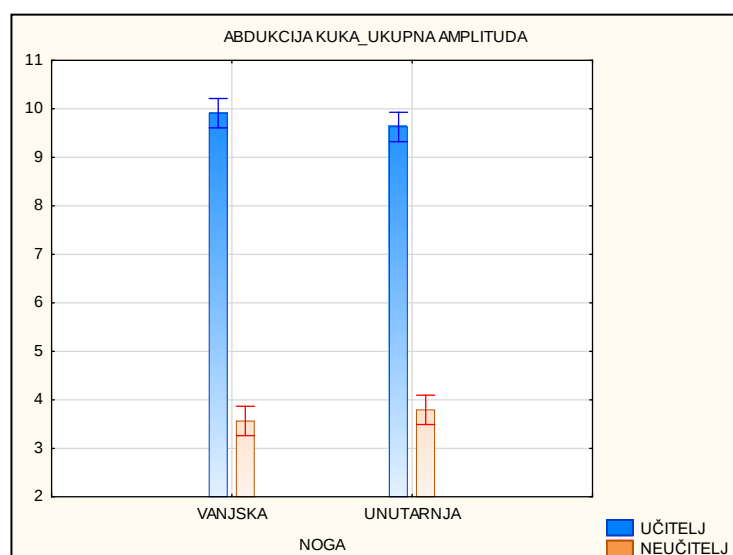
Od kinematičkih varijabli prikazana je ukupna amplituda koljena tijekom zavoja od prve do treće faze zavoja, fleksija kuka i abdukcija kuka. Iz grafičkih prikaza jasno je vidljiva razlika u amplitudi gibanja između učitelja i neučitelja kod vanjske i unutarnje noge. U zglobu koljena vanjske noge ukupna amplituda kod skupine učitelja bila je veća za otprilike  $15^\circ$  a unutarnje noge za  $20^\circ$  u odnosu na skupinu neučitelja (Graf 11.). Promatrajući fleksiju kuka vanjske noge skupina učitelja ima otprilike dvostruku veću amplitudu u odnosu na grupu neučitelja. Slični su odnosi vidljivi i kod unutarnje noge (Graf 12.). Kod varijable abdukcije kuka također je vidljiva znatno veća amplituda pokreta vanjske i unutarnje noge skupine učitelja (Graf 13.).



Graf 11. prikaz usporedbe između grupe učitelja i neučitelja u ukupnoj amplitudi fleksije u zglobu koljena za vanjsku i unutarnju nogu.

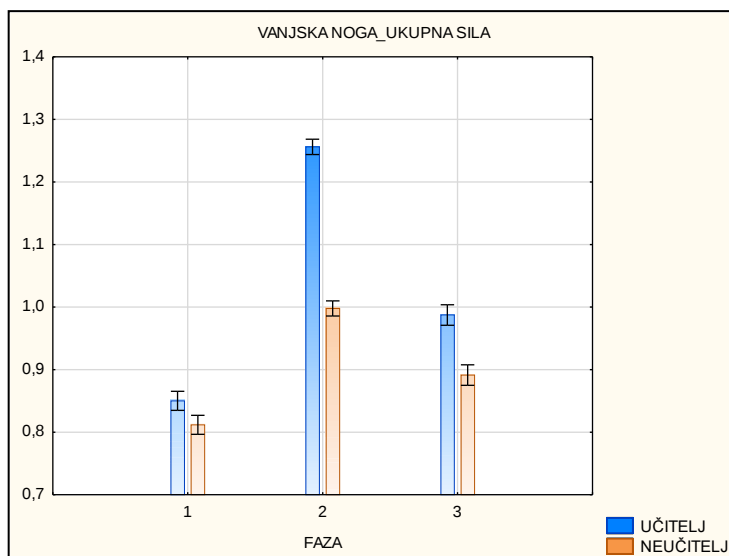


Graf 12. prikaz usporedbe između grupe učitelja i neučitelja u ukupnoj amplitudi fleksije u zglobu kuka vanjske i unutarnje noge.

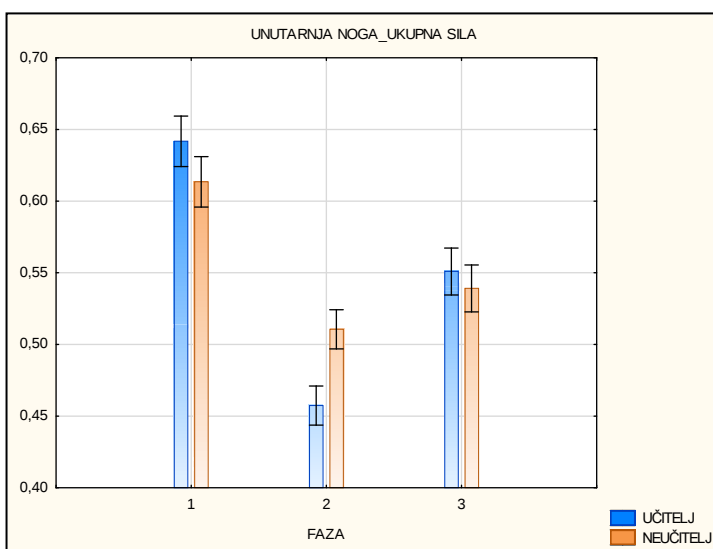


Graf 13. prikaz usporedbe između grupe učitelja i neučitelja u ukupnoj amplitudi abdukcije u zglobu kuka vanjske i unutarnje noge.

Od kinetičkih varijabli prikazane su ukupna sila na stopalu unutarnje i vanjske noge kroz tri promatrane faze zavoja. Sile su prikazane u obliku količine sile u odnosu na prosječnu tjelesnu težinu ispitanika. Iz grafičkih prikaza vidljiva je značajno veća sila kod skupine neučitelja, gledajući vanjsku i unutarnju nogu. Kao što je već ranije navedeno, najveća razlika između dvije skupine primjetna je kod vanjske noge u drugoj fazi zavoja (Graf 14.).



Graf 14. prikaz usporedbe između grupe učitelja i neučitelja u ukupnoj sili na stopalu vanjske noge po svakoj pojedinoj fazi.



Graf 15. prikaz usporedbe između grupe učitelja i neučitelja u ukupnoj sili na stopalu unutarnje noge po svakoj pojedinoj fazi.

## 8. RASPRAVA

Ovim istraživanjem pokušale su se utvrditi razlike između skijaša više i niže razine usvojenosti skijaške tehnike u određenim kinematičkim i kinetičkim parametrima tijekom izvođenja paralelnog zavoja. Također, cilj je bio utvrditi razlike u navedenim parametrima tijekom tri vremenske točke (faze) zavoja, u fazi dolaska do padne linije, u trenutku kada su skije paralelne sa padnom linijom te u fazi odlaska od padne linije. Statističkom analizom utvrđeno je da se skupina ispitanika više razine skijaškog znanja značajno razlikuje od skupine ispitanika niže razine skijaškog znanja.

Promatrajući kinematičke parametre vidljivo je da u sve tri faze zavoja postoji značajna razlika u određenim varijablama između dvije testirane skupine ispitanika. Uočljivo je kako skupina ispitanika niže razine znanja ima zabilježenu manju fleksiju u promatranim zglobovima u svim fazama zavoja. Kod skupine ispitanika više razine znanja dakle, utvrđena je veća amplituda gibanja u zglobovima promatrajući od početka do završetka (1.-3. faze) zavoja. Navedeno se posebno odnosi na drugu i treću fazu zavoja gdje se sve promatrane kinematičke varijable značajno razlikuju. Iz analize kinetičkih parametara vidljivo je također da u sve tri promatrane faze zavoja postoji značajna razlika između skupina ispitanika. Kod skupine više razine skijaškog znanja utvrđene su značajno veće vrijednosti ukupne sile a pogotovo na vanjskom stopalu te na medijalnoj i lateralnoj regiji stopala dok su manje vrijednosti zabilježene na stražnjem dijelu stopala u odnosu na skupinu ispitanika sa nižom razinom znanja. Posebno je moguće istaknuti fazu dolaska do padne linije (1. faza zavoja) gdje se skupine ispitanika međusobno razlikuju u svim promatranim kinetičkim varijablama. Također kod skupine ispitanika više razine skijaškog znanja utvrđen je veći omjer sile na vanjskom stopalu u odnosu na unutarnje stopalo te veći omjer sile u prednjim regijama stopala (medijalna i lateralna) u odnosu na stražnju regiju stopala (peta) u drugoj i trećoj fazi zavoja.

Biomehanička istraživanja u području skijanja su česta i mnogobrojna. Skijanje je monostrukturna disciplina u kojoj je cilj što prije savladati zadanu stazu. S obzirom na to da se provodi u specifičnim uvjetima sa vrlo specifičnom opremom, jasno je da postoji potreba za što je moguće detaljnijom analizom i razumijevanjem pokreta skijaša i sila koje djeluju na njega tijekom izvođenja zavoja. Većina spomenutih istraživanja proučava natjecateljsko skijanje te načine kako unaprijediti situacijsku učinkovitost alpskih skijaša, njihovu opremu i utvrđivanja mehanizama ozljeda a sve u cilju što boljeg krajnjeg rezultata. S druge strane, istraživanja koja proučavaju biomehaniku rekreativnog alpskog skijanja su oskudna. Još je manji broj onih u

kojima se provodi kinematička i kinetička ili EMG analiza. Međutim, navedena istraživanja i primjena njihovih spoznaja mogla bi značajno doprinijeti u boljem razumijevanju tehnike prilagođene rekreativnim skijašima. Navedenim spoznajama moguće je pozitivno utjecati na razvoj metodskih postupaka i metodičkih vježbi u cilju učinkovitijeg savladavanja skijaške tehnike te tako unaprijediti programe škola skijanja. Nadalje, prilagodbi opreme (skija, skijaških cipela) potrebama rekreativnih skijaša koja se značajno razlikuju od potreba natjecatelja alpskog skijanja. Posljedično, kao najvažnije od svega, biomehanička analiza rekreativnog skijanja može pružiti važne informacije u boljem razumijevanju mehanizama ozljeda rekreativnih skijaša i njihovoj prevenciji.

Biomehaničko istraživanje usmjereno direktno na razvoj i usavršavanje kurikuluma škole skijanja u cilju učinkovitijeg procesa usvajanja skijaškog znanja kod skijaša rekreativne populacije proveo je Müller (1994). Cilj njegovog istraživanja bio je provesti biomehaničku analizu kako bi kvantificirao i usporedio skijaške tehnike i gibanja koja se usvajaju u školi skijanja. Sekundarni cilj njegove studije bio je navesti konkretne zaključke koji će se moći primijeniti u razvoju metodoloških procesa poučavanja skijaške tehnike. Autor je proveo kinematičku, kinetičku i EMG analizu. Zavoje na zadanoj stazi izvodio je dvadeset jedan učitelj skijanja austrijske škole skijanja. Analiza je izvršena na četiri zavoja. Za potrebe ovog istraživanja autor je zavoj podijelio u dvije faze (faza inicijacije i faza upravljanja) te ih je na taj način i analizirao.

Glavni nalazi studije odnose se na parametre izmjerene tijekom faze upravljanja (2. faza zavoja). Autor je utvrdio kako je sila ispod stopala skijaša vanjske noge prosječno 1,4 tjelesne težine, a omjer distribucije sile na vanjskoj i unutarnjoj nozi 70:30% u korist vanjske noge. Vrlo slični rezultati zabilježeni su i u ovoj studiji kod skupine skijaša više razine znanja. U drugoj fazi zavoja prosječna izmjerena sila na vanjskoj nozi iznosila je 1,26 tjelesne težine. Omjer sile između vanjske i unutarnje noge kod skupine učitelja je dominantno na strani vanjske noge gotovo identičan kao i u istraživanju Mullera (vanjska noga 73%, unutarnja 26%).

Dok se u prvoj fazi zavoja skije usmjeravaju i rotiraju u novi zavoj, u drugom dijelu zavoja kako bi skijaš uspješno kontrolirao sile koje djeluju na njega mora ih postaviti pod određenim kutom na snježnu površinu te optimalnom silom djelovati na njih (Loland, 2009). Iz navedenih rezultata skupine učitelja moguće je zaključiti kako su u drugom djelu zavoja generirali dovoljan pritisak kako bi mogli kontrolirano usmjeravati skije.

LeMaster i Supej (2015), u svojem radu ističu da zbog položaja skija u odnosu na os rotacije zavoja pri jednakom djelovanju skijaša na unutarnju i vanjsku skiju, vanjska skija je izloženija bočnom otklizavanju. Dakle, tijekom zavoja pritisak bi dominantno trebao biti na vanjskoj skiji kako bi se kretala na bočnom rubniku bez otklizavanja. Uspoređujući rezultate Mullera i ovog istraživanja vidljivo je kako je vanjska skija bila znatno više opterećena tijekom faze upravljanja. Skijaši visoke razine znanja rasporedili su silu dominantno na vanjsku nogu i pritom izveli zavoj na bočnim rubnicima skija.

S druge strane, promatrajući silu vanjske noge tijekom iste faze zavoja kod skupine neučitelja primjetno je kako je vrijednost značajno manja (0,99 BW). Što je manja sila kojom skijaš u fazi upravljanja djeluje na skiju, manja je mogućnost kontrole brzine i smjera kretanja. Kada se promotri i omjer distribucije sile na vanjskoj i unutarnjoj nozi, kod skupine neučitelja (65:34%) bio je manje izražen na vanjskoj nozi u odnosu na skupinu učitelja.

Iz navedenih rezultata proizlazi zaključak da je skupina neučitelja generirala manju silu na vanjskoj nozi te posljedično imala slabiju upravljivost skija odmičući se od padne linije.

Tijekom 2. faze zavoja Müller je istaknuo vrijednost kuta u koljenu vanjske noge učitelja skijanja koji je iznosio prosječno  $125^{\circ}$ . U ovom istraživanju vrijednost kuta koljena vanjske noge iznosio je  $143^{\circ}$ . Skijaš u drugoj fazi zavoja kada na njegovo tijelo djeluju vanjske sile mora im se oduprijeti te djelovati određenom silom na skije kako bi ih usmjeravao u zavoj. Samim time mora spustiti težište tijela kako bi povećao taj pritisak. Navedene akcije izvode se fleksijom donjih ekstremiteta tijela, točnije savijajući gležnjeve, koljena i kukove (Reid, 2010). S obzirom da je istraživanje Müllera provedeno 1994. kada su se koristile značajno duže skije sa većim radijusom određena razlika u vrijednostima kuta u koljenu je i očekivana. Yoneyama i sur. (2000) uspoređivali su razlike u izvedbi zavoja koristeći tradicionalne i carving skije te zaključuju kako su gibanja u zglobovima pri korištenju carving skija umjerenija. To skijašima omogućuje da izvode tečnije i učinkovitije zavoje. Sa identičnim pomakom skije na rubnik, carving skija će izvesti zavoj manjega radijusa u odnosu na tradicionalnu skiju.

Kod skupine ispitanika niže razine skijaškog znanja utvrđena vrijednost fleksije zgloba vanjskog koljena iznosila je  $161^{\circ}$ . Na temelju prethodno opisanih gibanja koje skijaš mora napraviti kako bi imao kontrolu nad skijama u fazi upravljanja, vidljivo je da ispitanici skupine neučitelja nisu napravili dovoljnu fleksiju u zglobu koljena i time spustili težište tijela te

povećavali pritisak na vanjskoj skiji. U tom slučaju nisu stečeni osnovni preduvjeti za izvedbu zavoja uz potpuno kontrolu brzine i smjera.

