Prijedlog konstrukcijskog rješenja za smanjenje rizika nastajanja skijaških ozljeda

Cicvarić, Jure Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:702581

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Jure Josip Cicvarić

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: Student:

Izv,prof.dr. sc. Aleksandar Sušić, dipl. Ing. Jure Josip Cicvarić

Zagreb, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Jure Josip Cicvarić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3	
Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Jure Josip Cicvarić** Mat. br.: 0035190697

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Prijedlog konstrukcijskog rješenja za smanjenje rizika nastajanja skijaških ozljeda**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Device design proposal for reducing the risk of skiing injuries**

Opis zadatka:

Skijaške ozljede vrlo su učestala pojava neovisno o stupnju vještine skijaša, psihofizičke pripremljenosti kao i drugim okolnostima, te se njihova etiologija može razvrstavati na razne načine. Unatoč razvoju i unaprjeđenju skijaške opreme, ozljede su još uvijek učestala pojava, koja vrlo često rezultira skupim medicinskim zahvatima. Obzirom na rečeno, svako konstrukcijsko poboljšanje ili novo konstrukcijsko rješenje koje će ostvariti doprinos prevenciji ozljeda i sigurnosti skijaša naći će svoje mjesto na tržištu.
Cilj rada je izraditi prijedlog konstrukcijskog rješenja za smanjenje rizika nastajanja skijaških ozljeda koji će omogućiti nova, bolja korisnička iskustva, uz ako je moguće, ostvarivanje boljih sigurnosnih karakteristika u odnosu na postojeću skijašku opremu.

U radu je potrebno:
- temeljem analize skijaških pokreta i rizičnih uvjeta iskazati željene konstrukcijske i sigurnosne zahtjeve;
- provesti analizu dostupnih uređaja na tržištu, pregled značajnih patenata i uočiti prednosti i nedostatke;
- temeljem spoznaja iz prijašnjih točaka utvrditi ciljanu populaciju korisnika, uvjete i ograničenja primjene kao i željene mogućnosti konstrukcijskog rješenja, te definirati konstrukcijske i funkcionalne zahtjeve;
- utvrditi nužne ergonomske kriterije za vrednovanje prijedloga konstrukcijskog rješenja;
- provesti konstrukcijsku razradu i prikazati prijedlog konstrukcijskog rješenja;
- izraditi CAD model predloženog konstrukcijskog rješenja te diskutirati njegovu funkcionalnost;
- istaknuti i diskutirati sve ostvarene prednosti te očekivanu tržišnu konkurentnost predloženog konstrukcijskog rješenja.

Opseg razrade problematike, računalnog modeliranja i izrade dokumentacije razvoja proizvoda dogovoriti tijekom izrade rada. Svu dokumentaciju izraditi pomoću računala. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
5. ožujka 2020.	7. svibnja 2020.	11. – 15.5.2020.

Zadatak zadao: Predsjednica Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Aleksandar Sušić Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA II
POPIS TABLICA III
POPIS OZNAKA IV
SAŽETAK V
SUMMARY VI
1. UVOD 1
2. BIOMEHANIKA SKIJAŠKOG ZAVOJA 6
2.1. Pokreti skijaša u sagitalnoj, frontalnoj i transverzalnoj ravnini 6
2.2. Kritični trenutak 7
2.3. Analiza promjene kuta između femura i tibije u izvođenju skijaškog zavoja uz programski paket Kinovea 10
2.3.1. Kut između femura i tibije u sagitalnoj ravnini – vanjska noga 10
2.3.2. Kut između femura i tibije u sagitalnoj ravnini – unutarnja noga 12
2.3.3. Zaključak 14
2.4. Sile i momenti u skijanju 14
3. ANALIZA TRŽIŠTA I PREGLED INTELEKTUALNOG VLASNIŠTVA 19
3.1. Postojeći proizvodi na tržištu 19
3.1.1. ROAM Elevate egzoskeleton 19
3.1.2. Againer egzoskeleton 21
3.1.3. Ski-mojo egzoskeleton 23
3.1.4. Usporedba dostupnih egzoskeleta namijenjenih skijanju 25
3.2. Pregled intelektualnog vlasništva 27
4. DEFINICIJA CILJA I KONSTRUKCIJSKI ZAHTJEVI 30
4.1. Definicija cilja 30
4.2. Konstrukcijski zahtjevi 31
5. FUNKCIJSKA STRUKTURA I MODEL RELACIJA 32
6. MORFOLOŠKA MATRICA 34
7. GENERIRANJE I ODABIR KONCEPATA 41
7.1. Koncept 1 41
7.2. Koncept 2 42
7.3. Vrednovanje koncepata 44
7.4. Razrada koncepta 2 46
8. ZAKLJUČAK 49
LITERATURA 51

POPIS SLIKA

Slika 1. Postotak pojedinih ozljeda nogu skijaša kroz godine u ovisnosti o razvoju skijaških vezova [4] 1
Slika 2. Unutarnji i vanjski faktori rizika [1] 3
Slika 3. Kretanje u sagitalnoj ravnini [6] 6
Slika 4. Kretanje u frontalnoj ravnini [6] 7
Slika 5. Kretanje u transferzalnoj ravnini [6] 7
Slika 6. Kritični trenutak i težište tijela [6] 8
Slika 7. Kut između središnje osi tijela i podloge između kritičnih trenutaka u frontalnoj ravnini [7] 9
Slika 8. Razlika u kutovima između femura i tibije na vanjskoj i unutarnjoj nozi u sredini zavoja [6] 9
Slika 9. Kut između femura i tibije na vanjskoj nozi u kritičnom trenutku 11
Slika 10. Kut između femura i tibije na vanjskoj nozi u sredini zavoja 12
Slika 11. Kut između femura i tibije na unutarnjoj nozi u kritičnom trenutku 13
Slika 12. Kut između femura i tibije na unutarnjoj nozi u sredini zavoja 14
Slika 13. Sile na skijaša u sagitalnoj ravnini [8] 15
Slika 14. Sile na skijaša prilikom izvođenja zavoja u frontalnoj ravnini [9] 15
Slika 15. Raspodjela sile reakcije snijega na skiju u skijaškom zavoju [10] 16
Slika 16. Raspodjela sile reakcije snijega na prednji i zadnji dio skije u skijaškom zavoju [10] 17
Slika 17. Slip-catch mehanizam ozljede u skijanju [11] 18
Slika 18. ROAM Elevate egzoskeleton [12] 19
Slika 19. Prihvat egzoskeletona na kvadriceps i pancericu [12] 20
Slika 20. ROAM Elevate egzoskeleton [12] 20
Slika 21. Againer egzoskeleton [13] 21
Slika 22. Podešavanje Againer egzoskeletona [13] 22
Slika 23. Postavljanje Againer uređaja na pancericu [13] 23
Slika 24. Ski-mojo egzoskeleton [14] 24
Slika 25. Postavljanje Ski-mojo egzoskeletona na pancericu [14] 25
Slika 26. Patent US8171570B2 [11] 28
Slika 27. Funkcijska struktura 32
Slika 28. Model relacija 33
Slika 29. Koncept 1 41
Slika 30. Koncept 2 43
Slika 31. Koncept 2 46
Slika 32. Presjek B-B 47
Slika 33. Presjek D-D 47
Slika 34. Način spajanja uređaja na pancericu 48
Slika 35. Način spajanja plinskih prigušivača 48

POPIS TABLICA

Tablica 1 Kutovi između femura i tibije na vanjskoj nozi u trenutku izvođenja zavoja 11
Tablica 2 Kutovi između femura i tibije na unutarnjoj nozi u trenutku izvođenja zavoja 13
Tablica 3 Usporedba dostupnih egzoskeleta 26
Tablica 4 Definicija cilja 30
Tablica 5 Vrednovanje koncepata 45

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
F_C	N	Centripetalna sila
F_D	N	Sila aerodinamičkog otpora
F_L	N	Sila aerodinamičkog podizanja
F_{LAT}	N	Lateralna sila
F_N	N	Normalna sila
F_p	N	Sila udaranja prednjeg dijela skije u snijeg
F_R	N	Rezultantna sila
F_r	N	Suma sila reakcije snijega na skiju
F_{rp}	N	Suma sila reakcije snijega na prednji dio skije
F_{rz}	N	Suma sila reakcije snijega na zadnji dio skije
F_s	N	Gravitacijska sila paralelna s površinom
F_t	N	Sila trenja
M_p	Nmm	Moment koji proizvodi prednji dio skije
M_{rz}	Nmm	Moment koji proizvodi suma reakcije snijega na zadnji dio skije
M_z	Nmm	Moment koji proizvodi zadnji dio skije
s_p	mm	Udaljenost hvatišta sile reakcije na prednji dio skije
s_z	mm	Udaljenost hvatišta sile reakcije na zadnji dio skije
T	N	Težina
w	N/mm	Raspodjela sile reakcije snijega na skiju
w_p	N/mm	Raspodjela sile reakcije snijega na prednji dio skije
w_z	N/mm	Raspodjela sile reakcije snijega na zadnji dio skije

SAŽETAK

Cilj ovog rada jest prijedlog konstrukcijskog rješenja čija je zadaća smanjiti rizik nastajanja skijaških ozljeda. U uvodu se opisuje skijanje kao iznimno kompliciran, složen i zahtjevan način kretanja s velikim rizikom od nezgoda, padova i ozljeda. Nadalje, prikazana je biomehanika skijaškog zavoja. Prikazani su pokreti skijaša u sagitalnoj, frontalnoj i transferzalnoj ravnini te je definiran kritičan trenutak koji se događa između dva zavoja i označuje trenutak u kojem dolazi do promjene opterećenja s jedne vanjske noge skijaša na drugu vanjsku nogu skijaša. Uz pomoć programskog paketa Kinovea, napravljena je analiza promjene kuta između potkoljenice i natkoljenice na vanjskoj i unutarnjoj nozi tokom izvođenja skijaškog zavoja. Utvrđeno je da kut između potkoljenice i natkoljenice vanjske noge raste od kritičnog trenutka do sredine zavoja, a kut između potkoljenice i natkoljenice unutarnje noge opada od kritičnog trenutka do sredine zavoja. Završetak biomehaničke analize prikazuje sile i momente koji opterećuju skijaša tijekom izvođenja zavoja te definira rizične situacije koje mogu uzrokovati nastajanje ozljede. U nastavku su prikazani uređaji dostupni na tržištu i njihove prednosti i nedostaci, te jedini relevantni patent za ovo područje primjene. Predstavljena je definicija cilja i konstrukcijski zahtjevi za prijedlog konstrukcije. Kao glavni zahtjevi ističu se antropometrijsko prilagođavanje konstrukcije korisniku i sprječavanje kuta torzije potkoljenice u odnosu na natkoljenicu većeg od 4º. Definirana je funkcijska struktura s modelom relacija iz kojih je dalje formirana morfološka matrica za generiranje koncepata. Koncept 1 se može dobro antropometrijski prilagoditi korisniku, te zbog svojeg oblika sprječava prekomjerni kut torzije potkoljenice u odnosu na natkoljenicu. Težina skijaša smanjuje se uz pomoć plinskog prigušivača. Koncept 2 je izrađen na principu steznika te se kao takav u potpunosti prilagođava antropometrijskim mjerama korisnika. Sprječava prekomjerni kut torzije potkoljenice uz pomoć plinskih prigušivača, a opruge služe za smanjivanje težine korisnika. Vrednovanjem koncepata, zbog veće konačne ocjene detaljnije se prikazuje koncept 2.