Kao zaključke svoje studije Müller navodi da je cilj svih skijaša rekreativne populacije prilikom savladavanja skijaške padine izvoditi paralelni zavoj. Nadalje, s obzirom na svoje spoznaje prilikom analize nekoliko elemenata tehnike austrijske škole skijanja autor daje smjernice koje bi se trebale uvrstiti u kurikulum škole skijanje a koje će pomoći učiteljima da učinkovitije osposobe svoje polaznike za usvajanje paralelnog zavoja. Između ostalog predlaže redoslijed elemenata koje bi polaznici trebali savladavati te s obzirom na svoje rezultate izdvaja nekoliko ključnih gibanja koji će omogućiti lakše usvajanje svakog od elemenata.

U ovom istraživanju detektirano je nekoliko gibanja i akcija koje skupinu skijaša niže razine statistički značajno razlikuju od skupine učitelja u 2. fazi zavoja. Ispitanici niže razine skijaškog znanja u fazi upravljanja promatrajući vrijednost kuta koljena vanjske noge imaju značajno manju fleksiju te manju izmjerenu silu na vanjskoj nozi kao i manji omjer sile na vanjskoj nozi. Korištenjem znanstvenih spoznaja u praktične svrhe moguće je utjecati na razvoj i usavršavanje metodoloških procesa i kurikulumu škole skijanja. Direktnim utvrđivanjem razlika između skijaških gibanja u određenoj fazi zavoja koje polaznici škole skijanja teže savladavaju dostupne su objektivne informacije o tehnici. Tada je moguće prilagoditi metodičke vježbe ili skijaške elemente koji mogu olakšati usvajanje tih gibanja.

Učitelji skijanja reprezentativan su uzorak te je razina njihovog skijaškog znanja ona s kojom bi se skijaši rekreativne populacije trebali uspoređivati. Tijekom procesa usvajanja skijaške tehnike učitelji se oslanjaju na subjektivnu procjenu svojih polaznika te na temelju toga definiraju sljedeće korake u nastavnom procesu. Vrlo često je učiteljima teško procijeniti kakav je osjećaj na skijama početnicima u određenim fazama zavoja te koje gibanje, pritisak ili nedostatak istog tijekom zavoja uvjetuje nemogućnost izvedbe određenog motoričkog zadatka.

Jedno od rijetkih istraživanja u kojem su se direktno proučavale razlike između skijaša rekreativne populacije i skijaša visoke razine znanja (učitelja skijanja) su proveli Müller i sur. (1998). Cilj istraživanja bio je provesti kinematičku analizu četiriju elemenata škole skijanja kod iskusnih skijaša učitelja i skijaša rekreativne populacije te utvrditi glavne razlike u kinematičkim parametrima između dviju skupina izvodeći skijaške elemente. U istraživanju je sudjelovalo ukupno deset ispitanika, pet skijaša učitelja i pet skijaša rekreativne populacije. Ispitanici su izvodili dvije varijante osnovnog zavoja i dvije varijante paralelnog zavoja u

zadanom koridoru. Autori su promatrali razlike tijekom tri faza zavoja (faza inicijacije, prva faza upravljanja i druga faza upravljanja). Kinematička analiza provedena je pomoću sustava dviju kamera koje su snimale izvedbe, kalibracijskih stupova koji su određivali koridor staze i markera pričvršćenih na odijela skijaša. Glavne razlike u izmjerenim kinematičkim parametrima za dvije promatrane grupe utvrđene su u prvoj fazi zavoja u sva četiri promatrana elementa. Autori smatraju kako je to najzahtjevnija faza zavoja zbog pripremnih radnji koje omogućuju dobru poziciju tijela, prijenos težine na vanjsku nogu i postizanje optimalnog kuta rubljenja kako ne bi došlo do proklizavanja skija u kasnijim fazama. Navedeno potvrđuje i nalaz kako se parametar kut rubljenja najčešće razlikovao između dvije skupine promatrajući sve faze i elemente. Promatrajući analizu paralelnog zavoja autori navode kako je kut koljena buduće vanjske noge kod skupine učitelja u početku prve faze bio značajno više u fleksiji ( $108^\circ$  vs  $117^\circ$ ,  $p=0,01$ ). Navedena spoznaja utvrđena je i u ovom istraživanju gdje je također utvrđena veća fleksija u zglobov koljena ( $158,12^\circ$  vs  $167,60^\circ$ ,  $p<0,01$ ) kod skupine učitelja. Autori su u svom istraživanju prvu fazu zavoja definirali od trenutka neposredno prije uboda štapa pa sve do započinjanja gibanja prema dolje i početka opterećivanja i usmjeravanja skija u novi zavoj. Na kraju prve faze zavoja zabilježena je veća ekstenzija u spomenutom zglobov koljena kod skupine učitelja ( $132^\circ$  vs  $127^\circ$ ). Dakle, kod skupine učitelja zabilježena je veća amplituda gibanja za vrijeme trajanja prve faze zavoja. U ovom istraživanju prva faza se definirala jednom točkom u vremenu pa se ne može govoriti o gibanju tijekom faze. Međutim, kod skupine učitelja izmjerena je veća amplituda fleksije vanjskog koljena promatrajući od treće točke prethodnog do prve točke mjerenja (faze) sljedećeg zavoja ( $\Delta$  3.-1.- učitelji:  $24,89^\circ$ , neučitelji:  $10,44^\circ$ ). Navedeno bi označavalo trenutak od kad se skijaš nalazi u najnižoj poziciji (maksimalna fleksija donjih ekstremiteta) na kraju prethodnog zavoja do maksimalnog opružanja u prvoj fazi sljedećeg zavoja. Osim vanjskog koljena, izmjerena je i značajno veća amplituda fleksije ( $\Delta$  3.-1.) unutarnjeg koljena (uč:  $36,35^\circ$ , ne:  $14,16^\circ$ ), vanjskog (uč:  $35,17^\circ$ , ne:  $17,42^\circ$ ) i unutarnjeg kuka (uč:  $44,40^\circ$ , ne:  $21,06^\circ$ ).

Opružanjem donjih ekstremiteta dolazi do naglog smanjivanja pritiska na skijama koje omogućuje prijenos težine sa jedne na drugu skiju (buduću vanjsku). Ukoliko se to opružanje u zglobovima ne izvede dovoljnom amplitudom ili prekasno u odnosu na poziciju skija i padne linije, skijaš neće moći inicirati novi zavoj, odnosno učinkovito povezati niz zavoja. Navedeno ističu Nakazato, Scheiber i Müller (2011) u svojem istraživanju u kojem su proučavali silu reakcije podloge tijekom izvođenja skijaškog zavoja. Zaključno navode važnost podizanja težišta tijela u prvoj fazi zavoja kao preduvjet za optimalno izveden zavoj.

Promatrajući element paralelni zavoj Müller i sur. (1998) nisu utvrdili značajne razlike u drugoj fazi dok je u trećoj fazi zabilježena značajna razlika u kutu upravljanja skija. Smatraju da značajne razlike postoje ali zbog malog broja ispitanika i velike standardne devijacije kod skupine rekreativne populacije nije i utvrđena analizom. U ovom istraživanju skupina neučitelja prošla je unificiranu školu skijanja u trajanju od deset dana, ispitanici pripadaju motorički selekcioniranoj populaciji studenata Kineziološkog fakulteta te su po svojim motoričkim sposobnostima i programu škole skijanja homogena skupina. Iz tog razloga utvrđen je veći broj varijabla koje se značajno razlikuju od skupine učitelja.

Na temelju opisanih kinematičkih analiza i nalaza koji se međusobno potvrđuju može se zaključiti kako je za skijaše rekreativne populacije zahtjevno za izvesti pripremnu fazu zavoja (faza inicijacije). Kao što je ranije spomenuto u toj fazi skijaš mora napraviti niz radnji (gibanja) točno određenim slijedom kako bi kutne odnose u segmenata tijela postavio u optimalan položaj te isto tako skije postavio korektno u odnosu na padnu liniju i u odnosu na snježnu površinu. Na taj način moguće je kontrolirati brzinu prilikom dolaska do padne linije što skijašima rekreativne populacije često predstavlja zahtjevan motorički zadatak. Nadalje, u tom slučaju skija neće bočno otklizavati nego će kut rubljena biti dostatan da se bočno ureže u snijeg tijekom druge i treće faze zavoja.

Utvrđivanjem modalnih vrijednosti za svaku pojedinu fazu zavoja kao što je rečeno moguće je olakšati proces poučavanja za polaznika škole skijanja ali i za samog učitelja.

Upravo takvo istraživanje koje je imalo za cilj kvantificirati gibanja prilikom izvedbe skijaških elemenata opisanim u kurikulumu austrijske škole skijanja proveli su autori Debertin i sur. (2022). Istraživanje se sastojalo od nekoliko koraka a krajnji cilj bila je direktna usporedba modalnih vrijednosti zavoja izvedenih od učitelja skijanja sa skijašem rekreativne populacije. Nadalje, mogućnost praktične primjene provedene analize u procesu poučavanja osoba rekreativne populacije. Prvi korak istraživanja bio je kvantitativno opisati sva skijaška gibanja u osam skijaških elemenata u koordinatnom sustavu na temelju opisa koji se nalazi u službenom kurikulumu austrijske škole skijanja. Cilj drugog koraka bila je primjena tog sustava evaluacije gibanja u procjeni razlika dvaju skijaških elemenata, paralelnog zavoja i carving zavoja. Treći i krajnji cilj istraživanja, kao što je već navedeno bio je pokazati praktičnu primjenjivost ove metode kinematičke analize usporedbom parametara zavoja skijaša rekreativne populacije i učitelja skijanja. Ispitanici su bili osam austrijskih učitelja skijanja i jedan skijaš rekreativne populacije. Mjerenje kinematičkih parametara provodilo se Xsens kinematičkih odijelom.

Autori su na temelju kinematičkih parametara zavoja učitelja skijanja utvrdili modalne vrijednosti i trajektorije gibanja u promatranim zglobovima i segmentima tijela te tako napravili reprezentativni model. Nakon toga je uspoređen carving zavoj izveden od strane rekreativnog skijaša sa modelom napravljenog na temelju izvedbe osam učitelja skijanja. Glavne utvrđene razlike između učitelja i rekreativnog skijaša su veća vertikalna gibanja i pretklon trupa kod skijaša rekreativne populacije tijekom faze inicijacije zavoja. Uspoređujući trajektorije parametara reprezentativnog modela navode kako je zbog navedenih razlika zavoj bio manje fluidan kod skijaša rekreativne populacije.

U ovom istraživanju veća amplituda gibanja utvrđena je kod učitelja skijanja. To je na prvi pogled oprečno sa ovim istraživanjem. Međutim u ovom istraživanju kao što je rečeno promatrala se jedna vremenska točka u fazi zavoja, od trenutka kada se skijaš nalazi u najvišoj točki (maksimalno opružanje u zglobovima- faza inicijacije) do trenutka kada se nalazi sa skijama paralelnima sa padnom linijom (prva faza upravljanja). Između navedenih vremenskih točaka zabilježena je veća amplituda kod skupine učitelja skijanja, ( $\Delta 1.-2.-$  učitelji:  $14,48^\circ$ , neučitelji:  $6,54^\circ$ ) što je zapravo i poželjno prilikom izvedbe zavoja tvrdi Federolf i sur. (2008). Već je prethodno istaknuta važnost fleksije zglobova donjih ekstremiteta u drugom dijelu zavoja. Nakon rotiranja skija i usmjeravanja u novi zavoj gibanja u donjim ekstremitetima ključna su u doziranju pritiska i postavljanja skija na bočne rubnike (Yoneyama i sur., 2008). Osim što je utvrđena amplituda fleksije vanjskog koljena značajno veća, isto je vidljivo iz rezultata ostalih promatranih varijabli između 1. i 2. točke mjerenja u ovom istraživanju (unutarnje koljeno-uč:  $21,16^\circ$ , ne:  $9,25^\circ$ ; vanjski kuk-uč:  $22,25^\circ$ , ne:  $11,52^\circ$ ; unutarnji kuk-uč:  $27,04^\circ$ , ne:  $14,40^\circ$ ). Skupina neučitelja imala je statistički značajno manju amplitudu fleksije promatranih zglobova donjih ekstremiteta između prve i druge točke mjerenja. Iz spomenutog se može zaključiti kako skupina neučitelja nije mogla generirati dovoljan pritisak u prvoj fazi upravljanja zbog nedovoljno spuštenog težišta tijela.

U istraživanju Debertina i sur. (2022) te u ovom istraživanju prilikom dobivanja povratnih informacija o svojoj izvedbi polaznik nije ovisio o stručnosti i iskustvu učitelja skijanja, dakle subjektivnoj procjeni, već o objektivno utvrđenim i brojčano izraženim nedostacima u svojoj izvedbi skijaških gibanja. Nadalje, ovakva istraživanja mogu značajno pomoći prilikom edukacija učitelja skijanja u smislu učenja učinkovitog prepoznavanja značajki određenog skijaškog elementa i amplitudama gibanja koje se moraju izvesti u točno određenoj fazi zavoja.

Na temelju prethodno opisana 2 istraživanja (Müller i sur. 1998; Debertin i sur. 2022) i usporedbama sa ovim istraživanjem moguće je zaključiti kako je prva faza zavoja (faza inicijacije) vrlo važna za pripremu zavoja koji slijedi. Moguće je tvrditi da skijaši rekreativne populacije prilikom započinjanja zavoja ne izvode dovoljnu fleksiju u zglobovima donjih ekstremiteta. Zbog nedovoljnog postupnog spuštanja težišta tijela ne mogu dovoljno opteretiti vanjsku skiju u zavoju i samim time imati kontrolu nad brzinom i smjerom kretanja.