Ključne riječi: Skijanje, biomehanika, skijaške ozljede, prijedlog konstrukcije za smanjenje rizika nastajanja skijaških ozljeda

SUMMARY

The goal of this paper is to propose a device design whose main purpose is to reduce the risk of ski injuries. Introduction describes skiing as an extremely complicated, complex and demanding style of moving with a high risk of accidents, falls and injuries. Furthermore, the biomechanics of the ski turn is presented. The movements of the skiers in the sagittal, frontal and transferal planes are shown and a critical moment that occurs between the two turns and indicates the moment when the load transfers from one outer leg of the skier to the other outer leg of the skier is defined. With the help of the Kinovea software package, an analysis of the change of angle between the lower leg and the upper leg on the outer and inner legs during the ski turn was made. It has been found that the angle between the lower leg and the upper leg at outer leg increases from the critical moment to the middle of the turn, and the angle between the lower leg and the upper leg at inner leg decreases from the critical moment to the middle of the turn. The completion of the biomechanical analysis shows the forces and the moments that load the skier while performing the turn and identifies the high-risk situations that can cause injury. In continuation, commercially available devices along with their advantages and disadvantages, and the only relevant patent for this scope are shown. The definition of the goal and design requirements for the proposal of the device design are presented. The main requirements are the anthropometric adjustment of the structure to the user and the prevention of the torsion angle over 4º of the lower leg in relation to the upper leg. A functional structure was defined with a model of relations from which a morphological matrix was further formed to generate concepts. Concept 1 can be well anthropometrically adjusted to the user, and because of its shape it prevents excessive torsion angle of the lower leg relative to the upper leg. The weight of the skier is reduced with the help of a shock absorber. Concept 2 is made on the principle of hamstring support and as such is fully adapted to the anthropometric measures of any user. It prevents excessive torsion angle of the lower leg with the help of a shock absorber, and the springs are used to reduce the weight of the user. By evaluating the concepts, due to the higher final rating, Concept 2 is presented in more detail.

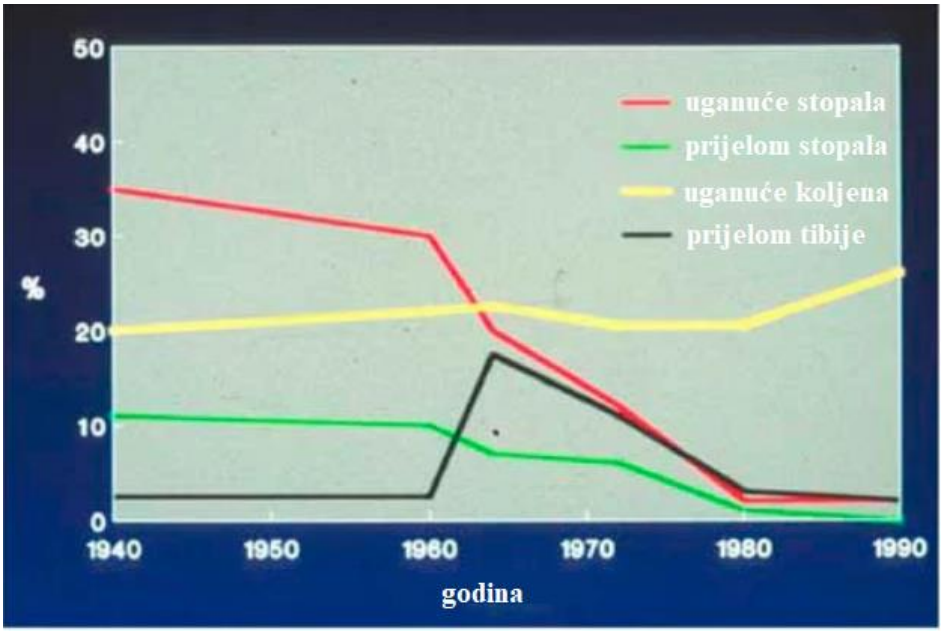
Key words: Skiing, biomechanics, ski related injuries, device design proposal for reducing the risk of skiing injuries

1. UVOD

Skijanje kao način kretanja čovjeka postoji već tisućama godina, a najstarije skije na svijetu datiraju između 6300. i 5000. godine prije Krista. Skijanje omogućuje kretanje velikim brzinama niz snijegom pokrivene planine koristeći samo silu gravitacije, vještine i minimalnu opremu, te nudi slobodu koja se ne može usporediti s većinom sportova. Kao i većina fizičkih aktivnosti koje uključuju brzinu i promjenjive uvjete, postoje i rizici povezani sa skijanjem - znatan broj ozljeda. [1]

Princip kretanja skijanjem uključuje dvije skije pričvršćene na svaku nogu čovjeka zasebno. U novije vrijeme je pričvršćivanje skija na noge ostvareno preko skijaških vezova koji su oblikovani tako da otpuste skiju u slučaju velikih sila. Neovisna priroda dviju skija znači da se jedna skija može kretati neovisno od druge. [1] Tijekom pada, skija se može zahvatiti za snijeg i ponašati se kao poluga, stvarajući moment u koljenu. Velika većina ozljeda u skijanju, do 70%, uzrokovane su padovima zbog osobne pogreške. [2]

Iako su skijaški vezovi dizajnirani da zaštite tibiju od loma, manje su učinkoviti u zaštiti mekih tkiva koljena. [3] Slika 1 prikazuje postotak pojedine ozljede nogu skijaša kroz godine u ovisnosti o razvoju skijaških vezova. [4]

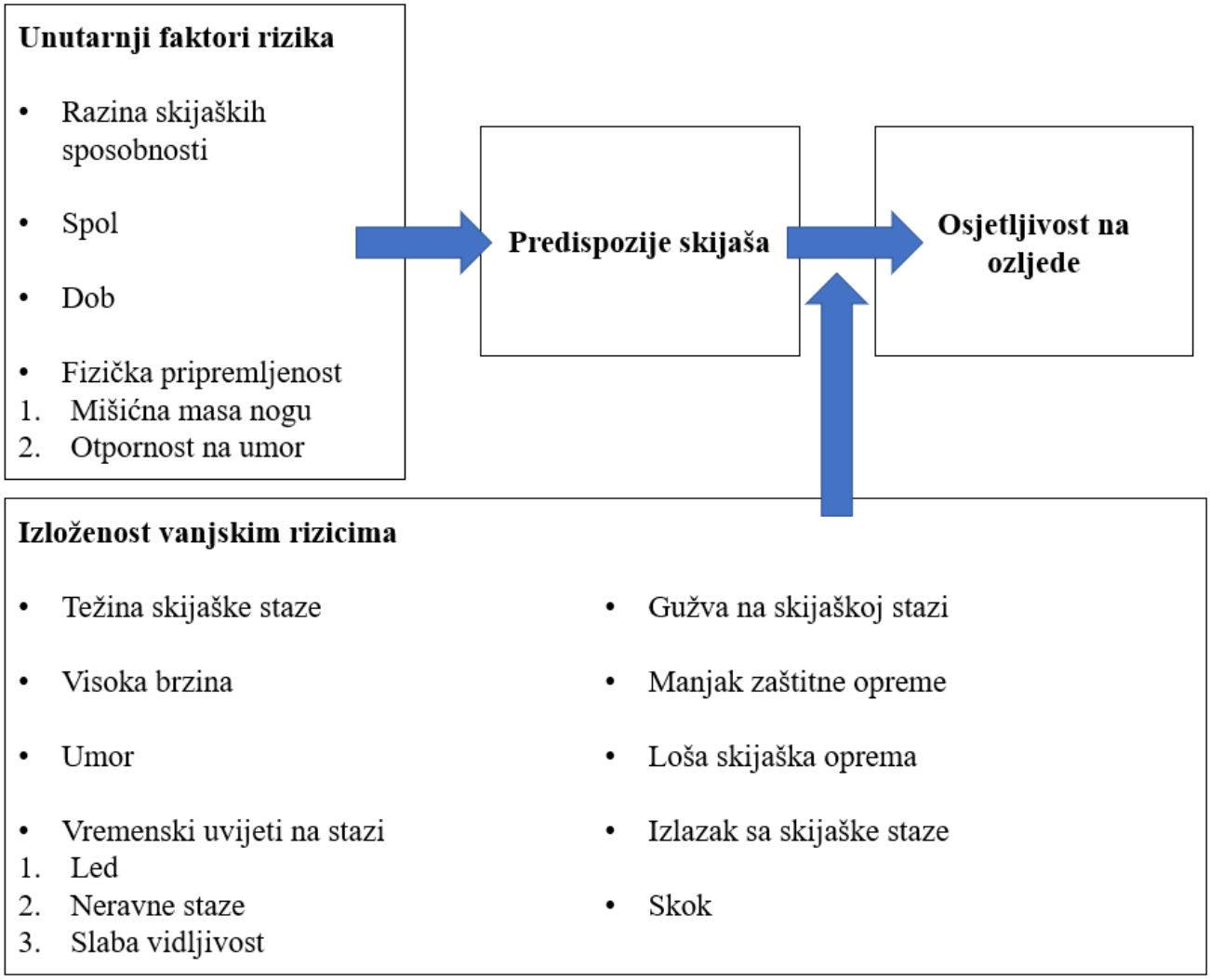


Slika 1. Postotak pojedinih ozljeda nogu skijaša kroz godine u ovisnosti o razvoju skijaških vezova [4]

Prema tome, oko jedne trećine svih ozljeda na skijanju uključuje oštećenje mekih tkiva koljena. Dvije najčešće ozljede koljena kod skijaša jesu istegnuće medijalnog kolateralnog ligamenta (MCL), koje uglavnom ne rezultiraju operativnim zahvatima, i potpune rupture prednjeg križnog ligamenta (ACL), koje uglavnom zahtijevaju kiruršku intervenciju. [3]

Ozljede koljena, a posebno ozljede prednjeg križnog ligamenta, nekoliko su puta češće kod žena nego muškaraca, što je možda posljedica relativne slabosti kvadricepsa kod žena, povećane laksacije zglobova ili hormonalnih razlika. [3] U studiji ozljeda koljena kod skijaša koji su koristili *carving* skije, Reudl i sur. primijetili su da skijaški vezovi nisu otpustili skiju u 82% padova koji su rezultirali puknućem prednjeg križnog ligamenta kod žena, dok su otpustili skiju u 64% sličnih padova kod muškaraca. Trenutno se preporuke otpuštanja skijaških vezova temelje na visini, težini, veličini stopala i skijaškoj sposobnosti, ali ne i spolu. [5] Također, nisu poznata istraživanja koja uključuju i druge utjecajne parametre kao što bi bili antropometrijsko-skeletni odnosi, mišićni kapaciteti i njihov inicijalni tonus, dimenzije zglobova, tehničko-kondicijsko stanje i drugi.