Dakle, kao što je prethodno navedeno, učinkovito prepoznavanje značajki određenog skijaškog elementa u svakoj fazi njegove izvedbe izuzetno je važno za učitelja skijanja ali i za polaznika škole skijanja. Objektivno utvrđene informacije mogu biti vrlo značajne u procesu poučavanja u kontekstu prilagodbe metodskog procesa uzevši u obzir minimiziranje rizika od nastanka ozljeda i individualizaciji procesa (Martínez, i sur., 2016). Upravo takvo istraživanje sa ciljem određivanja glavnih značajki određenih skijaških elemenata i utvrđivanjem razlike u pojedinim fazama proveli su Bon i sur. (2021). Autori su proveli kinematičku i kinetičku analizu paralelnog zavoja i brzog vijuganja. Cilj istraživanja bio je utvrditi razlike između navedenih elemenata u trećoj fazi zavoja kada se po mišljenju autora najviše razlikuju navedeni elementi. Provođenjem kinematičke i kinetičke analize pokušali su razjasniti glavne značajke u kojima se razlikuju elementi te isto tako ukazati na gibanja u posljednjoj fazi zavoja koja mogu služiti kao smjernice prilikom poučavanja tih najkompleksnijih elemenata škole skijanja. Osam učitelja skijanja sudjelovalo je u istraživanju. Promatrano je 6 kinematičkih i 4 kinetičke varijable. Mjerenje kinematičkih varijabli provodilo se pomoću Xsens kinematičkog sustava a kinetičkih pomoću Novel, Pedar uložaka za mjerenje sile stopala. Parametri su prikupljeni u posljednjoj fazi zavoja kada se skijaševo težište nalazi u najnižoj točki i skije su usmjerene okomito ili gotovo okomito na padnu liniju. Ispitanici su izvodili 90 paralelnih zavoja i 90 zavoja izvođeći brzo vijuganje u omeđenom koridoru (15m- paralelni zavoj, 3m- brzo vijuganje) na padini prosječnog nagiba 20°. Autori su osim kinematičke analize koja daje na uvid gibanja u zglobnim sustavima i njihovim amplitudama u fazama zavoja koristili i kinetičku analizu. Sinkroniziranom kinematičkom i kinetičkom analizom moguće je dobiti važne informacije o trenutku kada treba i na kojem dijelu stopala primijeniti pritisak kako bi mogli usmjeravati skiju u željenom smjeru. Na temelju rezultata svog istraživanja istaknuli su nekoliko glavnih nalaza koji razlikuju promatrane elemente. Promatrajući kinematičke parametre između elemenata utvrđena je značajna razlika u zglobu koljena vanjske noge u oba zavoja (lijevom i desnom). U zglobu koljena u trećoj fazi zavoja zabilježena je značajno veća fleksija koljena (paralelni zavoj- 141,46°, brzo vijuganje- 138,41°;  $p=0,002$ ). U ovom

istraživanju promatrajući treću fazu zavoja, odnosno trenutak kada se skijaš nalazi na kraju zavoja sa težištem u najnižoj točki izmjereni kut u koljenu vanjske noge iznosio je 133,22° kod skupine učitelja skijanja dok je kod skupine neučitelja iznosio 157,15° te je statističkom analizom utvrđena značajna razlika između skupina ( $p < 0,001$ ). Na temelju ovih rezultata može se primijetiti da vrijednosti fleksije zgloba koljena u istraživanju Bona i sur. (2021) prilikom izvedbe paralelnog zavoja su u skladu s vrijednostima skupine učitelja u ovom istraživanju. Promatrajući unutarnju nogu može se doći do istog zaključka, vrijednosti učitelja u ovom istraživanju (116,31°) vrlo su slične onima izmjerenim u istraživanju Bona i sur. (113,24°) dok je vrijednost neučitelja značajno viša (manja fleksija- 140,49°). Gledajući isključivo kinematičku analizu autori zaključuju da je prilikom izvedbe brzog vijuganja zbog kratkog trajanja zavoja važno iskoristiti silu reakcije podloge kako bi lakše prebacio težinu na buduću vanjsku nogu, a to znači da skijaš na kraju mora biti u nešto nižem položaju u odnosu na paralelni zavoj. Navedeno potvrđuje i istraživanje Krölla i sur. (2010) koji navode prilikom istraživanja aktivnosti kvadricepsa tijekom alpskog skijanja da manja fleksija u zglobo koljena omogućuje generiranje veće sile i veću učinkovitost prilikom prijenosa težine na buduću vanjsku nogu. Uravnotežena pozicija s pravilnom fleksijom zglobova i usklađenim donjim dijelovima tijela preduvjet je za optimalnu distribuciju pritiska. Stoga se očekuje da će kut koljena biti manji tijekom treće faze zavoja kako bi se olakšao prijenos pritiska na novu vanjsku nogu u sljedećem zavoju.

Upravo navedena tvrdnja mogući je razlog zašto je u ovom istraživanju zabilježena veća fleksija u zglobo koljena unutarnje i vanjske noge u trećoj fazi zavoja kod skupine učitelja u odnosu na neučitelje. Učitelji skijanja počevši od prve faze zavoja postupno spuštaju težište tijela fleksijom donjih ekstremiteta. To se može potvrditi promatrajući vrijednosti kuta fleksije u zglobovima kuka (vanjska noga- 156,28°, 134,03°, 121,12°,  $\Delta$ 1.-3.- 35,17°; unutarnja noga- 152,41°, 125,37°, 108,01°,  $\Delta$ 1.-3.-44,40°) i koljena (vanjska noga- 158,12°, 143,64°, 133,22°,  $\Delta$ 1.-3.-24,89°; unutarnja noga- 152,65°, 131,49°, 116,31°,  $\Delta$ 1.-3.-36,35°) od prve do treće faze zavoja. Spuštajući težište tijela odnosno izvodeći postupno fleksiju donjih ekstremiteta skupina ispitanika više razine znanja na taj način dodaje sve veći pritisak na skije kako zavoj odmiče. Na kraju treće faze zavoja kako je i gore navedeno sa nešto većom fleksijom u zglobo koljena mogu generirati veću silu te iskoristiti silu reakcije podloge kako bi učinkovitije prenijeli težinu dominantno na buduću vanjsku nogu u sljedećem zavoju. Za razliku od učitelja skijanja, skupina neučitelja ima značajno manju ukupnu amplitudu fleksije u zglobo kuka ( $\Delta$ 1.-3.- vanjska noga- 17,42°; unutarnja noga- 21,06°) i koljena ( $\Delta$  1.-3.- vanjska noga- 10,44°;

unutarnja noga- 14,12°) promatrajući od prve do treće faze zavoja. Iz navedene kinematičke analize zavoja može se zaključiti da ispitanici niže razine skijaškog znanja nisu toliko učinkoviti u prijelazu iz treće faze zavoja u sljedeći zavoj. Kao što je rečeno, spomenuto se može potkrijepiti značajno manjom amplitudom gibanja u donjim ekstremitetima tijekom cijelog zavoja a posebno značajno manjom fleksijom koljena i kuka u trećoj fazi.

U istraživanju Bona i sur. rezultati kinematičke analize potkrijepljeni su kinetičkom analizom. Pretpostavka za većom fleksijom u zglobu koljena zbog učinkovitijeg generiranja sile i prijenosa težine na buduću vanjsku nogu tijekom izvođenja posljednje faze brzog vijuganja potvrđena je većom prosječnom silom vanjske noge kod elementa brzo vijuganje u odnosu na paralelni zavoj u lijevom i desnom zavoju (paralelni zavoj-  $\bar{x}$ = 850,48 N; brzo vijuganje-  $\bar{x}$ = 1108,19 N).

U ovom istraživanju može se doći do istih zaključaka koji objašnjavaju veću fleksiju u zglobovima donjih ekstremiteta u trećoj fazi zavoja kod skupine učitelja skijanja u odnosu na neučitelje. Kod skupine učitelja u posljednjoj fazi zavoja ukupna sila na vanjskoj nozi iznosila je 777,50 N a kod skupine neučitelja 612,35 N. Na unutarnjoj nozi kod skupine učitelja zabilježena je sila od 435,41 N dok je kod skupine neučitelja nešto manja 370,82 N. Kod obje noge utvrđena je značajna razlika u veličini sile ( $p < 0,001$ ,  $p = 0,001$ ) i potvrđena pretpostavka da skijaši više razine znanja generiraju veću silu u trećoj fazi zavoja. Navedena spoznaja govori o tome da učitelji skijanja generiraju veću silu u posljednjoj fazi zavoja kako bi iskoristili samim time i veću silu reakcije podloge i time brže i tehnički učinkovitije podignuli težište tijela, rasteretili pritisak sa vanjske noge i prebacili na buduću vanjsku nogu u sljedećem zavoju.

Gibanje prema dolje izvodi se kako bi skijaš mogao usmjeravati skije u željenom pravcu (okomito na padnu liniju) pritom ne dozvolivši bočno otklizavanje. Tako izveden zavoj bez otklizavanja izvodi se na rubnicima skija uz značajno veću kontrolu brzine i smjera kretanja (Komissarov, 2020). Da bi se mogao izvesti zavoj na bočnim rubnicima skija, skijaš mora djelovati određenim pritiskom na njih te tijelo skijaša mora biti u optimalnom položaju održavajući pritom dinamičku ravnotežu. Nakon faze inicijacije kao što je već prethodno objašnjeno skijaš izvodi bočna gibanja kako bi mogao učinkovitije djelovati pritiskom na skiju i postaviti ih na bočne rubnike. Osim bočnih gibanja potkoljenica, skijaš izvodi bočna gibanja i u zglobu kuka kako bi zauzeo poziciju postraničnog luka (Loland, 2009).

U istraživanju Cigrovski i sur. (2022) promatrana su između ostalih varijabli, bočna gibanja skijaša u zglobovima kuka (kut abdukcije zglobova kuka) i sile stopala tijekom izvedbe zavoja na skijaškoj stazi i na rolama. Kako je alpsko skijanje sport koji se odvija u vrlo specifičnim uvjetima i sadrži specifična gibanja koje se ne pojavljuju u svakidašnjem životu postoji potreba za zamjenskim sportovima. Natjecatelji alpskog skijanja ali i skijaši rekreativne populacije kao zamjenski sadržaj za tehničku i kondicijsku pripremu pred odlazak na skijaške staze često koriste zamjenske aktivnosti. Te aktivnosti moraju zadovoljavati nekoliko uvjeta kao što su odgovarajući odnosi između segmenata tijela, biomehanički slična gibanja prilikom izvedbe zadatka, sličan režim rada mišića (Kröll i sur. 2005). Aktivnost koja zadovoljava navedene uvjete uspoređujući je sa alpskim skijanjem je rolanje (Ropret, 2010). Već je opisano kako vanjska noga ima ključnu ulogu za uspješno izvođenje zavoja. Unutarnja noga ima ulogu potpore, dok vanjska noga uglavnom kontrolira smjer, trajanje i brzinu, te također sprječava bočno otklizavanje skija prilagođavanjem kuta rubljenja tijekom zavoja (LeMaster i Supej 2013). Dakle cilj istraživanja Cigrovski i sur. (2022) bio je utvrditi razlike u kinematičkim i kinetičkim parametrima vanjske noge tijekom izvedbe zavoja na skijaškoj stazi i na rolama. U istraživanju je sudjelovalo 10 učiteljica skijanja koje su imale prethodno iskustvo na rolama. Promatrano je 140 zavoja u svakoj aktivnosti u omeđenom koridoru prilagođenom aktivnosti. Analizirane su kinematičke i kinetičke varijable vanjske noge. Za kinematičku analizu koristio se Xsens sustav a za mjerenje sile stopala Novel, Pedar ulošci kao i u ovom istraživanju. Sve varijable mjerile su se u trenutku kada se vanjska noga nalazi paralelno sa padnom linijom (2. faza zavoja).

Autori su utvrdili postojanje razlike u svim kinematičkim varijablama i u 7 od 8 mjerenih kinetičkih varijabli. Uspoređujući vrijednosti fleksije zglobova koljena u 2. fazi zavoja između istraživanja Cigrovski i sur. (2022) tijekom zavoja na skijaškoj stazi i ovog istraživanja može se zaključiti da se vrijednosti podudaraju (Cigrovski i sur. 2022-  $\bar{x}=139,93^\circ$  vs  $143,64^\circ$ ). Isto se može tvrditi i za vrijednosti fleksije zglobova kuka (Cigrovski i sur. 2022-  $\bar{x}=138,68^\circ$  vs  $134,03^\circ$ ). Tijekom izvođenja zavoja na rolama može se primijetiti kako su oba promatrana zglobova značajno opruženiji u odnosu na izmjerene vrijednosti prilikom alpskog skijanja (koljeno-  $\bar{x}=158,68^\circ$ , kuk-  $\bar{x}=145,20^\circ$ ).

Ranije je istaknut bočni luk skijaša kao izuzetno važan položaj te preduvjet za postavljanje skija na bočne rubnike i opterećivanje vanjske noge kako bi se zavoj izveo bez bočnog otklizavanja uz kontrolu smjera i brzine. Promatrajući kut abdukcije kuka vanjske noge tijekom izvođenja zavoja na rolama i na skijama utvrđena je značajna razlika ( $p<0,001$ ). Kut

prilikom izvedbe zavoja na rolama iznosio je prosječno u lijevom i desnom zavoju  $\bar{x}=170,62^\circ$  dok je u alpskom skijanju iznosio značajno manje  $\bar{x}=163,34^\circ$ . Alpsko skijanje izvodi se najčešće na strmijem terenu u odnosu na rolanje. Iako su autori pokušali izjednačiti uvjete, mjerenje parametara zavoja na skijaškoj stazi izvodilo se na strmijem terenu zbog manjeg rizika od ozljede i drukčijeg trenja između kotača i asfalta te skija i snijega. Zadržavajući kontrolu brzine i smjera kretanja, padinu većega nagiba lakše je savladati bez bočnog otklizavanja skija. Kao što je već rečeno navedeno je moguće postići uz poziciju bočnog luka skijaša (abdukcija zgloba kuka) gdje skijaš može postići dovoljnu optimalnu dinamičku ravnotežu i opteretiti skije uz postavljanje na bočne rubnike. Nadalje, kotači na rolama su smješteni točno ispod središta stopala, za razliku od bočnih rubnika skija, koji su smješteni lateralno u odnosu na stopalo. Iz tog razloga poluga je povoljnija u slučaju rola. Dakle, kako bi se napravio zavoj u istom smjeru, istoga trajanja, manji pokret noge je potreban prilikom izvođenja zavoja na rolama.

Navedene rezultate moguće je objasniti i ukoliko se promatraju u kontekstu sa kinetičkom analizom te je upravo to i mogući razlog zašto se u ovom istraživanju razlikuje vrijednost kuta abdukcije kuka između skijaša više i niže razine. Uzevši u obzir gore objašnjen drukčiji odnos između pozicije kontakta stopala sa osloncem na podlozi (kotači rola, bočni rubnik skija) može se pretpostaviti da je potrebna nešto manja sila (pritisak stopala na podlogu) kako bi se izveo zavoj na rolama. Pretpostavka se može potvrditi kada se promotre vrijednosti ukupne sile stopala tijekom izvođenja zavoja na rolama i na skijaškoj stazi. Izmjerena sila tijekom rolanja u drugoj fazi zavoja iznosi prosječno u lijevom i desnom zavoju  $\bar{x}= 574,63\text{ N}$ , dok je tijekom skijanja izmjerena značajno veća ( $p<0,001$ ) ukupna sila  $\bar{x}= 788,08\text{ N}$ .

Isti obrazac može se primijetiti proučavajući kinematičku i kinetičku analizu u ovom istraživanju kada se uspoređuju sile stopala i vrijednosti abdukcije zgloba kuka između skijaša više i niže razine znanja. U ovom istraživanju utvrđivala se razlika između dvije skupine ispitanika koji su imali identične uvjete prilikom postupka mjerenja što nije bio slučaj u prethodno opisanoj studiji. U istraživanju Cigrovski i sur. (2022) utvrđivala se razlika između dva uvjeta izvođenja zavoja. Ova studija proučavala je razlike u motoričkom znanju dvije skupine ispitanika. Međutim, određeni odnosi između mjerenih varijabli se podudaraju sa spomenutim istraživanjem. Kut abdukcije u zglobu kuka vanjske noge kod skupine ispitanika više razine znanja iznosio je  $168,16^\circ$ , dok je kod skupine ispitanika niže razine znanja iznosio  $175,89^\circ$ , što je statističkom analizom utvrđeno kao značajno veća vrijednost ( $p<0,001$ ). Iz rezultata je vidljivo da je vrijednost kuta abdukcije unutarnje noge kod skupine ispitanika niže razine ( $188,57^\circ$ ) također značajno veća ( $p<0,001$ ) u odnosu na skupinu više razine znanja

(182,76°). Iz navedenih kinematičkih parametara može se zaključiti da je skupina učitelja imala značajno naglašeniju poziciju bočnog luka. Kao što je prethodno opisano položaj skijaša gdje se gornji dio tijela (trup) nalazi nagnut prema padini dolje (suprotno od centra zavoja) a donji ekstremiteti (potkoljenice, natkoljenice) prema brijegu (prema centru zavoja) omogućuje skijašu uspješno izvođenje zavoja. Da bi skijaš to postigao a istovremeno zadržao ravnotežni položaj, gornjim dijelom tijela mora kompenzirati položaj i nagnuti se u suprotnom smjeru od centra zavoja (Vaverka, Vodickova i Elfmark, 2012). Nakon faze inicijacije zavoja kada usmjeri skije u novi, ovisno o brzini kretanja i nagibu padine, centrifugalna sila raste i nastoji skijaša odmaknuti od osi rotacije zavoja tijekom druge i treće faze zavoja. Opisani položaj skijaša izuzetno je važan zbog odupiranja toj sili te centripetalna sila privlači skijaša ka osi rotacije zavoja a predstavlja ju skija postavljena bočnim rubnicima na snijeg. Dakle, vanjska noga je više izložena bočnom otklizavanju u usporedbi s unutarnjom nogom kada su nagib terena i pritisak na obje noge isti (LeMaster, Supej, 2013). Upravo zbog toga sila na vanjskoj nozi mora biti značajno veća, odnosno težina tijela skijaša mora biti dominantno raspoređena na vanjskoj skiji. Pregledom rezultata kinetičke analize ovog istraživanja vidljivo je da je sila na vanjskoj nozi tijekom druge faze zavoja bila statistički značajno veća ( $p < 0,001$ ) kod skupine učitelja (981,03 N) u odnosu na skupinu neučitelja (680,05 N). S druge strane sila na unutarnjoj nozi promatrajući istu fazu zavoja nije se značajno razlikovala između promatranih skupina ( $p = 0,519$ , učitelji- 361,02 N, neučitelji 351,035 N). Iako je kod skupine učitelja utvrđena značajno veća sila na vanjskoj nozi, ona na unutarnjoj je gotovo jednaka. Na temelju toga može se zaključiti da je omjer generirane sile između vanjske i unutarnje noge kod učitelja značajno veći u postotku u korist vanjske noge (učitelji- 73:26%, neučitelji- 65:34%). Uzrok tome je nedovoljna abdukcija u zglobov kuka (bočno otklon) koji onemogućava izrazito dominantno oslanjanje na vanjsku nogu tijekom druge i treće faze zavoja.