Postoje mnogi unutarnji i vanjski faktori rizika koji povećavaju mogućnost nastajanja skijaških ozljeda.[1]



Slika 2. Unutarnji i vanjski faktori rizika [1]

Čest faktor ozljede tijekom skijanja je razina skijaških sposobnosti. Pokušaj skijaša da skija po stazi iznad svojih sposobnosti vjerojatno će povećati mogućnost pada. Skijanje na takvoj stazi koja je previše zahtjevna, može rezultirati povećanjem brzine, brže nego što je skijaš na to navikao i uzrokovati da skijaš izgubi kontrolu. [1]

Skijanje je fizički zahtjevan sport koji zahtijeva usredotočenost, svjesnost i dobru fizičku pripremljenost, pa stoga nije iznenađujuće da bi umor mogao povećati rizik od ozljeda. Istraživanja pokazuju da se većina skijaških ozljeda događa popodne, kada su skijaši umorniji. Ovaj je trend prisutan i kod profesionalnih alpskih skijaša, jer se većina ozljeda događa tijekom posljednje četvrtine utrke. Pokazalo se i da umor negativno utječe na ravnotežu

skijaša. Napokon, umor može uzrokovati smanjenje reakcijskog vremena, što umanjuje sposobnost upijanja udara zbog nepravilnosti staze ili mogućnost izbjegavanja prepreke.[1]

Između promjenjivih vremenskih uvjeta na snijegu, neoznačenih prepreka i nepredvidivih ostalih korisnika staza, skijaš mora ostati u kontroli i mora se moći prilagoditi svojoj okolini. Međutim, skijanje velikom brzinom, posebno iznad razine skijaševe sposobnosti, smanjuje vrijeme koje je potrebno za prilagođavanje tim promjenjivim uvjetima. Brzina također povećava silu bilo kakvog udara, bilo za vrijeme pada ili kod sudara s drugim korisnikom staza.[1]

Kao što je već spomenuto, skijanje se odvija na otvorenom uz prisutnost drugih osoba na stazi. Iako odmarališta mogu imati određenu kontrolu nad snježnim uvjetima, na primjer, stvarajući konzistentniju površinu uređivanjem staza, uvjeti se mogu brzo promijeniti zbog promjene temperature, padalina ili prevelike prenapučenosti samih staza. Meki snijeg može se brzo pretvoriti u nepravilnu, neravnu površinu što može predstavljati izazov za ravnotežu, posebno početnicima. Također je poznato da je održavanje ravnoteže oko 2,5 puta teže na neprilagođenom ili grubom snijegu u usporedbi s mekim snijegom. [1]

Gužva na skijaškoj stazi može pomaknuti snijeg i izložiti tvrdu ledenu površinu. Smrznuti uvjeti identificirani su kao čimbenici rizika od ozljede. Led može otežati skretanje radi kontrole brzine i smjera, a može i dodatno očvrsnuti snijeg, stvarajući površinu koja manje oprašta u slučaju pada. Loše vremenske prilike i vidljivost također igraju ulogu u riziku od ozljeda. To se može objasniti činjenicom da bi loša vidljivost ograničila sposobnost skijaša da se kreće oko prepreka ili da se pripremi za snježne nepravilnosti. [1]

Konačno, izbor opreme može također povećati rizik nastajanja ozljeda. Korištenje nepoznate opreme, kao što je uobičajeno za početnike koji koriste iznajmljenu opremu, može spriječiti skijaša da skija u skladu sa svojim mogućnostima. Starija oprema možda nema učinkovite sigurnosne značajke, a ako se ne održava kako bi trebala, u teškim i ledenim uvjetima može izazvati probleme. Također, skijaški vezovi koji nisu pravilno podešeni za težinu i sposobnost skijaša mogu se ili ne otpustiti dovoljno rano tijekom pada, što bi moglo stvoriti zakretni

moment na koljenu s mogućnošću stvaranja ozljeda, ili se prerano otpustiti tijekom normalnog skijanja, uzrokujući pad. [1]

Skijanje i skijaški pokreti predstavljaju iznimno kompliciran, složen i zahtjevan način kretanja s velikim rizikom od nezgoda, padova i ozljeda za skijaša. Pri tome rizici od padova i ozljeđivanja ne ovise samo o skijašu i njegovoj skijaškoj tehnici, već se znatno povećavaju pri porastu brzine skijanja, čemu dodatno doprinose i iscrpljenost, pad koncentracije, vremenski uvjeti te svi ostali čimbenici koji značajno utječu na skijaševu sposobnost kontrole vlastitog kretanja. Iako na određene čimbenike ne možemo utjecati, možemo se baviti dijelom problematike koja je tehničke prirode. Pri tome posebnu pozornost treba obratiti na biomehaniku kretanja koja izrazito utječe na oblikovanje skija i sve skijaške opreme.

2. BIOMEHANIKA SKIJAŠKOG ZAVOJA

2.1. Pokreti skijaša u sagitalnoj, frontalnoj i transverzalnoj ravnini

Pokreti u skijanju su prilično izravni. Zakrećemo se, rubimo i pritišćemo. Izvođenje tih pokreta i držanje ravnoteže u isto vrijeme nije jednostavno. Tijelo ima mehanizme za osjet ravnoteže gdje su oči najvažnije. Također, unutarnje uho ima sofisticirani mehanizam ravnoteže koji pomoću polukružnih kanala raspoređenih u tri ravnine, pružaju podatke o ravnoteži u te iste tri dimenzije - lijevoj i desnoj, prednjoj i stražnjoj i horizontalnoj (rotacija). Kretanje skijaša također se može opisati u te tri dimenzije. Duljina je jedna dimenzija, širina je druga, a dubina treća dimenzija. Svaka je dimenzija predstavljena ravninom - sagitalnom, frontalnom i transverzalnom. [6]

Kretanje tijela naprijed i nazad, kao i fleksija ili ekstenzija koljena za kontrolu pritiska ili držanje ravnoteže, smatra se kretanjem u sagitalnoj ravnini. [6]



Slika 3. Kretanje u sagitalnoj ravnini [6]

Lateralni pokret s desna na lijevo događa se u frontalnoj ravnini. U skijanju, svi pokreti koji rezultiraju skijanju po rubnicima, pomicanje donjih ekstremiteta ili cijelog tijela lijevo i desno, smatraju se kretnjama u frontalnoj ravnini. [6]



Slika 4. Kretanje u frontalnoj ravnini [6]

Rotacije donjih ekstremiteta ili cijelog tijela smatraju se kretnjama u transverzalnoj ravnini. [6]



Slika 5. Kretanje u transferzalnoj ravnini [6]

2.2. Kritični trenutak

Trenutak u kojem skije imaju kut rubljenja od 0º, odnosno trenutak u kojem su skije ravne u odnosu na površinu, naziva se kritični trenutak. Kritični trenutak se dogodi u trenutku između dva zavoja i u idealnom slučaju traje jednu duljinu skija. Kut između središnje osi tijela i snježne površine u frontalnoj ravnini u tom trenutku iznosi 90º. Na slici 6 vidimo kritični trenutak. Crvenom bojom su na slici označeni položaji težišta tijela u pojedinim trenucima

skijaškog zavoja. Iz slike je vidljivo kako težište tijela prelazi s desne na lijevu stranu u frontalnoj ravnini, a u kritičnom trenutku težište tijela leži točno iznad skija. Također, prebacivanje težišta tijela s lijeve na desnu stranu uzrokuje prebacivanje opterećenja s lijeve na desnu nogu, obzirom da je vanjska noga uvijek opterećenija prilikom izvođenja skijaškog zavoja. Kut između femura i tibije u sagitalnoj ravnini može se razlikovati ovisno o načinu skijanja. [6]



Slika 6. Kritični trenutak i težište tijela [6]

Između dva kritična trenutka izvodi se zavoj u kojem dolazi do promjene kuta između skije i snijega, kao i do promjene kuta između središnje osi tijela i snijega u frontalnoj ravnini. Od kritičnog trenutka kada je kut jednak 90º do sredine zavoja kut između središnje osi tijela i površine pada, te nakon sredine zavoja kut ponovo počne rasti do kritičnog trenutka i kuta od 90º. [6]



Slika 7. Kut između središnje osi tijela i podloge između kritičnih trenutaka u frontalnoj ravnini [7]

U sredini zavoja je kut između femura i tibije na vanjskoj nozi velik, te je koljeno blizu ekstenzije u sagitalnoj ravnini. Kut između tibije i femura na unutarnjoj nozi je u sagitalnoj ravnini manji od kuta između femura i tibije na vanjskoj nozi. U sredini zavoja se javljaju najveća opterećenja tijekom izvođenja skijaškog zavoja. [6]



Slika 8. Razlika u kutovima između femura i tibije na vanjskoj i unutarnjoj nozi u sredini zavoja [6]

2.3. Analiza promjene kuta između femura i tibije u izvođenju skijaškog zavoja uz programski paket Kinovea

Analiza skijaških pokreta napravljena je uz programski paket Kinovea. Kinovea je aplikacija koja omogućuje pregled videozapisa, te u sebi sadrži razne alate za mjerenje i analizu sportskih pokreta.