Na temelju navedenog moguće je zaključiti da je kod skupine skijaša više razine znanja utvrđena značajno veća vrijednost abdukcije kuka u drugoj fazi zavoja unutarnje i vanjske noge. Skupina učitelja dakle, imala je značajno veći bočni otklon tijela koji omogućuje učinkovitije izvođenje zavoja uz veću kontrolu smjera i brzine kretanja. Nadalje, kod skupine skijaša više razine znanja tijekom druge faze zavoja utvrđena je značajno veća sila na vanjskoj nozi dok je na unutarnjoj sila bila neznačajno različita.

Skijaši rekreativne populacije prilikom učenja skijanja često imaju poteškoća sa savladavanjem specifičnog skijaškog položaja gdje se tijelo nalazi u bočnom otklonu. Navedeni položaj tijela nije uobičajen za svakodnevne aktivnosti te ga je iz tog razloga teško savladati

(Burtscher i sur., 2013). Kada tijelo nije u tom položaju posebno tijekom druge i treće faze zavoja vrlo teško je optimalno rasporediti težinu tijela, odnosno dominantno opteretiti vanjsku nogu tijekom zavoja, a samim time i izvesti zavoj bez bočnog otklizavanja (Loland, 2009; Komissarov, 2020). Iz opisanih analiza vidljivo je da je kutni odnos između segmenata tijela nerazdvojiv od optimalnog doziranja pritiska na skije. Tijekom procesa poučavanja skijaši rekreativne populacije moraju savladati osnove skijanja i steći zadovoljavajuću razinu dinamičke ravnoteže na skijama (Staniszewski i sur. 2016). Nakon toga potrebno je inzistirati na metodičkim vježbama koje će naglašavati poziciju bočnog otklona i dominantno opterećivanje vanjske noge. Kao što je već naglašeno sa gledišta biomehaničke analize tako su i u praktičnom smislu dva navedena čimbenika neodvojiva te je poželjno poučavati ih istovremeno.

Vrlo slične rezultate dobili su Matsumura i sur. (2021) promatrajući skijaška gibanja u zglobovima kuka, kut rubljenja i silu reakcije podloge tijekom izvođenja paralelnih zavoja. Autori su pokušali objektivno utvrditi skijaško znanje na temelju kinematičke i kinetičke analize. Predlažu jednostavnu metodu kojom će se razumjeti odnos između gibanja skijaša i utjecaja tog gibanja na usmjeravanje skija. U istraživanju je sudjelovao jedan japanski skijaš učitelj visoke razine i četiri skijaša rekreativne razine. Ispitanicima je jedan inercijski senzor bio postavljen na lumbalnu regiju kralježnice, jedan na skiju ispred prednjeg veza te su u skijaškim cipelama nosili Novel Pedar uloške za mjerene sile reakcije podloge. Ulošci su bili podijeljeni u 2 regije stopala, prednja i stražnja (peta). Kako bi eliminirali utjecaj različitih duljina i radijusa skija na izvođenje zavoja, ispitanici u istraživanju koristili su identične skije. Zadatak za ispitanike bio je na stazi 25° nagiba izvesti 6 paralelnih zavoja po 2 puta za vrijeme kojih su mjereni navedeni parametri. Glavni nalazi njihova istraživanja podudaraju se sa nalazima u ovom istraživanju. Posebno oni vezani uz abdukciju kuka i veličinu izmjerene sile u odnosu na abdukciju kuka kod promatranih skupina ispitanika. Promatrajući promjene u kutu rubljenja kod skijaša učitelja, utvrđene su veće kutne brzine i amplitude gibanja skije sa jednog na drugi rubnik na početku zavoja i na kraju ali suprotnog usmjerenja. U središnjem dijelu zavoja (2. faza zavoja) kutne brzine i amplitude promjene kuta bile su konstantne. Kod skupine rekreativnih skijaša utvrđene su značajno manje amplitude gibanja skije tijekom promjene rubljenja u prvoj i trećoj fazi zavoja dok u drugoj fazi kutna brzina nije bila konstantna. Iz navedenog se može zaključiti da su skijaši rekreativne populacije postavljali skiju na rubnik sa značajno manjim kutom u odnosu na snijeg. Samim time postojala je veća vjerojatnost da skija bočno otkliže. Posebno ako se uzme u obzir podatak da je kod skijaša rekreativne populacije utvrđena značajno manja

amplituda gibanja u zglobu kuka, odnosno manji bočni otklon. U ovom istraživanju bočni otklon (abdukcija zgloba kuka) vanjske noge kod skupine učitelja bio je statistički značajno veći u 2. i 3. fazi zavoja (2. faza- učitelji: 168,16° vs neučitelji: 175,89°; 3. faza- učitelji: 164,38° vs neučitelji: 174,81°). Bočni otklon je preduvjet postavljanja skija na rubnike odnosno postizanja optimalnog kuta rubljenja (Zorko i sur., 2015). Jasno je vidljivo iz prikazanih rezultata da skupina neučitelja zbog manje abdukcije u zglobu kuka nije mogla optimalno postaviti skije na bočne rubnike te je postojala veća šansa za bočno otklizavanje skije u drugom dijelu zavoja.

Nadalje, prilikom analize sile reakcije podloge utvrđeno je da skijaš učitelj značajno manje opterećuje stražnji dio stopala te se većina opterećenja nalazi na prednjem dijelu stopala. Na taj način skijaš prednjim dijelom stopala tijekom cijelog zavoja aplicira pritisak preko skijaške cipele na prednji dio skije te ima značajno veću kontrolu smjera skija tijekom svih faza zavoja. Kod skupine skijaša rekreativne populacije utvrđen je značajno veći omjer izmjerene sile na stražnjem dijelu stopala.

Rezultati Matsumura i sur. (2021) potpuno se podudaraju rezultatima u ovoj studiji. Tijekom 2. i 3. faze zavoja skupina učitelja imala je značajno veću silu na prednjoj regiji stopala u odnosu na skupinu neučitelja kao što je već prethodno navedeno (2. faza- učitelji- prednji dio stopala: 85%, peta: 15%, neučitelji- prednji dio stopala: 66%, peta: 34%; 3. faza- prednji dio stopala: 65%, peta: 35%; neučitelji- prednji dio stopala: 56%, peta: 44%).

Zbog navedenih podataka u 2. i 3. fazi zavoja o većoj abdukciji zgloba kuka, većoj sili na prednjem dijelu stopala te posljedično i većeg kuta rubljenja, ispitanici više razine znanja stvorili su preduvjete da mogu izvesti zavoj bez bočnog otklizavanja skije. Navedeno nije slučaj kod skupine ispitanika niže razine znanja. učitelja

Kao što je prethodno navedeno skijama se upravlja generirajući određenu silu koja se prenosi preko stopala na skijaške cipele, vezove i zatim na skije. Važno je da skijaš zna u kojoj fazi zavoja mora rasporediti silu na određenu regiju stopala kako bi skiju mogao usmjeravati u željenom pravcu. Skijaši natjecatelji zbog razine svojih motoričkih sposobnosti, kondicijske pripremljenosti te zbog dodatnog ubrzanja na kraju zavoja značajno opterećuju i stražnju regiju stopala odnosno rep skije (Falda-Buscaiot i sur., 201). Kod skijaša rekreativne populacije zbog razine treniranosti i skijaškog znanja težina mora biti raspoređena na početku zavoja na

prednjem dijelu skija i kako zavoj odmiče prema završnoj fazi, tako se težina pomiče do sredine skije a nikada prema repu skija (Lafontaine i sur., 1998).

Kim, J-H., Kim, J-N. (2017) u svom istraživanju analizirali su razlike u sili reakcije podloge između paralelnog zavoja i brzog vijuganja. Silu su mjerili pomoću Novel, Pedar uložaka za mjerenje sile, onakvima kakvi su korišteni za istu svrhu u ovom istraživanju. Sila je mjerena na tri regije stopala, prednji, srednji i stražnji dio. Za potrebe svojeg istraživanja zavoj su podijelili u tri faze, s obzirom na položaj skija u odnosu na padnu liniju (faza inicijacije, prva faza upravljanja i druga faza upravljanja) a nagib staze na kojem je izvedeno testiranje bio je 16°. Ispitanici su bili jedanaest učitelja skijanja sa iskustvom rada od najmanje sedam godina. Analizirano je pet povezanih paralelnih zavoja i pet zavoja izvodeći brzo vijuganje. Glavni nalazi istraživanja, gledajući distribuciju sile reakcije podloge tijekom faza zavoja, se poklapaju sa ovim istraživanjem. Tijekom izvođenja paralelnog zavoja u fazi inicijacije (1. faza) zabilježene su najniže vrijednosti sile a najviša izmjerena bila je na prednjem dijelu stopala vanjske noge. Obje navedeno utvrđeno je i u ovom istraživanju, u prvoj fazi zavoja utvrđene su najniže vrijednosti kod obje skupine ispitanika (1. faza- učitelji:  $670,17 \pm 69,31$ , neučitelji:  $557,78 \pm 88,89$ ; 2. faza- učitelji:  $981,030 \pm 92,10$ , neučitelji:  $680,05 \pm 106,16$ ; 3. faza- učitelji:  $777,50 \pm 68,20$ , neučitelji:  $612,35 \pm 95,91$ ) te je sila na prednjem dijelu stopala imala najvišu vrijednost kod skupine učitelja (medijalnom  $\approx 42\%$  i lateralnom  $\approx 42\%$  u odnosu na petu  $\approx 15\%$ , u ovom slučaju zbog različite podjela regija stopala u ovom istraživanju). Kod skupine neučitelja distribucija sile je dominantnije na stražnjem dijelu stopala (medijalno  $\approx 32\%$ , lateralno  $\approx 32\%$ , peta  $\approx 34\%$ ). Nadalje, najviše vrijednosti sile izmjerene su u drugoj fazi zavoja, što je slučaj i u ovom istraživanju i to kod obje skupine ispitanika kao što je navedeno iznad. U drugoj fazi zavoja autori su utvrdili da je distribucija sila u odnosu na regije stopala, također u skladu sa rezultatima ovog istraživanja. Najviše vrijednosti zabilježene su na prednjem dijelu stopala i to za obje skupine ispitanika (učitelji- medijalno i lateralno: 71%, peta: 29%; neučitelji- medijalno i lateralno: 67%, peta: 33%). Razlike u spoznajama spomenutog istraživanja i ovog odnose se na skupinu ispitanika neučitelja, dok se rezultati izmjereni kod skupina učitelja potpuno poklapaju. Autori zaključuju da neovisno o elementu koji se izvodi na skijaškoj stazi u svakoj fazi zavoja prednji dio stopala mora biti opterećen kako bi se skija mogla usmjeravati kroz zavoj od svojega vrha prema repu. Iako se tijekom zavoja težište tijela pomiče prema natrag, nikada ne smije biti dominantno na stražnjem dijelu stopala.

U fazi tranzicije između zavoja skijaš mora rasteretiti pritisak sa skija kako bi ih u prvoj fazi zavoja mogao rotirati i usmjeravati u novi. Prilikom rasterećenja koje se najčešće izvodi

opružanjem u zglobovima donjih ekstremiteta i podizanjem težišta tijela, skijaš mora uz istovremeno opružanje pomicati težište tijela prema naprijed, odnosno prema vrhovima skija (Cigrovski, 2021). U tom slučaju tijekom prve faze zavoja može opteretiti prednji dio skija i započeti zavoj uvođenjem vrhova i onda skiju cijelom dužinom. U ovom istraživanju kod skupine neučitelja u prvoj fazi zavoja može se primijetiti kako je sila raspoređena podjednako na svim regijama stopala umjesto dominantno na prednjem dijelu kao kod skupine učitelja. Promatrajući kinetičku analizu prve faze zavoja, prethodno navedeno je i glavna razlika između dvije promatrane skupine ispitanika. Tijekom procesa poučavanja skijaši vrlo često zbog straha od brzine i nagiba padine naginju tijelu prema natrag opterećujući stražnji dio stopala i repove skije. Navedena pozicija značajno otežava fazu tranzicije i inicijacije zavoja što dovede do smanjene mogućnosti kontrole brzine i bočnog otklizavanja .

Falda-Buscaiot i sur. (2017) proveli su kinematičku i kinetičku analizu kako bi proučavali promjene sile reakcije podloge unutarnje i vanjske noge u odnosu na faze zavoja (inicijacija, 1. faza upravljanja, 2. faza upravljanja i izlazak iz zavoja) i nagib padine prilikom izvedbe veleslalom zavoja na postavljenoj stazi. Ispitanici su bili dječaci i djevojčice natjecatelji, ukupno njih 11 s prosjekom godina 17,5. Ispitanici su izvodili veleslalom zavoja na postavljenoj stazi koja se sastojala od strmijeg i blagog nagiba padine. Za analizu zavoja na strmijoj padini autori su koristili 2 zavoja dok su za analizu zavoja na blagoj padini koristili 6 zavoja. Kinematička analiza provodila se putem sustava video kamera u pripadajućem softveru dok su se kinetički parametri mjerili i analizirali putem Novel, Pedar uložaka. Ulošci su se sastojali od 99 senzora te su ih autori za potrebu analize pritiska podijelili u 6 regija. U anterio-posteriornom smjeru na prednju, srednju i stražnju regiju a u medio-lateralnom smjeru na medijalnu i lateralnu regiju.

Distribucija sile je značajno veća na vanjskoj nozi u svakoj fazi zavoja osim u fazi inicijacije. Autori ističu da je u fazi inicijacije omjer sila iznosio otprilike 50% : 50% dok je u srednjem dijelu zavoja iznosio 75% : 25%. Navedeno se podudara sa rezultatima ovog istraživanja, u 2. (učitelji- 73% : 26%; neučitelji- 65% : 34%) i 3. (učitelji- 64% : 36%; neučitelji- 63% : 37%) fazi zavoja izmjerena sila je značajno veća na vanjskoj nozi dok je u 1. fazi ta razlika manja (učitelji- 57% : 43%, neučitelji- 57% : 43%). Promatrajući distribuciju sile ovisno o nozi u ovom istraživanju može se zaključiti kako je sila dominantno raspoređena na vanjskoj nozi, međutim kod skupine neučitelja vidljiv je nešto veći omjer sile na unutarnjoj nozi za razliku od skupine učitelja. Autori zaključuju kako se pod utjecajem promjene nagiba padine sila pritiska vanjske noge mijenjala dok je na unutarnjoj ostala konstantna. Ovo sugerira

da skijaši uglavnom koriste vanjsku nogu za prilagodbu mehaničkih parametara prilikom usmjeravanja skija. Obje noge doprinose stabilnosti, ali samo vanjska noga ima aktivnu ulogu u dovršavanju zavoja. Zaključci su u skladu s onima koji su izneseni u ovom istraživanju.