Za analizu su uzete snimke skijanja uz pomoć kojih je cilj odrediti kutove između femura i tibije u sagitalnoj ravnini u kritičnim točkama skijanja – u sredini zavoja i u kritičnom trenutku za vanjsku i unutarnju nogu.

2.3.1. Kut između femura i tibije u sagitalnoj ravnini – vanjska noga

U tablici 1. su prikazani kutovi između femura i tibije u sagitalnoj ravnini u periodu između kritičnog trenutka i sredine zavoja vanjske noge. Vrijeme analize snimke iznosi 0.77 s.

Vrijeme (s)	Kut između femura i tibije (º)	Napomena
0	**100**	**Kritični trenutak**
0.03	106	
0.07	111	
0.1	112	
0.13	114	
0.16	114	
0.20	123	
0.23	125	
0.27	125	
0.3	126	
0.33	126	
0.37	128	
0.4	**129**	**Sredina zavoja**
0.43	**129**	**Sredina zavoja**
0.47	**129**	**Sredina zavoja**
0.5	**129**	**Sredina zavoja**
0.53	**129**	**Sredina zavoja**

0.57	**129**	**Sredina zavoja**
0.6	**129**	**Sredina zavoja**
0.63	**129**	**Sredina zavoja**
0.67	**129**	**Sredina zavoja**
0.7	127	
0.73	126	
0.77	125	

Tablica 1 Kutovi između femura i tibije na vanjskoj nozi u trenutku izvođenja zavoja

Iz tablice možemo zaključiti da su dva kritična kuta kutovi u kritičnom trenutku i u sredini zavoja. Također, vidljivo je da se kut sredine zavoja od 129º ne mijenja između 0.4s i 0.67s prije nego što ponovo počinje padati što označuje približavanje kritičnom trenutku. U sredini zavoja, koljeno je blizu ekstenzije i u tom je položaju sve dok sredina zavoja traje. Na slikama 9 i 10 prikazani su kritični kutovi iz prethodne tablice.



Slika 9. Kut između femura i tibije na vanjskoj nozi u kritičnom trenutku



Slika 10. Kut između femura i tibije na vanjskoj nozi u sredini zavoja

2.3.2. Kut između femura i tibije u sagitalnoj ravnini – unutarnja noga

U tablici 2. su prikazani kutovi između femura i tibije u sagitalnoj ravnini u periodu između kritičnog trenutka i sredine zavoja unutarnje noge. Vrijeme analize snimke iznosi 1 s.

Vrijeme (s)	Kut između femura i tibije (º)	Napomena
0	**141**	**Kritični trenutak**
0.07	138	
0.1	138	
0.17	128	
0.23	117	
0.27	111	
0.33	89	
0.4	86	
0.43	83	
0.47	77	
0.5	62	
0.53	60	
0.6	55	

0.63	43	
0.67	42	
0.73	**41**	**Sredina zavoja**
0.77	42	
0.8	44	
0.87	47	
0.9	49	
0.93	56	
0.97	63	
1	70	

Tablica 2 Kutovi između femura i tibije na unutarnjoj nozi u trenutku izvođenja zavoja

Iz tablice možemo zaključiti da su dva kritična kuta također kutovi u kritičnom trenutku i u sredini zavoja. Kod unutarnje noge imamo pojavu smanjivanja kuta između femura i tibije u trenutku približavanja sredini zavoja, te povećanje kuta između femura i tibije nakon zavoja. Nadalje, vidljivo je da je kut sredine zavoja unutarnje noge samo u jednom trenutku 41º. U tom trenutku, koljeno je u fleksiji sve dok ne prođe sredina zavoja i koljeno ponovo krene prema ekstenziji. Na slikama 11 i 12 prikazani su kritični kutovi iz prethodne tablice.



Slika 11. Kut između femura i tibije na unutarnjoj nozi u kritičnom trenutku



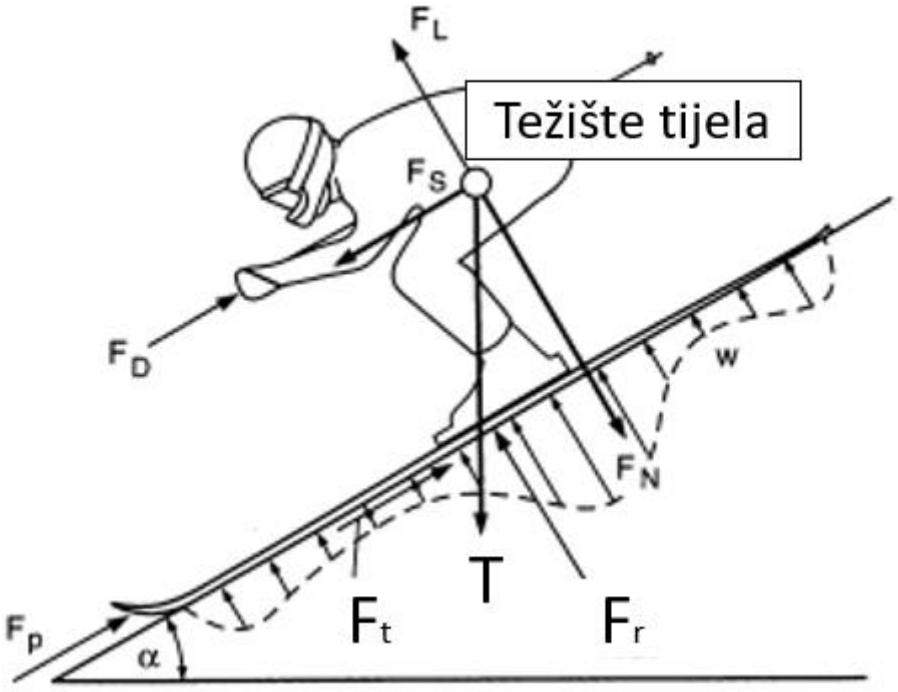
Slika 12. Kut između femura i tibije na unutarnjoj nozi u sredini zavoja

2.3.3. Zaključak

U potpoglavljima iznad, napravljena je analiza kutova između femura i tibije u trenucima skijaškog zavoja. Iz analize je vidljivo da su u istim trenucima skijaškog zavoja kutovi na unutarnjoj i vanjskoj nozi drugačiji. U sredini zavoja je kut između femura i tibije na unutarnjoj nozi najmanji, a kut između femura i tibije na vanjskoj nozi je najveći, odnosno vanjska noga je u ekstenziji a unutarnja noga u fleksiji. Također, vidljivo je kako je kut u sredini zavoja unutarnje noge samo u jednom trenutku 41º, dok kod vanjske noge kut od 129º traje dulje vrijeme.

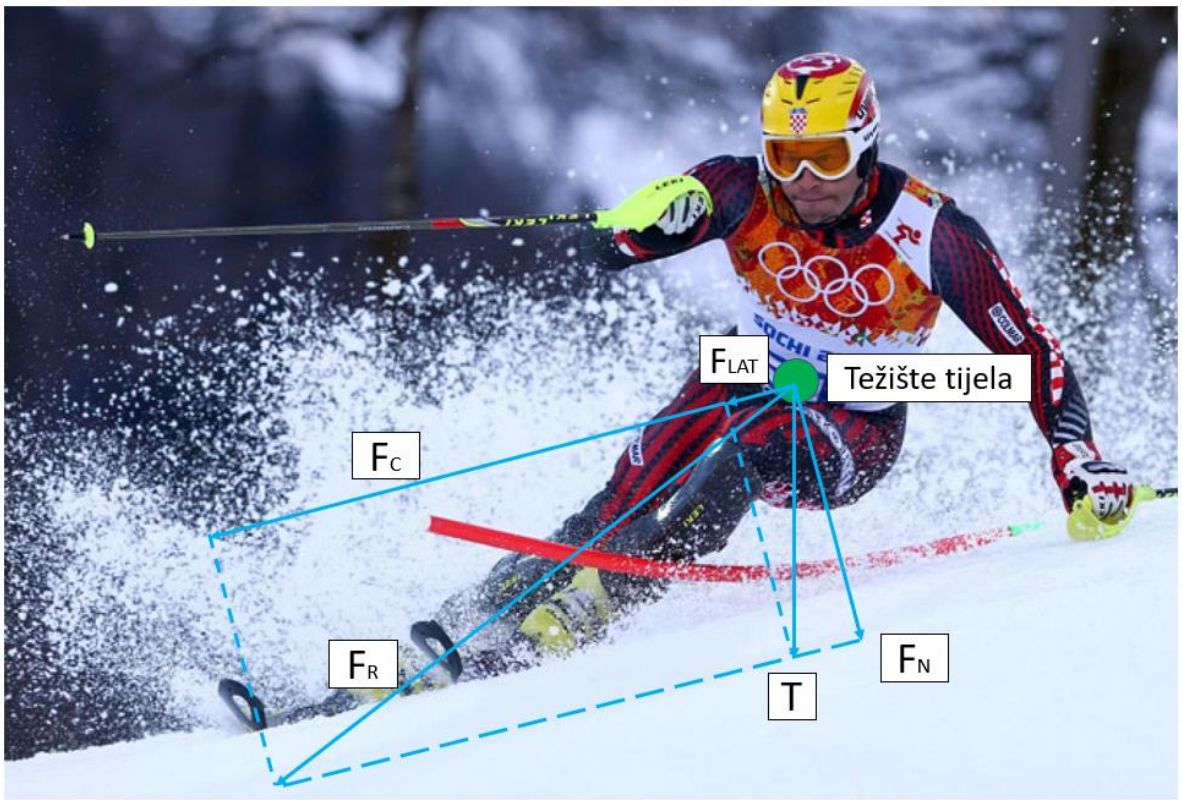
2.4. Sile i momenti u skijanju

Slika 13 prikazuje sile koje djeluju na skijaša u sagitalnoj ravnini prilikom pravocrtnog spuštanja niz snježnu padinu. Težina skijaša T može se prikazati s dvije komponente sila; gravitacijskom silom paralelnom sa padinom F_s i normalnom silom okomitom na padinu F_N. Sile koje nastaju zbog otpora zraka su sila aerodinamičnog otpora F_D i sila aerodinamičnog podizanja $F_{L.}$ Također, javljaju se i sile prilikom kontakta skije i snježne padine. Sila udaranja prednjeg dijela skije u snijeg označena je s F_p, sila trenja označena je s $F_{t,}$ a w predstavlja raspodjelu sila reakcije snijega na skiju. F_r predstavlja sumu sila reakcije snijega na skiju. [8]



Slika 13. Sile na skijaša u sagitalnoj ravnini [8]

Na slici 14 prikazane su sile koje djeluju na skijaša tijekom izvođenja zavoja u frontalnoj ravnini.