Nadalje, da bi održali dinamičku ravnotežu, skijaši moraju upravljati i odupirati se vanjskim silama. Veća sila na vanjskoj nozi pomaže uskladiti silu reakcije podloge s težištem skijaša, sprječavajući prekomjerno naginjanje prema unutrašnjosti zavoja. U istraživanju Falda-Buscaiot i sur. (2017) najveća izmjerena sila na vanjskoj nozi zabilježena je u 2. fazi zavoja, neposredno nakon prolaska skijaša preko padne linije dok je tada na unutarnjoj iznosila 0,5 BW. U ovom istraživanju najveći iznos sile izmjeren je također u 2. fazi zavoja, na vanjskoj nozi 1,26 BW, a na unutarnjoj 0,46 BW kod skupine učitelja. Kod skupine neučitelja najveća sila izmjerena je također u 2. fazi zavoja (vanjska noga- 0,99 BW, unutarnja noga- 0,51). Na temelju ovih podataka vidljivo je kako je maksimalna izmjerena sila u ovim istraživanjima podjednaka, a više sličnosti ima između skupine neučitelja i istraživanja Falda-Buscaiot i sur. (2017). U tom istraživanju izmjerene su nešto manje vrijednosti sile nego u ostalim srodnim istraživanjima kao na primjer (Lamontagne, 2021.; Nakazato, Scheiber, Müller, 2011). Mogući razlozi koji navode autori su činjenica da ispitanici nisu bili natjecatelji seniorskog ranga natjecanja koji generiraju znatno veće sile. Isto tako u istraživanju nisu prikazane najveće vrijednosti sile u određenoj fazi nego su izračunati prosjeci za svaku fazu te tako prikazani, što naravno snižava vrijednost. Upravo iz tog razloga rezultati istraživanja mogu se uspoređivati s ovim istraživanjem.

Promatrajući regije stopala, glavni nalaz istraživanja podudara se s rezultatima ovog istraživanja. Tijekom faze inicijacije najveća sila izmjerena je na prednjem dijelu stopala te se je od faze inicijacije do faze izlaska iz zavoja dominantni pritisak stopala na podlogu pomicao od prednjeg dijela stopala da bi u fazi izlaska bio dominantno na peti. U ovom istraživanju kao što je već navedeno u fazi inicijacije sila je dominantno bila raspoređena na prednji dio stopala kod skupine učitelja (42%:42%:15%) dok kod skupine neučitelja (32%:32%:34%) podjednako na cijelom stopalu. Ovi rezultati ukazuju na to da skijaš djeluje uglavnom kroz prednji dio stopala prilikom inicijacije zavoja. To je povezano sa tijelom pomaknutim prema naprijed, pri čemu potkoljenica pritišće prednji dio skijaške cipele, (Yoneyama, Kitade, Osada, 2010) što je neophodno za pravilno savijanje (opterećivanje) skije. Osim toga, pokazalo se da skijaši više razine znanja mogu generirati veće opterećenje na prednjem dijelu vanjskog stopala (KeraËnen i sur., 2010).

U drugoj fazi zavoja kod učitelja (71%:29%) ali i neučitelja (67%:33) također dominantno na prednjem dijelu stopala. U trećoj fazi autori Falda-Buscaiot i sur. (2017) utvrdili su maksimalnu silu na stražnjem dijelu stopala što nije slučaj u ovom istraživanju kod skupine učitelja (40%:25%:35%), dok je kod skupine neučitelja sila podjednako na prednjem i stražnjem dijelu (30%:26%:44%). U rekreativnom skijanju kao što je prethodno spomenuto naglašava se polaznicima da je distribucija dominantno na prednjem dijelu stopala na početku zavoja te se pomiče prema natrag ali do sredine stopala. Iz tog razloga se rezultati istraživanja Falda-Buscaiot i sur. (2017) ne podudaraju sa rezultatima skupine učitelja.

Može se zaključiti da se skupina učitelja značajno razlikuje od skupine neučitelja u fazi inicijacije zavoja u vrijednostima opterećenja na prednjem dijelu stopala. U 2. fazi zavoja promatrajući distribuciju sile prema regijama stopala ne postoje značajnije razlike. Međutim u 3. fazi zavoja su također utvrđene značajne razlike u vrijednostima opterećenja stopala na prednjem i stražnjem dijelu.

Vrlo slične rezultate sa ovim istraživanjem objavili su Kim i sur. (2014) u svojem istraživanju. Cilj je bio usporediti obrazac pritiska stopala između 5 učitelja skijanja i 5 rekreativnih skijaša. Autori su analizirali silu reakcije podloge i pritisak na 6 regija stopala. Ispitanici su izvodili paralelni zavoj i carving zavoj koje su za potrebe analize podijelili u 4 faze. Glavni nalazi njihova istraživanja promatrajući paralelni zavoj jesu značajno veća sila na stražnjem dijelu stopala obje noge u fazi inicijacije kod skupine rekreativnih skijaša. Isto tako u 2. i 3. fazi zavoja utvrđen je isti obrazac sile reakcije podloge kod skupine rekreativnih skijaša. Autori sugeriraju da bi se prilikom procesa poučavanja rekreativnih skijaša trebalo posvetiti pažnju na rasterećivanje pritiska sa skija tijekom faze inicijacije i prebacivanje projekcije težišta tijela prema naprijed. Dakle rezultati njihova istraživanja i zaključci u skladu su sa nekoliko opisanih istraživanja u ovom radu kao i samim rezultatima ovog istraživanja.

Sile i pritisak stopala tijekom izvođenja nekoliko elemenata proučavali su i Lafontaine i sur. (1998). U svojem istraživanju proučavali su razlike u silama i pritisku tijekom izvođenja dinamičkog paralelnog zavoja, veleslalom zavoja, brzog vijuganja i paralelnog zavoja. Ispitanici su bili kanadski učitelji skijanja (6) najviše razine licenciranja. Koridor u kojem su se izvodili zavoji bio je prilagođen svakom elementu zasebno ovisno o njegovim karakteristikama. Silu i pritisak mjerili su pomoću Novel, Pedar uložaka za mjerenje sile. Proučavali su distribuciju pritiska na stopalu, maksimalni pritisak, maksimalnu silu i prosječnu silu tijekom zavoja te putanju centra pritiska na stopalu. Sile su promatrane tijekom cijelog trajanja zavoja.

Kao glavne nalaze autori ističu nekoliko činjenica. Tijekom zavoja sila je dominantno bila na vanjskoj nozi osim kod faze tranzicije gdje je bila podjednako na obje noge. Vrlo slični rezultati zabilježeni su i u ovom istraživanju kod obje skupine ispitanika u 2. i 3. fazi zavoja. Fazu tranzicije u ovom istraživanju može se djelomično poistovjetiti sa 1. fazom zavoja te je u toj fazi izmjerena nešto veća sila na vanjskoj nozi kod obje skupine ispitanika (57% : 43%).

Promatrajući paralelni zavoj, maksimalna sila u zavoju iznosila je 1397 N dok je prosječna sila tijekom zavoja iznosila 738 N. Ukoliko se na temelju tri promatrane faze izračuna prosjek sile učitelja u ovom istraživanju, iznosi 809 N što je nešto veća sila u odnosu na zabilježene vrijednosti kod Lafontaine i sur. (1998). Autori izdvajaju podatak da je u svim elementima prosječna sila i maksimalna sila zabilježena na lijevoj nozi, odnosno u desnom zavoju kada je lijeva noga bila vanjska bila značajno veća. Kao vjerojatni razlog s obzirom da su ispitanici bili učitelji najvišeg ranga navode činjenicu da je teren bio blago nagnut u lijevu stranu. Međutim postoje preferencije zavoja s obzirom na dominantnu nogu kao vanjsku kod rekreativnih skijaša ali i kod skijaša visoke razine. Upravo su Vaverka i Vodickova (2010) istraživali su utjecaj dominantne noge na kinetičke parametre tijekom izvođenja slalom zavoja. Iako nisu utvrdili statistički značajnu razliku između zavoja, zabilježeno je dulje trajanje zavoja i veća sila prilikom izvođenja zavoja u kojem je dominantna noga vanjska. Time zaključuju da i vrlo dobri skijaši više kontroliraju brzinu i smjer kretanja kada je težina tijela oslonjena na dominantnu nogu. Navedeno je još jedan čimbenik na koji učitelji skijanja moraju obratiti pozornost prilikom poučavanja rekreativnih skijaša. Neovisno o osjećaju veće sigurnosti prilikom izvedbe zavoja u kojem je vanjska noga dominantna, skijaš bi trebao težiti tome da oba zavoja budu što je moguće sličnija. Odnosno jednaki pritisak potrebno je primijeniti na točno određene regije stopala u određenom dijelu zavoja kao što je opisano ali jednako u lijevom i desnom zavoju.

Nadalje, značajan nalaz autora Lafontaine i sur. (1998) odnosi se na putanju centra pritiska tijekom zavoja. Kod svih promatranih elemenata osim kod natjecateljskog veleslalom zavoja autori su utvrdili da se centar pritiska u fazi inicijacije zavoja nalazi ispod prve metatarzalne kosti te se tijekom zavoja pomiče blago unatrag ali nikada iza sredine svoda stopala. Prilikom izvođenja veleslalom zavoja centra pritiska u završnoj fazi zavoja bio je u stražnjem dijelu stopala. Navedeni podatak u potpunosti je u skladu sa principa poučavanja i sa rezultatima utvrđenim kod skupine učitelja u ovom istraživanju.

Analiza sila koje djeluju na skijaša tijekom zavoja dovodi do boljeg razumijevanja odnosa između vremenskih parametara i sila u različitim fazama zavoja. U svakodnevnoj praksi, sasvim je uobičajeno da instruktor skijanja zamoli sudionike škole skijanja da osvijeste pritisak ispod određenih dijelova stopala tijekom skijanja kako bi poboljšali svoju izvedbu.

Cigrovski i sur. (2020) utvrdili su razlike između izmjerenih sila i njihove raspodjele ispod stopala tijekom izvođenja različitih elemenata skijaške tehnike. Analiza kinetičkih parametara provedena je na četiri elementa alpske škole skijanja (plužni zavoj, osnovni zavoj, paralelni zavoj, brzo vijuganje). Utvrdili su da je sila sve veća kako se povećava složenost elemenata. Njihov nalaz je u skladu sa slijedom metodskog procesa i plana i programa alpske škole skijanja. Stoga je poželjno da tijekom procesa poučavanja učitelji skijanja svojim polaznicima daju informacije o tome gdje, kada i kako primijeniti silu tijekom izvedbe određenog skijaškog elementa (Martínez i sur., 2016).

Na temelju svih prikazanih radova i usporedbe s rezultatima dobivenim u ovom istraživanju postoje mnogi dokazi da se skijaši više razine skijaškog znanja značajno razlikuju od skijaša niže razine znanja. Određene studije proučavale su kinetičke parametre, određene kinematičke a nekoliko njih obje. Razlike između dviju skupina ispitanika utvrđene su i u kinetičkim i kinematičkim parametrima. Većina istraživanja promatrala je kinematičke varijable zgloba koljena a nešto manje zgloba kuka. U ovom istraživanju utvrđene su značajne razlike između dviju skupina u zglobu koljena ali i kuka a vrlo malo ih je promatralo varijablu abdukciju kuka koja je utvrđena kao značajna razlika između skupina u ovom istraživanju. Promatrajući kinetičke varijable u gotovo svim istraživanjima između skijaša niže i više razine utvrđena je veća sila na vanjskoj nozi kod skijaša više razine. Isto tako izmjerena sila na prednjem dijelu stopala bila je značajno veća kod skijaša više razine odnosno distribucija sile između prednje i stražnjeg dijela bila je dominantno na prednjem dijelu stopala kod skupine više razine znanja. U istraživanjima skijaški zavoj najčešće je podijeljen u tri faze. U određenim radovima parametri su promatrani kroz cijelu fazu te izraženi kao srednja vrijednost faze a u određenim radovima promatrana je jedna vremenska točka u svakoj fazi zavoja. U većem broju prikazanih radova koji su uspoređivali parametre između skupina skijaša različitih razina znanja razlike su pronađene u više od jedne faze zavoja. U ovom istraživanju najmanje parametara razlikovalo se u 1. fazi zavoja.

## 9. ZNANSTVENI I PRAKTIČNI DOPRINOS

Znanstveni doprinos ovog istraživanja očituje se u tome što su dobiveni rezultati uz primjenu primjerenih znanstvenih metoda, omogućili stvaranje novih spoznaja i identifikaciju odnosa između kinematičkih i kinetičkih pokazatelja optimalno izvedenog zavoja u alpskom skijanju. Znanstveno utemeljeno razumijevanje generiranih sila kao i njihovih odnosa između različitih segmenata tijela doprinosi dodatnom shvaćanju mehanizama upravljanja skijama a posebno se odnosi na tri promatrane faze zavoja. Integracijom više segmenata biomehaničke analize korištenim u ovom istraživanju, a koja se dosad vrlo oskudno provodila prilikom analize rekreativnog alpskog skijanja, ostvaren je napredak u području istraživanja učinkovitosti metodologije poučavanja alpskog skijanja. Isto tako navedene spoznaje mogu dati doprinos u razumijevanju mehanizama ozljeda kod alpskih skijaša te tako doprinijeti u prevenciji istih.

U praktičnom smislu, navedene spoznaje iz sinkronizirane kinetičke i kinematičke analize pružaju osnove koje mogu poslužiti kao smjernice školama skijanja u razvijanju programa učenja na učinkovitiji i sigurniji način. Usporedbom skijaša različitih razina znanja kvantitativno su utvrđene razlike u kutovima donjih ekstremiteta te silama na različitim regijama stopala. Navedene spoznaje mogu konkretno učiniti proces usvajanja određenog skijaškog elementa učinkovitijim. Imajući u vidu informacije o gibanju u određenoj fazi zavoja koje skijaši niže razine znanja ne izvode na pravilan način primjerice, nedovoljna amplituda fleksije u zglobu koljena tijekom zavoja, moguće je prilagoditi proces učenja vrlo ciljano s obzirom na rezultate ovog istraživanja. Nadalje, tijekom procesa učenja učitelji imaju raspon metodičkih vježbi kojima se služe kao alat za lakšim usvajanjem elementa kod polaznika. S obzirom na rezultate ovog istraživanja i utvrđivanjem razlika između tehnički korektne i nekorektne izvedbe, učitelj može prilagoditi metodičku vježbu u cilju ispravljanja greške u motoričkom gibanju. Isto tako može i prilagoditi upute koje daje polazniku na primjer, u 3. fazi zavoja pritisak stopala i dalje mora ostati na prednjem i srednjem dijelu stopala a ne stražnjem. Konačno, povećanjem učinkovitosti procesa učenja smanjuje se mogućnost nastanka ozljeda tijekom skijanja. Informacije o najčešćim greškama mogu pomoći u prilagođavanju metodičkih vježbi a samim time smanjiti broj padova i ozljeda na skijaškoj stazi.

## 10. PREDNOSTI I OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA

Prednosti provedenog istraživanja su sljedeća:

1. Kinematička i kinetička analiza zavoja skijaša rekreativne populacije- U području alpskoga skijanja biomehanička istraživanja natjecateljskog skijanja su česta i mnogobrojna. S druge strane, broj istraživanja koja proučavaju biomehaniku rekreativnog alpskog skijanja je oskudan. Njihove spoznaja značajno doprinose razumijevanju tehnike prilagođene rekreativnim skijašima time se utječe na razvoj metodskih postupaka i metodičkih vježbi u cilju učinkovitijeg savladavanja skijaške tehnike.
2. Direktna usporedba rekreativaca sa učiteljima- Usporedbom skijaša različitih razina znanja kvantitativno su utvrđene razlike u kutovima donjih ekstremiteta te silama na različitim regijama stopala. Imajući u vidu informacije o gibanju u određenoj fazi zavoja koje skijaši niže razine znanja ne izvode na pravilan način moguće je prilagoditi proces učenja vrlo ciljano s obzirom na rezultate ovog istraživanja.
3. Analiza rekreativno skijanja kroz sve 3 faze zavoja- mnoga biomehanička istraživanja rekreativne populacije skijaša koncentrirana su na isključivo nekoliko varijabli tijekom cijelog trajanja zavoja. U ovom istraživanju zavoj je podijeljen i analiziran u 3 faze. Na taj način moguće je detaljnije raščlaniti sva gibanja te ih analizirati i usporediti između skijaša različitih razina znanja.
4. Ispitanici neučitelji su svi selekcionirani- skupina skijaša niže razine skijaškog znanja sastojala se od ispitanika koji su imali jednaki ukupni broj dana na snijegu. Ispitanici su bili selekcionirana populacija iznad prosječnih motoričkih sposobnosti u odnosu na opću populaciju. Svi dani provedeni na snijegu bili su u sklopu škole skijanja te su radili po identičnom programu, a program su provodili licencirani učitelji skijanja. Učitelji skijanja imali su najmanje 5 godina iskustva u provođenju tog istog programa. Na taj način omogućeno je približno jednaka razina njihovog skijaškog znanja a samim time bilo je moguće detektirati razlike između skupine ispitanika više razine znanja.

Ograničenja provedenog istraživanja su sljedeća:

1. Nije provedena EMG analiza- Kinetičkom analizom utvrđene su generirane sile na stopalu tijekom zavoja. Kinematičkom analizom kvantificirala su se skijaška gibanja, odnosno utvrdili su se odnosi između segmenata tijela te kutovi u zglobovima donjih ekstremiteta koji su produkt generiranih sila. EMG analizom bilo bi moguće utvrditi aktivnost mišića koji su odgovorni za generiranje spomenute sile. Na taj način postojala bi potpuna slika o izvođenju skijaškog zavoja.
2. Izmjerene varijable u lijevom i desnom zavoju kod svakog ispitanika svedene su na srednju vrijednost te tako u analizi ne postoji varijabla posebno za lijevi i posebno za desni zavoj već jedna srednja vrijednost. Samim time nije moguće međusobno uspoređivati varijable lijevog i desnog zavoja te utvrđivati eventualne asimetrije.
3. Varijable su izmjerene u jednoj točki mjerenja tijekom zavoja (3 točke u svakom zavoju) ali ne kroz cijelu fazu zavoja. Da su analizirane srednje vrijednosti od svih podataka kroz cijelo trajanje pojedine faze postoji mogućnost da bi se dobio precizniji opis pojedinih varijabli u određenoj fazi.
4. Ulošcima za mjerenje sile stopala utvrđena je sila na točno određenoj regiji stopala u svakoj pojedinoj fazi zavoja. U radu su prezentirane izmjerene vrijednosti, međutim navedene sile nisu apsolutne vrijednosti koju su zaista generirane. Naime, zbog specifičnog skijaškog položaja gdje su potkoljenice u odnosu na stopala nagnute prema naprijed zatvaraju kut manji od  $90^\circ$ . Navedeno znači da su potkoljenice oslonjene na jezik skijaške cipele te se određena vrijednost vertikalne sile prema dolje rasipa se na pritisak potkoljenice na skijašku cipelu. Spomenutu vrijednost sile nije moguće izmjeriti sa korištenim ulošcima.

## 11. TESTIRANJE POSTAVLJENIH HIPOTEZA

Ovo istraživanje imalo je za cilj utvrditi razlike između skijaša više i niže razine usvojenosti skijaške tehnike u određenim kinematičkim i kinetičkim parametrima tijekom izvođenja paralelnog zavoja. Također, cilj je bio utvrditi razlike u navedenim parametrima tijekom tri vremenske točke (faze) zavoja, u fazi dolaska do padne linije, u trenutku kada su skije paralelne sa padnom linijom te u fazi odlaska od padne linije.

H1: Postoji značajna razlika u fazi dolaska do padne linije između dviju promatranih grupa ispitanika u fleksiji koljena, fleksiji kuka, abdukciji kuka vanjske i unutarnje noge te omjeru distribucije sile stopala.

Ova hipoteza se može djelomično potvrditi s obzirom da značajne razlike između grupa nisu utvrđene u fleksiji unutarnjeg koljena ( $U\_K$ -  $p=0,33$ ), fleksiji kuka vanjske ( $V\_F\_KUK$ -  $p=0,36$ ) i unutarnje noge ( $U\_F\_KUK$ -  $p=0,10$ ), dok su u ostalim promatranim kinematičkim varijablama utvrđene. Promatrajući distribuciju sile stopala može se zaključiti da je kod svih promatranih varijabli utvrđena značajna razlika između grupa.

H2: Postoji značajna razlika u fazi prolaska kroz padnu liniju između dviju promatranih grupa ispitanika u fleksiji koljena, fleksiji kuka, abdukciji kuka vanjske i unutarnje noge te omjeru distribucije sile stopala.

Ova hipoteza se može potvrditi s obzirom da su značajne razlike između grupa utvrđene u svim promatranim kinematičkim varijablama. Promatrajući kinetičke varijable značajna razlika između skupina nije utvrđena u ukupnoj sili na unutarnjoj nozi ( $U\_UK\_F$ -  $p=0,52$ ) i sile na medijalnoj regiji stopala ( $U\_ME\_F$ -  $p=0,07$ ), međutim u svim ostalim varijablama utvrđena je značajna razlika između skupina.

H3: Postoji značajna razlika u fazi prolaska kroz padnu liniju između dviju promatranih grupa ispitanika u fleksiji koljena, fleksiji kuka, abdukciji kuka vanjske i unutarnje noge te omjeru distribucije sile stopala.

Ova hipoteza se može potvrditi s obzirom da su značajne razlike između grupa utvrđene u svim promatranim kinematičkim varijablama. Promatrajući kinetičke varijable značajna razlika između skupina nije utvrđena u sili na stražnjoj regiji stopala unutarnje ( $U\_PET\_F$ -  $p=0,27$ ) i vanjske noge ( $V\_PET\_F$ -  $p=0,94$ ) međutim u svim ostalim varijablama utvrđena je značajna razlika između skupina. Činjenica što značajna razlika nije utvrđena u dvije spomenute varijable ne utječe na promjenu odnosa distribucije sile između skupina.

## 12. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi razlike u biomehaničkim parametrima između skijaša više i niže razine znanja u pojedinim fazama skijaškog zavoja. Rezultati su potvrdili značajne razlike između kinetičkih i kinematičkih parametara skijaša više i niže razine znanja u izvođenju paralelnog zavoja. Vidljivo je da u sve tri faze zavoja postoji značajna razlika u određenim varijablama između dvije testirane skupine ispitanika. Skupina ispitanika niže razine znanja ima zabilježenu manju fleksiju u promatranim zglobovima u svim fazama zavoja od početka do završetka (1.-3. faze). Iz analize kinetičkih parametara vidljivo je također da u sve tri promatrane faze zavoja postoji značajna razlika između skupina ispitanika. Kod skupine više razine skijaškog znanja utvrđene su značajno veće vrijednosti ukupne sile a pogotovo na vanjskom stopalu te na medijalnoj i lateralnoj regiji stopala dok su manje vrijednosti zabilježene na stražnjem dijelu stopala u odnosu na skupinu ispitanika sa nižom razinom znanja. Također kod skupine ispitanika više razine skijaškog znanja utvrđen je veći omjer sile na vanjskom stopalu u odnosu na unutarnje stopalo.

Ovo istraživanje doprinosi biomehaničkoj analizi rekreativnog skijanja. Vrlo je oskudan broj studija koje provode kinetičku i kinematičku analizu i međusobnu usporedbu skijaša različite razine znanja rekreativne populacije. Identifikacijom te razumijevanjem generiranih sila kao i njihovih odnosa između različitih segmenata tijela doprinosi se dodatnom shvaćanju mehanizama upravljanja skijama kod skijaša koji su procesu poučavanja skijaškog znanja.

Primjena rezultata ove studije prvenstveno se odnosi na metode poučavanja skijanja. Na temelju dobivenih rezultata, škole skijanja mogu prilagoditi svoje kurikule kako bi se fokusirale na specifične biomehaničke aspekte koji predstavljaju izazov rekreativnim skijašima. Informacije o nedovoljnoj amplitudi gibanja u pojedinoj fazi zavoja ili pogrešnoj distribuciji pritiska stopala može pomoći u odabiru metodičkih vježbi ili uputama učitelja tijekom procesa poučavanja.

Sve navedeno doprinosi razumijevanju procesa poučavanja skijaških početnika i neiskusnih skijaša te čini taj proces učinkovitijim. Samim time pozitivno se utječe na smanjenje broja ozljeda uzrokovanih nedovoljnom razinom tehnike skijanja. Najbolja prevencija ozljeda na skijaškim terenima je sudjelovanje u školi skijanja.

### 13. LITERATURA

1. Alhammoud, M., Hansen, C., Meyer, F., Hautier, C., i Morel, B. (2020). On-Field Ski Kinematic According to Leg and Discipline in Elite Alpine Skiers. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2(56). <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00056>
2. An, K. N., Chao, E.Y. (1984). Kinematic analysis of human movement. *Annals of Biomedical Engineering*, 12(6), 585–597. doi:10.1007/bf02371451
3. Bianchi, G., Brügger, O., i Niemann, S. (2017). Skiing and snowboarding in Switzerland: trends in injury and fatality over time. U I. S. Scher, R. M. Greenwald i N. Petrone (ur.), *Snow Sports Trauma and Safety*, Springer Open 21,29–39
4. Bon, I., Očić, M., Cigrovski, V., Rupčić, T., i Knjaz, D. (2021). What Are Kinematic and Kinetic Differences between Short and Parallel Turn in Alpine Skiing? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3029. doi:10.3390/ijerph18063029
5. Božić, I., Cigrovski, V., Očić, M., Bon, I., i Škovran, M. (2019). The relation between different alpine ski programmes and the level of acquired alpine ski technique. *Sport Science*, 12(2), 141-146
6. Brennan, A., Zhang, J., Deluzio, K., i Li, Q. (2011). Quantification of inertial sensor-based 3D joint angle measurement accuracy using an instrumented gimbal. *Gait & Posture*, 34, 320–323.
7. Brodie, M., Walmsley, A., i Page, W. (2008). Fusion motion capture: A prototype system using inertial measurement units and GPS for the biomechanical analysis of ski racing. *Sports Technology*, 1(1), 17–28. doi:10.1080/19346182.2008.9648447
8. Burtscher, M., Bodner, T., Burtscher, J., Ruedl, G., Kopp, M., i Broessner, G. (2013). Life-style characteristics and cardiovascular risk factors in regular downhill skiers: an observational study. *BMC Public Health*, 13(1). doi:10.1186/1471-2458-13-788.
9. Burtscher, M., Federolf, P.A., Nachbauer, W., i Kopp, M. (2019). Potential health benefits from downhill skiing. *Frontiers in physiology*. 14(9), 1924. 1-12.
10. Burtscher, M., i Ruedl, G. (2015). Favourable Changes of the Risk-Benefit Ratio in Alpine Skiing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6092–6097. doi:10.3390/ijerph120606092
11. Chardonnens, J., Favre, J., Cuendet, F., Gremion, G., i Aminian, K. (2013). A system to measure the kinematics during the entire ski jump sequence using inertial

- sensors. *Journal of Biomechanics*, 46(1), 56–62.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.09.031>
12. Cigrovski, V., Matković, B., Matković, B., i Ivanem, D. (2007). The role of psychological factors in the alpine skiing learning process of the ski beginners. In E. Mueller, S. Lindinger, T. Stoeggl, i V. Fastenbauer (Ur.), *Abstract book of the 4th International Congress on Science and Skiing* (str. 142). St. Christoph a. Arlberg, Austria.
  13. Cigrovski, V. Razlike u distribuciji sile pritiska tijekom izvođenja zavoja na skijama i rolama. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 2021, 36; 38–44.
  14. Cigrovski, V., i Matković, B. (2015). *Skijaška tehnika carving*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
  15. Cigrovski, V., Očić, M., Bon, I., Rupčić, T., i Božić, I. (2020). Does the sequential teaching of elements of alpine ski school follow the increase of pressure beneath the skier's foot? *Acta kinesiologica*, 14, 2; 42-46
  16. Cigrovski, V., Radman, I., Konter, E., Očić, M., i Ružić, L. (2018). Sport Courage, Worry and Fear in Relation to Success of Alpine Ski Learning. *Sports*, 6(3), 96. doi:10.3390/sports6030096
  17. Cigrovski, V., Radman, I., Matković, B., Gurmmet, S. i Podnar, H. (2014). Effects of alpine ski course program on attitudes towards alpine skiing. *Kinesiology*, 46(1), 46-51.
  18. Cigrovski, V., Očić, M., Bon, I., Matković, B., i Šagát, P. (2022). Inline Skating as an Additional Activity for Alpine Skiing: The Role of the Outside Leg in Short Turn Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1747.
  19. Cigrovski, V., Radman, I., i Novak, D. (2013). Influence of basic ski-school in building attitudes toward alpine skiing as a leisure time recreational activity. *International Leisure Review*, 2(4), 177–192. <https://doi.org/10.6298/ILR.2013.2.4>
  20. Cigrovski, V., Matković, B., i Matković, B. (2010). Can we make the alpine ski learning more efficient by omitting the snow-plough technique? *Sportlogia*, 6, 51–57.
  21. Davey, A., Endres, N. K., Johnson, R. J., i Shealy, J. E. (2018). Alpine Skiing Injuries. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 11(1), 18–26. doi:10.1177/1941738118813051

22. Debertin, D., Wachholz, F., Mikut, R., i Federolf, P. (2022). Quantitative downhill skiing technique analysis according to ski instruction curricula: A proof-of-concept study applying principal component analysis on wearable sensor data. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 1003619. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1003619>
23. Dickson, T. J., i Terwiel, F. A. (2021). Injury trends in alpine skiing and a snowboarding over the decade 2008–09 to 2017–18. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(10), 1055–1060. doi:10.1016/j.jsams.2020.12.001
24. Ekeland, A., Holtmoen, A., i Lystad, H. (1993). Lower extremity equipment-related injuries in alpine recreational skiers. *American Journal of Sports Medicine*, 21(2), 201–205. <https://doi.org/10.1177/036354659302100206>
25. Ekeland, A., i Rødven, A. (2005). Injuries in alpine skiing, telemarking, snowboarding and skiboarding related to gender and ability. U R. J. Johnson, J. E. Shealy, i M. G. Ahlbäumer (Ur.), *Skiing Trauma and Safety*, 15, 31–39. West Conshohocken, PA: ASTM STP 1464.
26. Ekeland, A., Rødven, A., i Heir, S. (2018). Injuries among children and adults in alpine skiing and snowboarding. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 1, 3-6. doi:10.1016/j.jsams.2018.07.011
27. Ettlinger, C. F., Johnson, R. J., i Shealy, J. E. (1995). A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *American Journal of Sports Medicine*, 23(4), 531–537. <https://doi.org/10.1177/036354659502300420>
28. Fairburn, P. S., Palmer, R., Whybrow, J., Felden, S., & Jones, S. (2000). A prototype system for testing force platform dynamic performance. *Gait and Posture*, 12(1), 25–33. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(00\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00056-5)
29. Falda-Buscaiot, T., Hintzy, F., Rougier, P., Lacouture, P., i Coulmy, N. (2017). Influence of slope steepness, foot position and turn phase on plantar pressure distribution during giant slalom alpine ski racing. *PLOS ONE*, 12(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176975>
30. Federolf, P. A. (2012). Quantifying instantaneous performance in alpine ski racing. *Journal of Sports Sciences*, 30(10), 1063–1068. doi:10.1080/02640414.2012.690073
31. Federolf, P., Roos, M., Lüthi, A., i Dual, J. (2010 b). Finite element simulation of the ski–snow interaction of an alpine ski in a carved turn. *Sports Engineering*, 12(3), 123–133. doi:10.1007/s12283-010-0038-z