Slika 14. Sile na skijaša prilikom izvođenja zavoja u frontalnoj ravnini [9]

Težina tijela T može se rastaviti na dvije komponente sila; F_{LAT} je lateralna sila koja je paralelna s nagibom padine, a F_N je normalna sila koja djeluje okomito na smjer padine. U zavoju na skijaša djeluje i centripetalna sila F_C koja djeluje suprotno od smjera kretanja skijaša u zavoju. Rezultantna sila F_R predstavlja zbroj lateralne sile F_{LAT}, centripetalne sile F_C i normalne sile F_N. Rezultantna sila F_R djeluje na liniji dodira skije i snijega, a u istom smjeru djeluje i sila reakcije snijega. [8]

Raspodjela sile reakcije snijega na skiju w i suma raspodjele sila F_r u lateralnoj ravnini u trenutku zavoja prikazana je na slici 15.



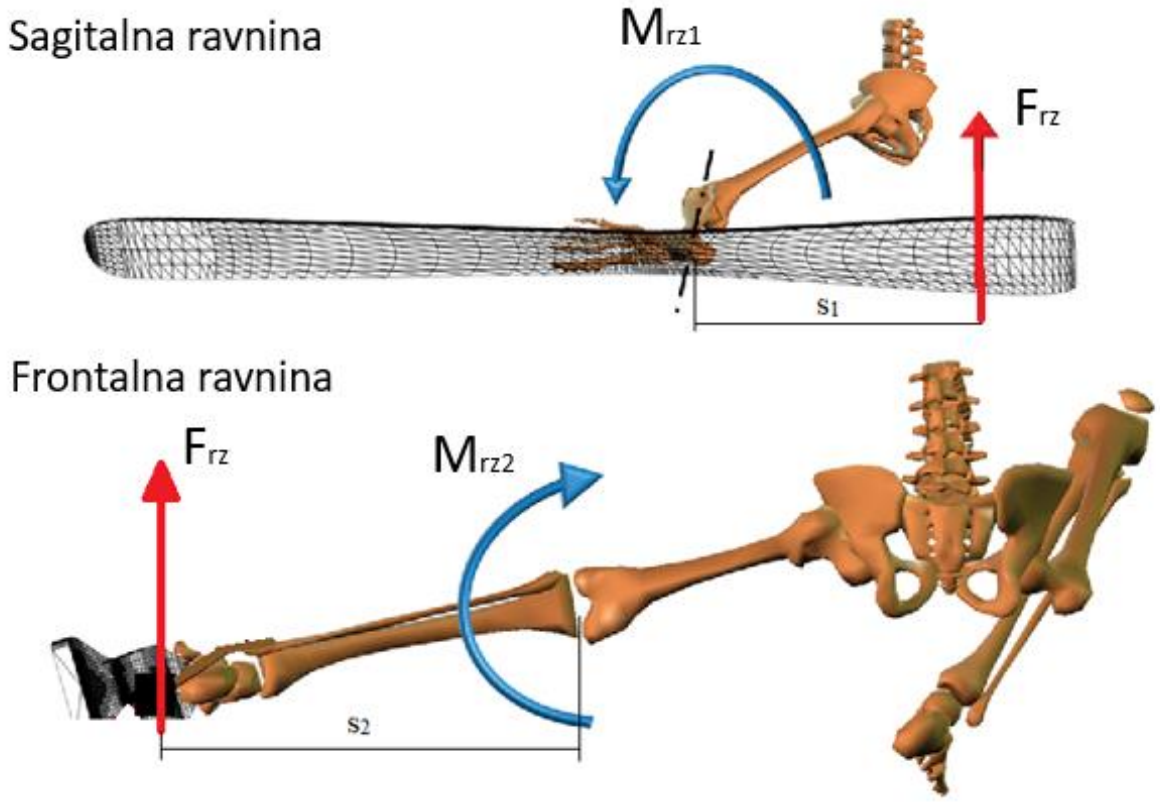
Slika 15. Raspodjela sile reakcije snijega na skiju u skijaškom zavoju [10]

Raspodjela sile reakcije w može se podijeliti na prednji dio skije w_p i zadnji dio skije w_z, te se za svaki dio može postaviti suma raspodjele sile F_{rp} i F_{rz} kako prikazuje slika 16. S plavom točkom na slici 16 označena je točka oko koje sile F_{rp} i F_{rz} s pripadajućim krakovima s_z i s_p daju momente M_z i M_p. Dok je cijeli rub skije u kontaktu sa snježnom površinom momenti M_z i M_p su u ravnoteži i ne dolazi do neželjene rotacije noge.



Slika 16. Raspodjela sile reakcije snijega na prednji i zadnji dio skije u skijaškom zavoju [10]

Ako zbog naleta vanjske skije na kamen, nakupinu snijega ili zbog proklizavanja skije prilikom skijanja dođe do odvajanja prednjeg ili zadnjeg dijela skije od snijega, opterećenje koje je distribuirano duž cijelog ruba skije, koncentrira se na prednji ili stražnji rub skije. U tom trenutku javlja se moment koji tjera nogu u neželjenu rotaciju. Na slici 17 prikazana je situacija kod koje je skija proklizila u stranu, te se rubnik zadnjeg dijela skije naglo ponovo zahvatio za snijeg. U trenutku dok skija kliže, skijaš je oslonjen manjim dijelom na unutarnju skiju sve dok zadnji rubnik vanjske skije ponovo ne zahvati snijeg. Kada vanjska skija zahvati snijeg, skijaš je oslonjen većim dijelom na zadnji dio rubnika vanjske skije, te se u tom trenutku javlja moment M_{rz} koji izaziva unutarnju rotaciju koljena u sagitalnoj ravnini i valgus rotaciju koljena u frontalnoj ravnini. Uslijed momenta M_{rz}, u opisanoj situaciji, najčešće dolazi do puknuća prednjeg križnog ligamenta. Ovaj mehanizam ozljede naziva se *slip-catch* mehanizam. [11]



Slika 17. Slip-catch mehanizam ozljede u skijanju [11]

Slična se situacija može dogoditi i na unutarnjoj nozi, ali obzirom da je skijaš prilikom skijanja mnogo više oslonjen na vanjsku nogu, takva situacija u pravilu ne uzrokuje ozbiljnu skijašku ozljedu.

3. ANALIZA TRŽIŠTA I PREGLED INTELEKTUALNOG VLASNIŠTVA

3.1. Postojeći proizvodi na tržištu

3.1.1. ROAM Elevate egzoskeleton

Egzoskeleton namijenjen skijanju Elevate koji proizvodi tvrtka ROAM jedini je robotski egzoskeleton namijenjen skijanju dostupan na tržištu. [12]



Slika 18. ROAM Elevate egzoskeleton [12]

Uređaj se sastoji od 2 egzoskeleta koji se kablovima povežu s ruksakom u kojem se nalazi baterija i upravljačka jedinica, a ukupna masa uređaja iznosi 9 kg. Egzoskelet se prihvati na pancericu i na kvadriceps uz pomoć trake kao što je prikazano na slici 18. Na slici 17 je vidljivo ležište za bedreni mišić i oslonac za koljeno. [12]



Slika 19. Prihvat egzoskeletona na kvadriceps i pancericu [12]



Slika 20. ROAM Elevate egzoskeleton [12]

Uz pomoć ugrađenih senzora i pametnog software-a uređaj predviđa korisnikovu kretnju i automatski podešava potporu koljenu i kvadricepsu. Na svakom egzoskeletu postoji pneumatički aktuator koji upuhivanjem zraka proizvodi silu koja rasterećuje koljeno i kvadriceps i do 30%. [12]

Glavna namjena uređaja je smanjenje opterećenja na koljeno i kvadriceps kako bi se izbjegla moguća ozljeda prilikom skijanja. Ciljana skupina potrošača jesu stariji skijaši, skijaši sezonci te skijaši koji se vraćaju treningu nakon ozljede. Cijena dnevnog najma ovog uređaja iznosi 109$, a prodajna cijena iznosi 5000$. [12]

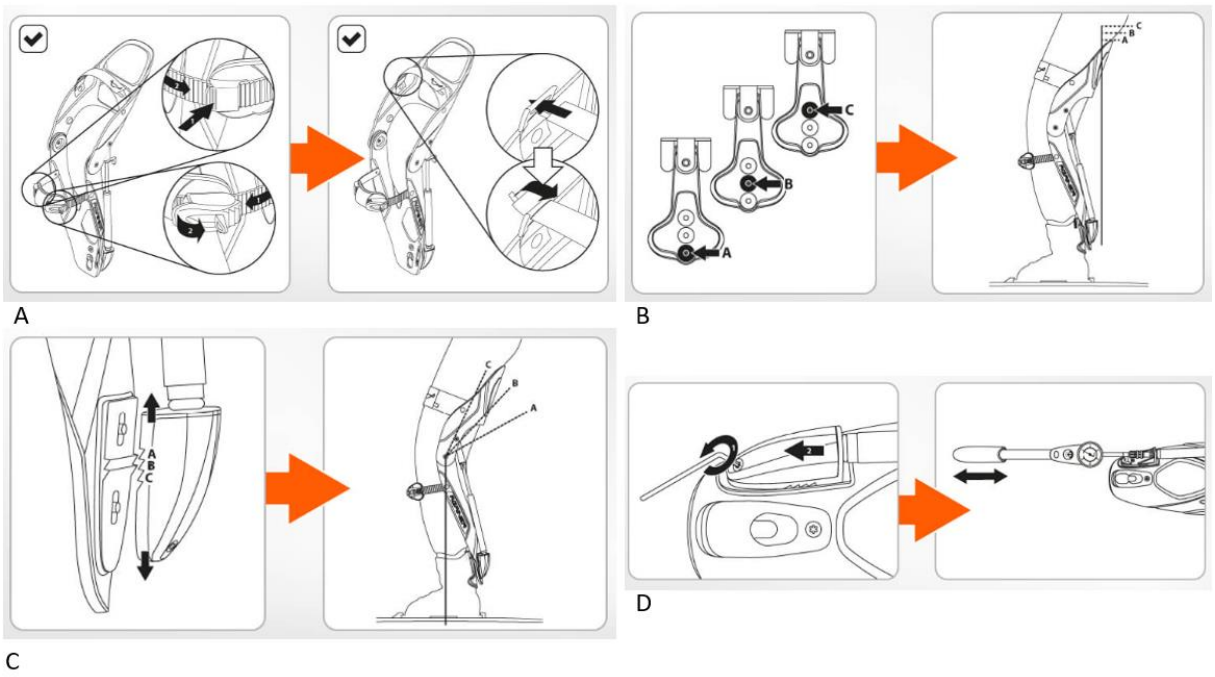
3.1.2. Againer egzoskeleton

Againer egzoskeleton namijenjen skijanju na mehanički način smanjuje opterećenje na koljena i kvadricepse. [13]