32. Federolf, P., Scheiber, P., Rauscher, E., Schwameder, H., Lüthi, A., Rhyner, H.-U., i Müller, E. (2008). Impact of skier actions on the gliding times in alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(6), 790–797. doi:10.1111/j.1600-0838.2007.00745.x
33. Fong, D. T.-P., Chan, Y.-Y., Hong, Y., Yung, P. S.-H., Fung, K.-Y., i Chan, K.-M. (2008). Estimating the complete ground reaction forces with pressure insoles in walking. *Journal of Biomechanics*, 41(11), 2597–2601. doi:10.1016/j.jbiomech.2008.05.007
34. Gilgien, M., Spörri, J., Chardonens, J., Kröll, J., i Müller, E. (2013). Determination of External Forces in Alpine Skiing Using a Differential Global Navigation Satellite System. *Sensors*, 13(8), 9821–9835.
35. Gilgien, M., Reid, R., Haugen, P., Kipp, R., i Smith, G. (2009). External forces acting in direction of travel and their relation to energy dissipation in slalom. In *Proceedings of the 14th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Oslo, Norway, 13 July 2009.
36. Giraldi, P., Braggion, M., Sacco, G., De Giorgi, F., i Corra, S. (2010). Factors affecting injury severity among recreational skiers and snowboarders: An epidemiology study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 18(12), 1804–1809. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1239-y>
37. Godfrey, A., Conway, R., Meagher, D., i ÓLaighin, G. (2008). Direct measurement of human movement by accelerometry. *Medical Engineering & Physics*, 30(10), 1364–1386. doi:10.1016/j.medengphy.2008.09.005
38. Grigorenko, A. Y., Pliska, E. N., i Sorochenko, G. V. (2018). Application of methods of numerical analysis for studying mechanical processes in biomechanics. *International Applied Mechanics*, 54(3), 366–372. <https://doi.org/10.1007/s10778-018-0886-9>
39. Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2011). *Textbook of Medical Physiology*. PA, USA: Saunders Elsevier.
40. Hall, M. G., Flemming, H. E., Dolan, M. J., Millbank, S. F. D., i Paul, J. P. (1996). Technical note on static in situ calibration of force plates. *Journal of Biomechanics*, 29(5), 659–665. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(95\)00115-8](https://doi.org/10.1016/0021-9290(95)00115-8)
41. Hartmann, U., Mader, A., Niessen, M., Spitzenbfeil, P., i Lehnen, J. (2005). Energy supply mechanisms in alpine ski racing - consequences for testing and training. U

- E. Müller, D. Bacharach, R. Klika, S. Lindinger, & H. Schwameder (Ur.), *Science and Skiing II* (str. 67–75). Oxford: Meyer & Meyer Sport (UK) Ltd.
42. Hébert-Losier, K., & Holmberg, H. C. (2013). What are the exercise-based injury prevention recommendations for recreational alpine skiing and snowboarding? A systematic review. *Sports Medicine*, 43(5), 355–366. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0032-2>
  43. Hébert-Losier, K., Supej, M., & Holmberg, H.-C. (2013). Biomechanical Factors Influencing the Performance of Elite Alpine Ski Racers. *Sports Medicine*, 44(4), 519–533. doi:10.1007/s40279-013-0132-z
  44. Heinrich, D., Mössner, M., Kaps, P., & Nachbauer, W. (2009). Calculation of the contact pressure between ski and snow during a carved turn in Alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(3), 485–492. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00956.x
  45. Hintermeister, R. A., O'Connor, D. D., Lange, G. W., Dillman, C. J., i Steadman, J. R. (1997). Muscle activity in wedge, parallel, and giant slalom skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(4), 548–553. <https://doi.org/10.1097/00005768-199704000-00015>
  46. Horterer, H. (2005). Carving skiing. *Orthopade*, 34 (5), 426-32.
  47. Howe, J. (1983). *Skiing mechanics*. Poudre Publishing.
  48. Jentschura, U., i Fahrbach, F. (2004). Physics of skiing: The ideal–carving equation and its applications. *Canadian Journal of Physics*, 82, 249.
  49. Kaiser, F. (1997). Carven im Vergleich zur Skitechnik des sportlichen Skiläufers (Rennläufers) und des Freizeit- bzw. “Komfort-Skiläufers.” *Sportverletzung · Sportschaden*, 11(04), 126–128. doi:10.1055/s-2007-993381
  50. Keraänen, T., Ihalainen, S., Hynynen, E., i Salo, T. (2010). FIS-ranking and carving turn force production profile. U 5th International Congress on Science and Skiing, Salzburg.
  51. Kim, J. N., Kim, J. H., Ryu, J., Yoon, S., i Park, S. K. (2016). Comparison of three-dimensional kinematic changes of the lower extremity between the two different braking distances of snowplow in alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 26(4), 361-367.
  52. Kim, J. N., Yoo, S. H., Ha, S. H., Kim, J. H., Ryu, J. S., Park, S. K., & Yoon, S. H. (2014). Comparisons of foot pressure patterns between experienced skiers and

- intermediate skiers during alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(1), 19–26. <https://doi.org/10.5103/KJSB.2014.24.1.19>
53. Kim, J. H., i Kim, J. N. (2017). Comparison of skiing time and vertical ground reaction force between the short turn and basic parallel turn during alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 27, 257–262. <https://doi.org/10.5103/KJSB.2017.27.4.257>
  54. Klous, M., Müller, E., i Schwameder, H. (2012). Three-Dimensional Knee Joint Loading in Alpine Skiing: A Comparison between a Carved and a Skidded Turn. *Journal of Applied Biomechanics*, 28(6), 655–664. doi:10.1123/jab.28.6.655
  55. Kolb, N. A., Trevino, C. R., Waheed, W., Sobhani, F., Landry, K. K., Thomas, A. A., i Hehir, M. (2018). Neuromuscular complications of immune checkpoint inhibitor therapy. *Muscle & Nerve*, 58(1), 10–22. doi:10.1002/mus.26070
  56. Komissarov, S. S. (2020). Balanced carving turns in alpine skiing. *Sports Biomechanics*, 22(9), 1209–1242. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1795236>
  57. Kröll, J., Spörri, J., Kandler, C., Fasel, B., Müller, E., i Schwameder, H. (2015). Kinetic and Kinematic Comparison of Alpine Ski Racing Disciplines as a Base for Specific Conditioning Regimes. U Proceedings of the 33rd International Conference of Biomechanics in Sports. International Society of Biomechanics in Sports.
  58. Kröll, J., Schiefermüller, C., Birklbauer, J., i Müller, E. (2005). In-line skating as dry land modality for slalom racers—electromyographic and dynamic similarities and differences. U E. Müller, D. Bacharach, R. Klika, S. Lindinger, i H. Schwameder (Ur.), Proceedings of the 3rd International Congress “Science and Skiing” (str. 76–86). Oxford/London: Mayer & Meyer Sport.
  59. Kröll, J., Wakeling, J. M., Seifert, J. G., i Müller, E. (2010). Quadriceps muscle function during recreational alpine skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(7), 1545–1556. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d74be9>
  60. Krüger, A., i Edelmann-Nusser, J. (2010). Application of a Full Body Inertial Measurement System in Alpine Skiing: A Comparison with an Optical Video Based System. *Journal of Applied Biomechanics*, 26(4), 516–521. doi:10.1123/jab.26.4.516
  61. Lafontaine, D., Lamontagne, M., Dupuis, D., i Diallo, B. (1998). Analysis of the distribution of pressure under the feet of elite alpine ski instructors. U Proceedings of the 16th International Symposium on Biomechanics in Sports, Konstanz, Germany, 21–25 July 1998.

62. Lamontagne, M. (2001). Plantar pressure distribution and forces measured during slalom and giant slalom turns performed by elite skiers. U Proceedings of the 19th International Symposium on Biomechanics in Sports (str. 211–214). San Francisco.
63. Lebel, K., Boissy, P., Nguyen, H., i Duval, C. (2017). Inertial measurement systems for segments and joints kinematics assessment: Towards an understanding of the variations in sensors accuracy. *BioMedical Engineering OnLine*, 16(56). <https://doi.org/10.1186/s12938-017-0347-6>
64. Lee, H. V., Shin, S., Bunds, K., Kim, S. M., i Cho, K. M. (2014). Rediscovering the positive psychology of sport participation: Happiness in a ski resort context. *Applied Research in Quality of Life*, 9(3), 575–590. <https://doi.org/10.1007/s11482-013-9255-z>
65. LeMaster, R. (1999). *The Skier's Edge*. Champaign, IL: Human Kinetics.
66. LeMaster, R. (2009). Applications of physics education research to skiing pedagogy for coaches and instructors. U E. Müller, S. Lindinger, i T. Stöggl (Ur.), *Science and Skiing IV* (str. 347–356). Meyer & Meyer Sport.
67. LeMaster, R. (2010). *Ultimate skiing*. Champaign: Human Kinetics.
68. LeMaster, R., i Supej, M. (2015). Systematic use of the inside ski in carved turns. U E. Müller, J. Kröll, S. Lindinger, J. Pfusterschmied, & T. Stöggl (Ur.), *Proceedings of the 6th International Congress Science and Skiing*, Arlberg, Austria, 14–19 December 2013 (str. 196–199). London: Meyer & Meyer Sport.
69. Lešnik, B., i Žvan, M. (2007). The best slalom competitors: Kinematic analysis of tracks and velocities. *Kinesiology*, 39(1), 40–48.
70. Lešnik, B., i Žvan, M. (2010). *A turn to move on: Theory and methodology of alpine skiing*. Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Sport.
71. Lewandowski, K. (2006). The influence of the infrastructure of selected ski resorts on the course of curricular training of students. *Research Yearbook*, 12(2), 243–247.
72. Lieu, D. K., i Mote, C. D. (1985). Mechanics of the turning snow ski. U R. J. Johnson i C. D. Mote (Ur.), *Skiing Trauma and Safety: Fifth International Symposium* (str. 117–140). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
73. Lind, D., i Sanders, S. (1996). *The physics of skiing: Skiing at the triple point*. Springer-Verlag.
74. Loland, S. (2009). Alpine skiing technique – practical knowledge and scientific analysis. U E. Müller, S. Lindinger, i T. Stöggl (Ur.), *Proceedings of the 4th*

- International Congress Science and Skiing (str. 43–58). St. Christoph, Arlberg: University of Salzburg, Department of Sport Science and Kinesiology.
75. Lüthi, A., Federolf, P., Fauve, M., Oberhofer, K., Rhyner, H., Amman, W., Stricker, G., Schiefermüller, C., Eitzlmair, E., Schwameder, H., i sur. (2004). Determination of forces in carving using three independent methods. U Proceedings of the 3rd International Congress on Science and Skiing, St. Cloud State University, Aspen, CO, USA, 28 March 2004.
  76. Malliou, P., Amoutzas, K., Theodosiou, A., Gioftsidou, A., Mantis, K., Pylianidis, T., i Kioumourtzoglou, E. (2004). Proprioceptive training for learning downhill skiing. *Perceptual and Motor Skills*, 99(1), 149–154.
  77. Márquez, B. Y., Palencia, J. S. M., Arévalo, D. Á., Vargas, A. R., i Castillo, J. D. (2018). Development and biomechanical analysis through inertial sensors for human motion. U Proceedings of the 2018 International Conference on Algorithms, Computing and Artificial Intelligence - ACAI 2018. <https://doi.org/10.1145/3302425.3302453>
  78. Martínez, A., Nakazato, K., Scheiber, P., Snyder, C., i Stöggl, T. (2020). Comparison of the turn switch time points measured by portable force platforms and pressure insoles. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00002>
  79. Martínez, J. C., Gómez-López, P. J., Femia, P., Mayorga-Vega, D., i Vicianá, J. (2016). Effect of augmented verbal and visual feedback on efficiency in skiing teaching. *Kinesiology*, 48(1), 49–57. doi:10.26582/k.48.1.12
  80. Matsumura, S., Ohta, K., Yamamoto, S.-i., Koike, Y., i Kimura, T. (2021). Comfortable and convenient turning skill assessment for alpine skiers using IMU and plantar pressure distribution sensors. *Sensors*, 21(834). <https://doi.org/10.3390/s21030834>
  81. McGraw Hill. (2019). Kinetic concepts for analyzing human motion. U S. J. Hall (Ur.), *Basic Biomechanics* (8. izd.). McGraw Hill.
  82. Mišigoj-Duraković, M. (2008). *Kinantropologija: biološki aspekti tjelesnog vježbanja*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
  83. Müller, E. (1994). Analysis of the biomechanical characteristics of different swinging techniques in alpine skiing. *Journal of Sports Sciences*, 12(3), 261–278. doi:10.1080/02640419408732172

84. Müller, E., Bartlett, R., Raschner, C., Schwameder, H., Benko-Bernwick, U., i Lindinger, S. (1998). Comparisons of the ski turn techniques of experienced and intermediate skiers. *Journal of Sports Sciences*, 16(6), 545–559. doi:10.1080/026404198366515
85. Müller, E., Klous, M., i Wagner, W. (2009). Biomechanical aspects of alpine skiing. U E. Müller, S. Lindinger, i T. Stöggl (Ur.), *Science and Skiing IV: Proceedings of the Fourth International Congress on Science and Skiing*, December 2007, St. Christoph am Arlberg, Austria (str. 65–75). Oxford: Meyer & Meyer Sport.
86. Müller, E., Schiefermüller, C., Kroll, J., i Schwameder, H. (2005). Skiing with carving skis—what is new? U E. Müller, D. Bacharach, R. Klika, S. Lindinger, i H. Schwameder (Ur.), *Science and Skiing* (str. 15–23). Oxford: Meyer & Meyer Sport.
87. Müller, E., i Schwameder, H. (2003). Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping. *Journal of Sports Sciences*, 21, 679–692.
88. Murovec, S. (2006). On the edge!: UPS-learning skiing by ski lengthening [Na kanto!: UPS – učenje s podaljševanjem smuči]. Kranj: Format Kranj.
89. Nakazato, K., Scheiber, P., i Müller, E. (2011). A comparison of ground reaction forces determined by portable force-plate and pressure-insole systems in alpine skiing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(4), 754–762. <https://doi.org/10.1186/1745-0153-10-754>.
90. Natri, A., Beynnon, B. D., Ettlinger, C. F., Johnson, R. J., i Shealy, J. E. (1999). Alpine ski bindings and injuries. *Sports Medicine*, 28(1), 35–48. <https://doi.org/10.2165/00007256-199928010-00004>
91. Neuwirth, C., Snyder, C., Kremser, W., Brunauer, R., Holzer, H., i Stöggl, T. (2020). Classification of Alpine Skiing Styles Using GNSS and Inertial Measurement Units. *Sensors*, 20(15), 4232. doi:10.3390/s20154232
92. Niessen, W., i Müller, E. (1999). Carving – biomechanische Aspekte zur Verwendung stark taillierter Skier und erhöhter Standflächen im alpinen Skisport. *Leistungssport*, 29(1), 39–44.
93. Nigg, B. M. (2006). Pressure distribution. In B. M. Nigg & W. Herzog (Eds.), *Biomechanics of the musculoskeletal system* (pp. 123-145). Wiley Publishers.
94. Payton, C. J., i Burden, A. (Ur.). (2017). *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise: The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide* (2. izd.). Routledge.