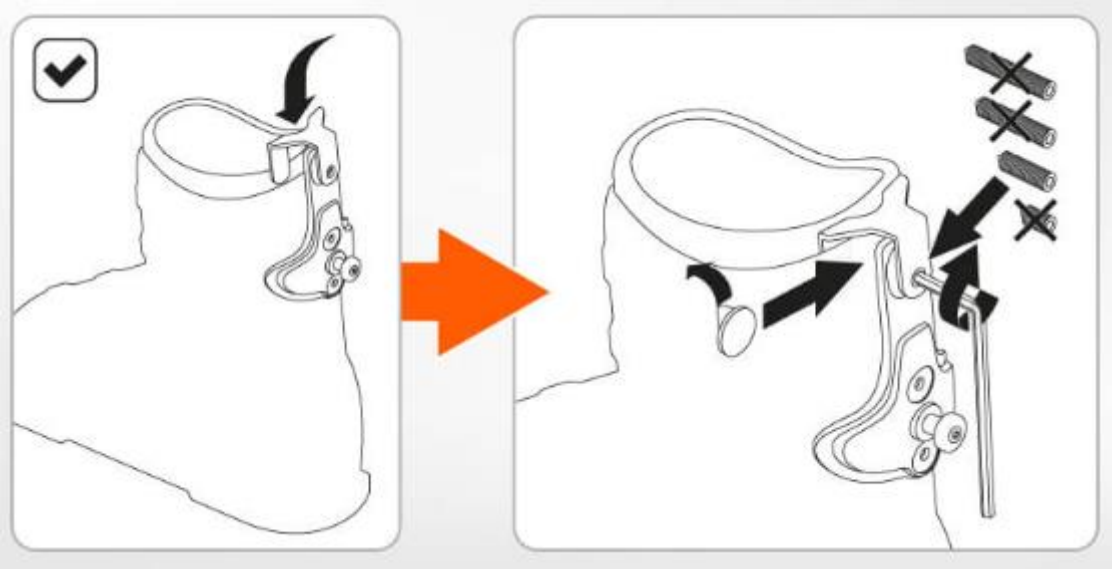
Slika 21. Againer egzoskeleton [13]

Konstrukcija se sastoji od plastičnog okvira, mekane podloge, plinskog prigušivača i dijela koji spaja pancericu i sam egzoskelet. Komponenta koja omogućuje smanjenja opterećenja na koljeno i kvadriceps je plinski prigušivač. Pri ulasku u zavoj prigušivač apsorbira energiju, te pri izlazu iz zavoja potpomaže mišićima vraćajući apsorbiranu energiju. Slika 22 prikazuje koje se sve varijable mogu podesiti na Againer egzoskeletu. [13]



Slika 22. Podešavanje Againer egzoskeletona [13]

Na slici 22-A prikazano je podešavanje razine pritegnutosti traka za stezanje. Na slici 22-B prikazano je podešavanje visine uređaja, a na slici 22-C podešavanje kuta uređaja u fazi nekorištenja. Na slici 22-D prikazano je podešavanje prigušivača pumpom čime se regulira razina apsorpcije energije. Način prihvata egzoskeleta na pancericu prikazan je na slici 23. [13]



Slika 23. Postavljanje Againer uređaja na pancericu [13]

Cijena uređaja u prodaji jest 900$, a cijena najma za 15 dana iznosi 220$. [13]

3.1.3. Ski-mojo egzoskeleton

Ski-mojo egzoskeleton namijenjen skijanju također na mehanički način smanjuje opterećenje na koljena. [14]



Slika 24. Ski-mojo egzoskeleton [14]

Konstrukcija je na ovom uređaju izrađena od neoprena koji se uz pomoć traka stegne uz tijelo. U konstrukciji se nalaze opruge koje osiguravaju rasterećenje koljena pri skijanju. Prihvat na pancericu izveden je slično kao i kod Againer egzoskeleta, a vidljiv je na slici 25. Kod Ski-mojo egzoskeleta je prihvat opruge na pancericu izveden direktno, a ne preko okvira egzoskeleta. [14]



Slika 25. Postavljanje Ski-mojo egzoskeletona na pancericu [14]

Prednapregnutost opruge se može podešavati kako bi se osigurala mogućnost različitog iskustva prilikom skijanja. Također, uređaj se može kupiti s različitim oprugama ovisno o masi korisnika. Prednost ovog egzoskeleta je ta što se može nositi ispod skijaških hlača. [14]

Cijena ski-mojo egzoskeletona sa svom pripadajućom opremom iznosi 650 $. [14]

3.1.4. Usporedba dostupnih egzoskeleta namijenjenih skijanju

U tablici 1. nalaze se prethodno opisani egzoskeleti namijenjeni skijanju i njihove karakteristike koje se međusobno uspoređuju.

			
Ime proizvoda	Elevate	Againer	Ski-mojo
Proizvođač	ROAM Robotics	Againer	Kinetic Innovations
Cijena	5000$	900$	650$
Cijena najma	109$(1 dan)	220$(15 dana)	-
Pogonjen	DA	NE	NE
Način rasterećenja koljena i kvadricepsa	Pneumatički aktuator	Plinski prigušivač	Opruga
Način prihvata na pancericu	Trakom oko pancerice	Držač na stražnjem gornjem dijelu pancerice	Držač na stražnjem gornjem dijelu pancerice
Način prihvata na nogu	Okvir + pritezanje trakom	Okvir + pritezanje trakom	Pritezanje trakom (princip steznika)
Potreba za vanjskom baterijom	DA	NE	NE
Mogućnost spajanja s pametnim telefonom	DA	NE	NE
Mogućnost nošenja ispod skijaške odjeće	NE	NE	DA
Mogućnost nošenja uređaja u ruksaku	NE	NE	DA

Tablica 3 Usporedba dostupnih egzoskeleta

Namjena svih egzoskeleta za skijanje je ista – rasterećenje koljena i kvadricepsa kako bi se maksimalno smanjila vjerojatnost ozljede. Jedini pogonjeni egzoskelet je ROAM Elevate. U praksi to znači da je potrebna vanjska baterija u ruksaku kao izvor energije za pokretanje uređaja, te samim time uređaj zauzima mnogo više prostora od druga dva dostupna uređaja. U prijevodu, Elevate nije moguće ponijeti sa sobom na skijanje i koristiti ga npr. zadnja 2 sata skijanja. Elevate je jedini uređaj koji se na pancericu ne veže na stražnjem gornjem dijelu pancerice, već trakom oko pancerice. Također, cijena uređaja je oko 5 puta viša u odnosu na uređaj Againer, te oko 8 puta viša u odnosu na uređaj Ski-mojo. Prednost uređaja je kvaliteta skijanja, kao i mogućnost spajanja uređaja s pametnim telefonom. Againer i Ski-mojo uređaji nisu pogonjeni uređaji. Againer i Ski-mojo uređaji rade na sličnom principu a razlike su u konstrukciji i načinu prigušivanja opterećenja. Againer uređaj nije moguće nositi ispod skijaške odjeće i nije ga moguće ponijeti na skijanje, te ga koristiti samo u određenom vremenu. Suprotno, Ski-mojo egzoskeleton je moguće nositi ispod skijaške odjeće, te u trenutku potrebe postaviti prigušivače na za to predviđeno mjesto. Cijena Ski-mojo egzoskeletona je 27% manja u odnosu na Againer egzoskeleton, ali Ski-mojo egzoskeleton nije moguće unajmiti i isprobati prije kupnje. [8],[9],[10]