95. Raschner, C., Schiefermüller, C., Zallinger, G., Hofer, E., Brunner, F., i Müller, E. (2001). Carving turns versus traditional parallel turns: A comparative biomechanical analysis. U E. Müller, H. Schwameder, C. Raschner, S. Lindinger, i E. Kornexl (Ur.), *Science and skiing II* (str. 203–217). Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
96. Reid, R. (2010). A kinematic and kinetic study of alpine skiing technique in slalom (PhD dissertation). Norwegian School of Sport Sciences.
97. Reid, R. C., Haugen, P., Gilgien, M., Kipp, R. W., i Smith, G. A. (2020). Alpine Ski Motion Characteristics in Slalom. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2. doi:10.3389/fspor.2020.00025
98. Renshaw, A. A., i Mote, C. D. (1989). A model for the turning snow ski. *International Journal of Mechanical Sciences*, 31(10), 721–736. [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(89\)90040-4](https://doi.org/10.1016/0020-7403(89)90040-4)
99. Ropret, R. (2010). The application of rollerblades in alpine skiers training. *Physical Culture*, 64(1), 72–78.
100. Sahashi, T., i Ichino, S. (2001). Carving-turn and edging angle of skis. *Sports Engineering*, 4(3), 135–145. doi:10.1046/j.1460-2687.2001.00079.x
101. Schöllhorn, W. I., Hurth, P., Kortmann, T., i Müller, E. (2010). Biomechanical basics for differential learning in alpine skiing. U E. Müller, S. Lindinger, i T. Stöggl (Ur.), *Proceedings of the 4th International Congress Science and Skiing* (str. 455–464). Department of Sport Science and Kinesiology, University of Salzburg.
102. Shealy, J. E., Ettlinger, C. F., Scher, I., i Johnson, R. (2015). 2010/2011 NSAA 10-year interval injury study. U R. J. Johnson, J. E. Shealy, i R. M. Greenwald (Ur.), *Skiing Trauma and Safety* (Vol. 20, str. 93–111). West Conshohocken: ASTM STP 1582.
103. Spörri, J., Kröll, J., Gilgien, M., i Müller, E. (2016). Sidecut radius and the mechanics of turning equipment designed to reduce risk of severe traumatic knee injuries in alpine giant slalom ski racing. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 14–19.
104. Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., i Müller, E. (2012). Turn Characteristics of a Top World Class Athlete in Giant Slalom: A Case Study Assessing Current Performance Prediction Concepts. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 7(4), 647–659. doi:10.1260/1747-9541.7.4.647
105. Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., Schiefermüller, C., i Müller, E. (2012). Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski

- racing: an explorative case study. *British Journal of Sports Medicine*, 46(15), 1072–1077. doi:10.1136/bjsports-2012-091425
106. Spörri, J., Müller, E., i Kröll, J. (2022). "When you're down, stay down": A lesson for all competitive alpine skiers supported by an ACL rupture measured in vivo. *Journal of sport and health science*, 11(1), 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.11.004>
  107. Sprager, S., i Juric, M.B. (2015). Inertial sensor-based gait recognition: a review. *Sensors (Basel)*, 15, 22089–22127.
  108. Staniszewski, M., Zybko, P., i Wiszomirska, I. (2016). Influence of a nine-day alpine ski training programme on the postural stability of people with different levels of skills. *Biomedical Human Kinetics* 8(1), 24-31.
  109. Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M. i Heneghan, J.M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 43–54.
  110. Stricker, G., Scheiber, P., Lindenhofer, E., i Müller, E. (2010). Determination of forces in alpine skiing and snowboarding: Validation of a mobile data acquisition system. *European Journal of Sport Science*, 10(1), 31-41.
  111. Sulheim, S., Holme, I., Rodven, A., Ekeland, A., i Bahr, R. (2011). Risk factors for injuries in alpine skiing, telemark skiing and snowboarding - case-control study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(16), 1303–1309. doi:10.1136/bjsports-2011-090407
  112. Supej, M., i Cernigoj, M. (2006). Relations between different technical and tactical approaches and overall time at men's world cup giant slalom races. *Kinesiology Slovenia*, 12(2), 59–68.
  113. Supej, M., Hébert-Losier, K., i Holmberg, H.C. (2015). Impact of the steepness of the slope on the biomechanics of World Cup slalom skiers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(3), 361–368. doi: 10.1123/ijsp.2014-0200
  114. Supej, M., i Holmberg, H-C. (2011). A new time measurement method using a high-end global navigation satellite system to analyze alpine skiing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(3), 400–411.
  115. Supej, M., Kipp, R., i Holmberg, H-C. (2010). Mechanical parameters as predictors of performance in alpine World Cup slalom racing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), e72–e81.

116. Supej, M. (2008). Differential specific mechanical energy as a quality parameter in racing alpine skiing. *Journal of Applied Biomechanics*, 24(2), 121–129.
117. Supej, M. (2010). 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system. *Journal of Sports Sciences*, 28, 759–769. <https://doi.org/10.1080/02640411003716934>
118. Supej, M., Kalén, A., Verdel, N., Ogrin, J., i Holmberg, H. C. (2023). The Contribution of Ski Poles to Aerodynamic Drag in Alpine Skiing. *Applied Sciences*, 13(14), 8152.
119. Supej, M., SaeTRAN, L., Oggiano, L., Ettema, G., Šarabon, N., Nemec, B., i Holmberg, H. C. (2012). Aerodynamic drag is not the major determinant of performance during giant slalom skiing at the elite level. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(1), 38–47. doi:10.1111/sms.12007
120. Supej, M.; Ogrin, J.; Šarabon, N.; Holmberg, H.-C. (2020). Asymmetries in the technique and ground reaction forces of elite alpine skiers influence their slalom performance. *Applied Sciences*, 10, 72–88.
121. Tada, N., i Hirano, Y. (2002). In search of the mechanics of a turning alpine ski using snow cutting force measurements. *Sports Engineering*, 15–22. doi: 10.1046/j.1460-2687.2002.00092.x
122. Takahashi, M., i Yoneyama, T. (2001). Basic ski theory and acceleration during ski turn. U E. Müller, S. Lindinger, i T. Stöggl (Ur.), *Proceedings of the 2nd International Congress Science and Skiing*, 14–19 January 2000, St. Christoph am Arlberg, University of Salzburg, Department of Sport Science and Kinesiology, str. 307–321.
123. Thorwartl, C., Tschupp, A., Lasshofer, M., Holzer, H., Zirkl, M., Hammer, M., Stadlober, B., i Stöggl, T. (2023). Technique-dependent relationship between local ski bending curvature, roll angle and radial force in alpine skiing. *Sensors*, 23(8), 3997. <https://doi.org/10.3390/s23083997>
124. Turker, H., i Sze, H. (2013). Surface Electromyography in Sports and Exercise. *Electrodiagnosis in New Frontiers of Clinical Research*. doi:10.5772/56167
125. Turnbull, J. R., Kilding, A. E., i Keogh, J. W. L. (2009). Physiology of alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(2), 146–155. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00901.x
126. Vaverka, F., i Vodickova, S. (2010). Laterality of the lower limbs and carving turn. *Biology of Sport*, 27, 129–134.

127. Vaverka, F., Vodickova, S., i Elfmark, M. (2012). Kinetic Analysis of Ski Turns Based on Measured Ground Reaction Forces. *Journal of Applied Biomechanics*, 28(1), 41–47. doi:10.1123/jab.28.1.41
128. Wallner, B., Rugg, C., Paal, P. i Ströhle, M. (2022). Collisions with another person while skiing and snowboarding: A 13-year national registry analysis. *Injury*, 53(7), 2485-2492.
129. Watanabe, K., i Ohtsuki, T. (1977). Postural changes and aerodynamic forces in alpine skiing. *Ergonomics*, 20(2), 121–131.
130. Whiting, J. T. (2011). *Teaching Beginners to Ski*. Lulu. com.
131. Wojtyczek, B., Paśławska, M., i Raschner, C. (2014). Changes in the balance performance of polish recreational skiers after seven days of alpine skiing. *Journal of Human Kinetics*, 44, 29-40.
132. Yoneyama, T., Kitade, M., i Osada, K. (2010). Investigation on the ski-snow interaction in a carved turn based on the actual measurement. *Procedia Engineering*, 2, 2901–2906. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.03.317>
133. Yoneyama, K., Kagawa, T., Okamoto, K., i Sawada, T. (2000). Joint motion and reacting forces in the carving ski turn compared with the conventional ski turn. *Sports Engineering*, 3(3), 161–176. <https://doi.org/10.1046/j.1460-2687.2000.00060.x>
134. Yoneyama, T., Scott, N., Kagawa, H., i Osada, K. (2008). Ski deflection measurement during skiing and estimation of ski direction and edge angle. *Sports Engineering*, 11(1), 3–13. doi:10.1007/s12283-008-0001-4
135. Zatsiorsky, V. M. (1998). *Kinematics of human motion*. Champaign, IL: Human Kinetics.
136. Zatsiorsky, V. M. (2002). *Kinetics of Human Motion*. Human Kinetics.
137. Zorko, M., Nemec, B., Babič, J., Lešnik, B., & Supej, M. (2015). The waist width of skis influences the kinematics of the knee joint in alpine skiing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(3), 606–619. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26336348>

## **14. ŽIVOTOPIS AUTORA I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA**

### **ŽIVOTOPIS AUTORA**

Ivan Bon rođen je 24.7.1992. godine u Rijeci. Osnovnu školu i Opću gimnaziju (Prva sušačka hrvatska gimnazija) završio je u Rijeci. Kineziološki fakultet na Sveučilištu u Zagrebu upisuje 2011. godine gdje je 25. travnja 2017. godine diplomirao pod mentorstvom izv.prof.dr.sc. Vjekoslava Cigrovskog. Poslijediplomski doktorski studij kineziologije na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu upisuje 2017. godine.

Tijekom studiranja, dobitnik je sveučilišne stipendije za izvrsnost 2 godine zaredom. Uz studij radio je kao kondicijski i skijaški trener sa mlađim dobnim kategorijama u klubu. Dosad je aktivno sudjelovao na brojnim seminarima, radionicama i konferencijama iz područja kineziologije, kao i u provođenju niza projekata i istraživanja na Kineziološkom fakultetu. Do danas je autor ili koautor stručnih i znanstvenih radova s temama vezanim za dijagnostiku treniranosti i izvedbe sportaša, kondicijsku pripremu sportaša, radova vezanih uz utjecaj tjelesne aktivnosti na populaciju rekreativaca, biomehaničku analizu iz niza različitih sportova, a ponajviše alpskog skijanja.

Kao suradnik na projektu radi na Kineziološkom fakultetu od 2018. do 2021. godine, a od 2023. godine zaposlen je kao asistent na predmetu Skijanje na Kineziološkom fakultetu.

## POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

Temeljem pregleda aktivnosti autorice Mateje Očić u pregledniku CRORIS (Hrvatska znanstvena bibliografija) zavedeno je ukupno 57 radova, od kojih je 16 radova u časopisima, 25 radova objavljeno je u zbornicima skupova, ukupno je zavedeno 16 sažetaka sa skupova te su zabilježena 2 poglavlja u knjigama.

U nastavku slijedi popis radova objavljenih u časopisima, poredano od najnovijih prema najstarijim.

1. Svoboda, I., **Bon, I.**, Rupčić, T., Cigrovski, V. i Đurković, T. (2024). Defining the Quantitative Criteria for Two Basketball Shooting Techniques. *Applied Sciences*, 14(11), 4460-4472.
2. Očić, M., **Bon, I.**, Ružić, L., Cigrovski, V. i Rupčić, T. (2023). The influence of protective headgear on the peripheral vision reaction time of recreational-level skiers. *Applied Sciences*, 13, 1-11.
3. Segin, J., Cigrovski, V., **Bon, I.**, Očić, M., Božić, I. i Rupčić, T. (2023). Well-chosen ski equipment correlates with the acquisition of ski skills in alpine ski beginners. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 38(1), 54-59.
4. Očić, M., **Bon, I.**, Ružić, L., Cigrovski, V. i Rupčić, T. (2023). The influence of protective headgear on the peripheral vision reaction time of recreational-level skiers. *Applied Sciences*, 13(9), p. 5459.
5. Dukarić, V., Očić, M., **Bon, I.**, Rupčić, T. i Knjaz, D. (2022). Changes of impact force during performance of straight punch with two boxing techniques – Case study. *Studia Sportiva*, 16(2), 7-14.
6. Očić, M., **Bon, I.**, Ružić, L., Cigrovski, V. i Rupčić, T. (2022). The influence of protective headgear on the visual field of recreational-level skiers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), 10626.
7. Cigrovski, V., Očić, M., **Bon, I.**, Matković, B. i Šagát, P. (2022). Inline skating as an additional activity for alpine skiing: The role of the outside leg in short turn performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1747.

8. **Bon, I.**, Očić, M., Cigrovski, V., Rupčić, T. i Knjaz, D. (2021). What are kinematic and kinetic differences between short and parallel turn in alpine skiing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3029.
9. Škovran, M., Cigrovski, V., Čuljak, K., **Bon, I.** i Očić, M. (2020). Razina tjelesne aktivnosti i dnevno sjedenje: čimbenici sedentarnog načina života kod mladih. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 35(1-2), 74-80.
10. Cigrovski, V., Očić, M., **Bon, I.**, Rupčić, T. i Božić, I. (2020). Does the sequential teaching of elements of alpine ski school follow the increase of pressure beneath the skier's foot. *Acta Kinesiologica*, 14(2), 42-46.
11. Cigrovski, V., Rupčić, T., **Bon, I.**, Očić, M. i Krističević, T. (2020). How can Xsens kinematic suit add to our understanding of a slalom turn: A case study in laboratory and field conditions. *Kinesiology: International Journal of Fundamental and Applied Kinesiology*, 52(2), 187-195.
12. Cigrovski, V., Bon, I., **Očić, M.**, Božić, I. i Škovran, M. (2020). Methods of Implementation of an Alpine Skiing School. *SportLogia*, 16(1), 41-47.
13. Cigrovski, V., Škovran, M., **Bon, I.**, Očić, M. i Basara, R. (2019). Razina zadovoljstva magistara kineziologije studijskim programom izbornog smjera skijanje. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 34(2), 90-95.
14. Božić, I., Cigrovski, V., Očić, M., **Bon, I.** i Škovran, M. (2019). The relation between different alpine ski programmes and the level of acquired alpine ski technique. *Sport Science: International Scientific Journal of Kinesiology*, 12(2), 141-146.
15. Cigrovski, V., Franjko, I., **Bon, I.**, Očić, M. i Božić, I. (2018). Recreational level alpine skiing and balance-a causative relationship. *Acta Kinesiologica*, 12(2), 67-71.
16. Očić, M., **Bon, I.** i Pavičić Vukičević, J. (2018). Utjecaj različitih programa vježbanja na morfološke i motoričke promjene prethodno tjelesno neaktivnih osoba ženskog spola. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 33(2), 81-87.