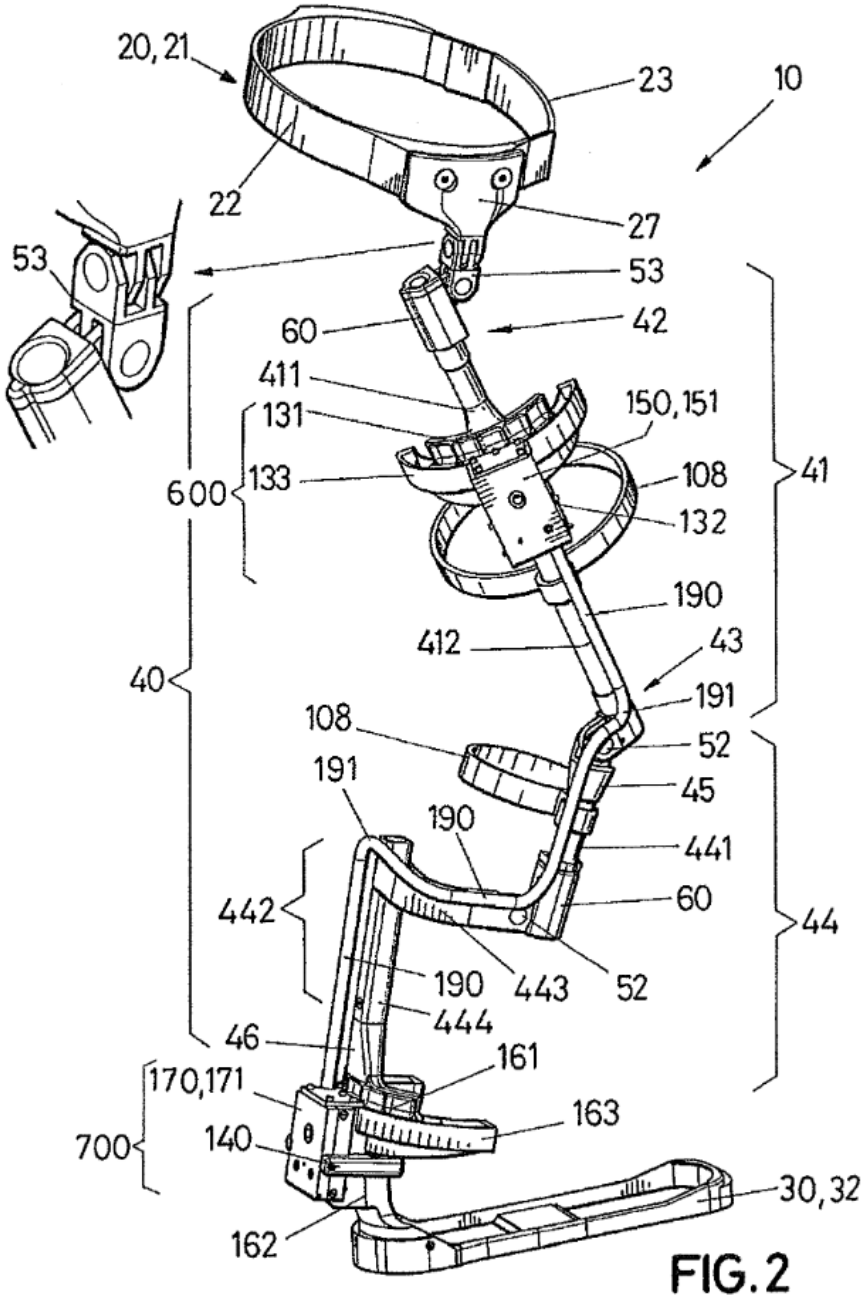
3.2. Pregled intelektualnog vlasništva

US8171570B2

Patent US8171570B2 predstavlja egzoskeleton za tjelesne aktivnosti, posebno skijanje na snijegu, a namjena mu je sprečavanje ozljeda koljena, nogu i kukova sprječavanjem pretjerane torzije koljena i drugih pokreta koji mogu biti opasni za osobu koja ga nosi. Egzoskelet skreće potencijalne opasne sile na jake dijelove tijela i odupire se generiranim silama kad dosegne opasne anatomske položaje. Egzoskelet uključuje barem jedan prvi potporni član koji se nalazi iznad koljena; barem jedan drugi potporni član koji se nalazi ispod koljena; oba člana su povezani spojem koji ograničava da spojnica elemenata dosegne opasne položaje; i barem jedan mehanizam za ograničavanje kuta koji ograničava relativnu rotaciju između prvog potpornog člana i drugog potpornog člana. [15]

Ovaj izum, sigurnosni uređaj za skijanje na snijegu, odnosi se na uređaj koji čini skijanje sigurnijim i lakšim sportom. Uređaj je dizajniran s posebnim naglaskom na sprječavanje

ozljeda koljena, jer je to zglob koji pretrpi najviše štete u nesrećama koje se događaju tijekom prakticiranja ovog sporta. Ipak, zaštita pružena ovim izumom nije ograničena na zglob koljena, već može pružiti zaštitu i nozi u cjelini, a u većini poželjnih utjelovljenja također i kuku. [15]



Slika 26. Patent US8171570B2 [11]

Izum se također odnosi na uređaj koji, osim što osigurava sigurnost skijaša, omogućuje i

upravljanje skijama tijekom bavljenja sportom, sprječavajući ih da se preusmjere suprotno željama korisnika ili skijaša, tako da će skijaš doživjeti manje nezgoda i stoga će pretrpjeti manje ozljede svih vrsta. [15]

Poželjno područje primjene za ovaj izum je skijanje, posebno za disciplinu spust, iako je ovaj izum također koristan za druge sportove koji uključuju rizik od ozljede zgloba ili kostiju. [15]

4. DEFINICIJA CILJA I KONSTRUKCIJSKI ZAHTJEVI

4.1. Definicija cilja

Naziv projekta: **Prijedlog konstrukcije za smanjenje rizika nastajanja skijaških ozljeda**
Opis proizvoda:
Konstrukcija namijenjen skijanju čija je glavna namjena smanjenje rizika od ozljede
Ključna poslovan očekivanja (ako ih je moguće pretpostaviti – nije obavezno):
Primarno tržište:
Trgovine sa skijaškom opremom, trgovine za iznajmljivanje skijaške opreme
Sekundarno tržište:
Škole skijanja
Karakteristike koje se podrazumijevaju:
Smanjenje rizika od ozljeđivanja
Ciljane grupe korisnika:
Skijaši početnici, Skijaši s niskom razinom fizičke pripremljenosti, Profesionalni skijaši koji se vraćaju treninzima nakon ozljede
Pravci kreativnog razvoja:
Uređaj za učenje skijanja
Limiti projekta:
Cijena, kompaktnost

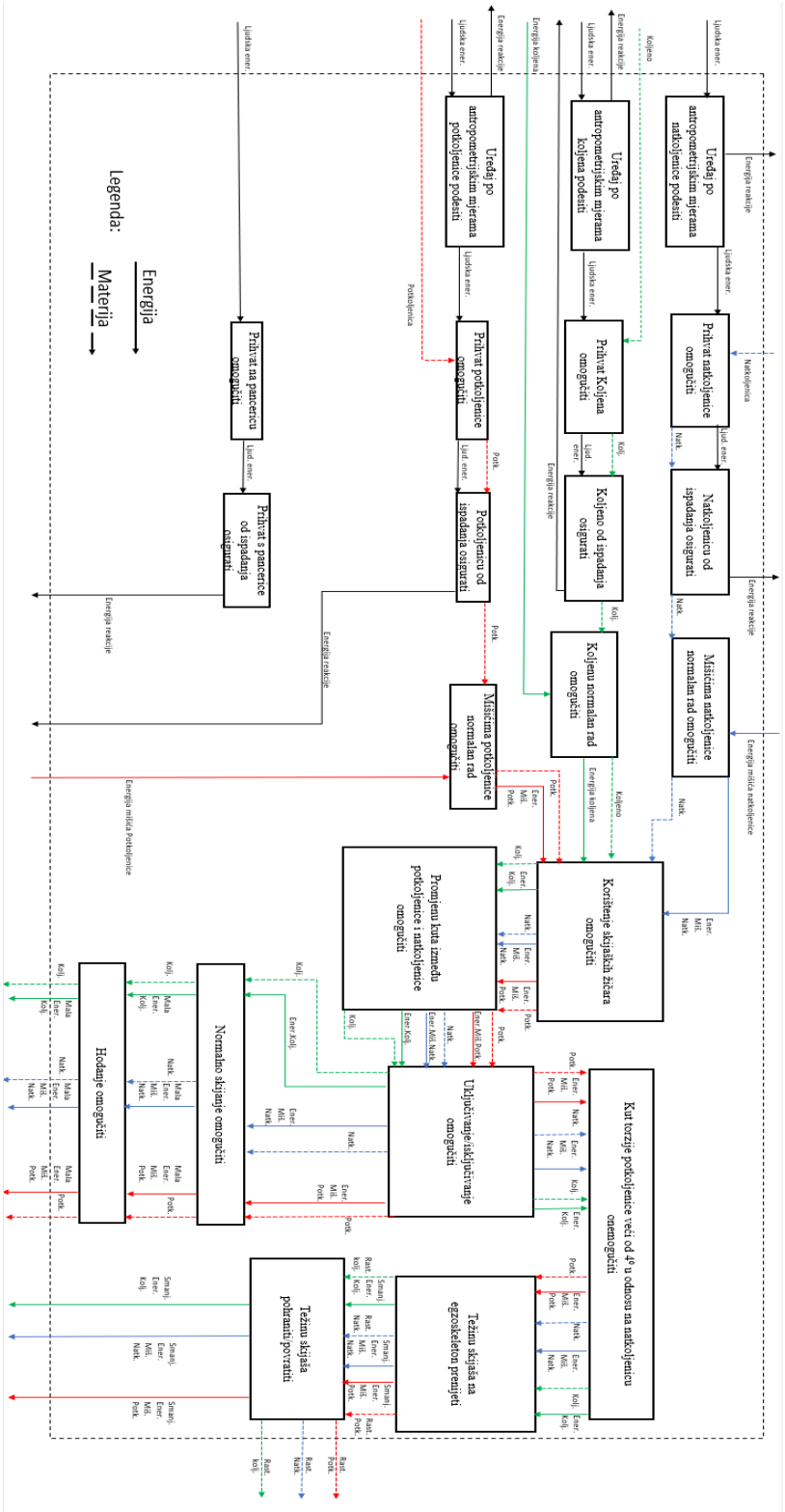
Tablica 4 Definicija cilja

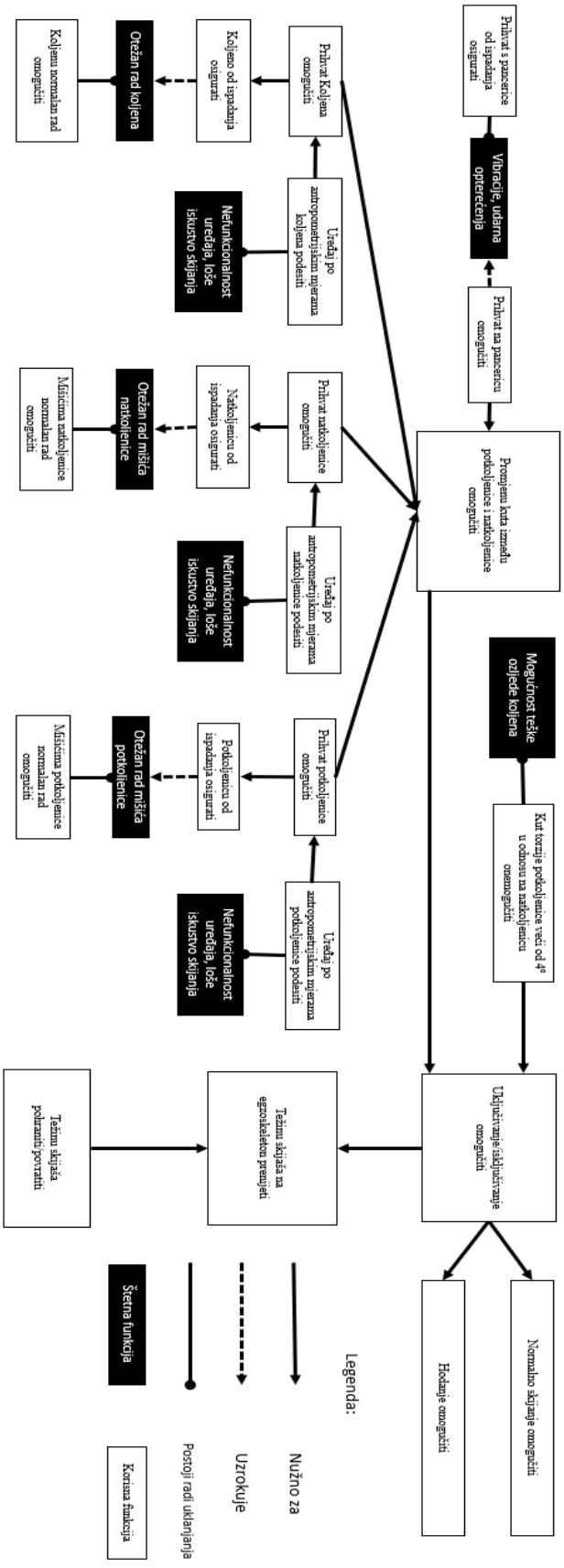
4.2. Konstrukcijski zahtjevi

Na temelju prethodnih poglavlja i provedene analize te na temelju uobičajenih zahtjeva i potreba pri aktivnosti skijanja, slijede konstrukcijski zahtjevi:

- Omogućiti kut između femura i tibije u rasponu od 41º do 141º u sagitalnoj ravnini tijekom skijanja,
- Onemogućiti torziju potkoljenice u odnosu na natkoljenicu veću od 4º
- Omogućiti neovisno pomicanje lijevog i desnog dijela egzoskeletona zbog različitih kutova između femura i tibije lijeve i desne noge u sagitalnoj ravnini,
- Omogućiti jednostavan prihvat na pancericu/nogu skijaša,
- Omogućiti jednostavno oblačenje/postavljanje uređaja,
- Omogućiti mišićima normalne funkcije,
- Omogučiti antropometrijsko prilagođavanje uređaja korisniku,
- Smanjiti opterećenje na kvadriceps i zglob koljena,
- Omogučiti da uređaj ne dođe u koliziju s ostalim sudionicima skijališta, opremom skijaša ili skijaškim liftovima/žičarama prilikom korištenja uređaja,
- Omogučiti manji rizik od ozljede prilikom korištenja uređaja pri skijanju u odnosu na skijanje bez uređaja.

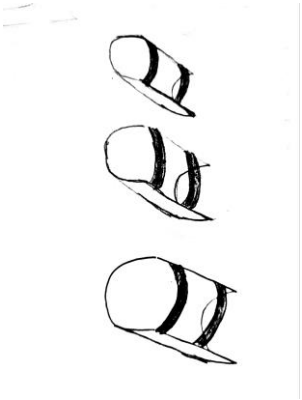
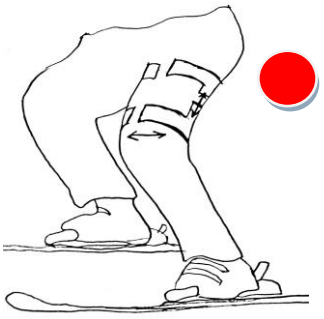
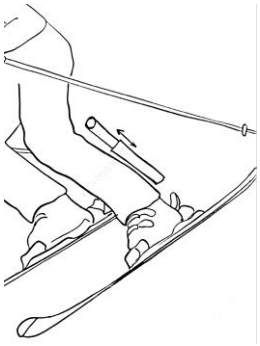
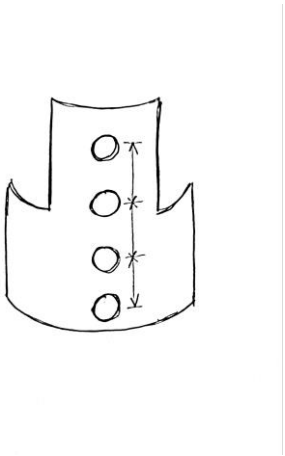
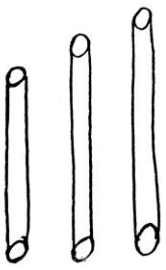
5. FUNKCIJSKA STRUKTURA I MODEL RELACIJA

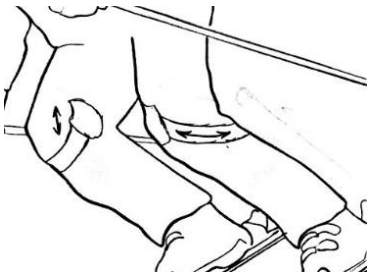

Legenda:
Energija
Materija
Uređaj po antropometrijskim mjerama natkoljenice podesiti
Uređaj po antropometrijskim mjerama koljena podesiti
Uređaj po antropometrijskim mjerama potkoljenice podesiti
Prihvat natkoljenice omogućiti
Prihvat Koljena omogućiti
Prihvat potkoljenice omogućiti
Prihvat na pancericu omogućiti
Natkoljenicu od ispadanja osigurati
Koljeno od ispadanja osigurati
Potkoljenicu od ispadanja osigurati
Prihvat s pancerice od ispadanja osigurati
Mišićima natkoljenice normalan rad omogućiti
Koljenu normalan rad omogućiti
Mišićima potkoljenice normalan rad omogućiti
Korištenje skijaških štapa omogućiti
Promjenu kuta između potkoljenice i natkoljenice omogućiti
Uključivanje/isključivanje omogućiti
Kut torzije potkoljenice veći od 4° u odnosu na natkoljenicu omogućiti
Težinu skijaša na egzoskeletom prenijeti
Težinu skijaša pobranti povratiti
Normalno skijanje omogućiti
Hodanje omogućiti
Ljudska ener.
Energija reakcije
Energija koljena
Potkoljenica
Natkoljenica
Ener. Mišić. Potk.
Ener. Mišić. Natk.
Ener. Koljena
Ener. Koljeno
Ener. Koli.
Ener. Mišić. Potk.
Ener. Mišić. Natk.
Ener. Koli.
Ener. Koli. Mišić. Natk.
Ener. Koli. Mišić. Pot

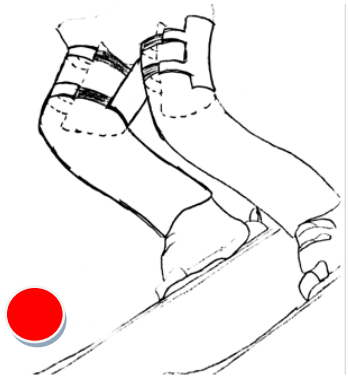
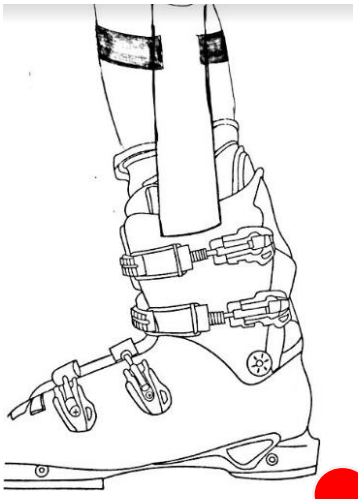
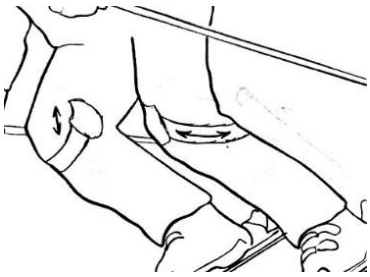


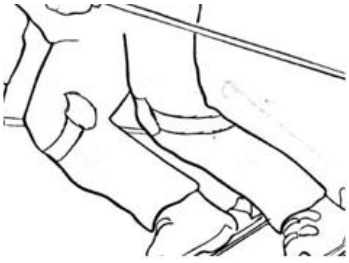
Slika 28. Model relacija

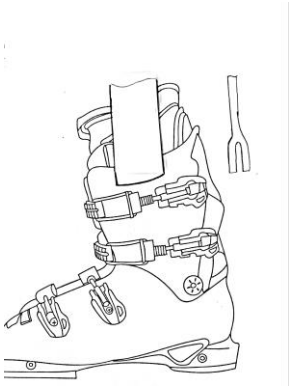
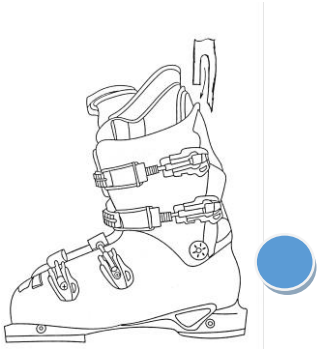
6. MORFOLOŠKA MATRICA

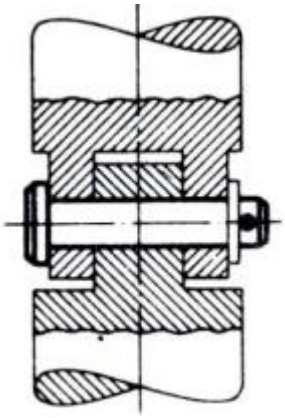
FUNKCIJE	PARCIJALNA RJEŠENJA		
Uređaj po antropometrijskim mjerama natkoljenice podesiti	 Princip steznika	 Princip steznika s podešavanjem širine	 Različite veličine komponente natkoljenice
	 Namještanje komponente natkoljenice po dužini i širini		
Uređaj po antropometrijskim mjerama potkoljenice podesiti	 Namještanje komponente potkoljenice po visini	 Namještanje visine uz	 Različite visine komponente potkoljenice

		pomoć prihvata na pancerici	
	 Princip steznika s podešavanjem širine		
Uređaj po antropometrijskim mjerama koljena podesiti	 Namještanje držača koljena po visini i širini	 Princip steznika za koljeno	Bez prihvata koljena
Prihvat natkoljenice omogučiti	 Princip steznika	 Princip steznika s podešavanjem širine	

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Prihvat potkoljenice omogučiti</td><td>
Princip trake</td><td>
Princip steznika s podešavanjem širine</td><td>Prihvat potkoljenice ostvaren preko prihvata konstrukcije na pancericu</td></tr>
<tr><td>Bez prihvata potkoljenice</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Prihvat koljena omogučiti</td><td>
Držač koljena</td><td>
Princip steznika za koljeno</td><td>Bez prihvata koljena</td></tr>
</table>

Natkoljenicu od ispadanja osigurati	 Princip steznika	 Princip steznika s podešavanjem širine	 Osigurati oblikom
	 Kopča	 Traka s čičkom	
Potkoljenicu od ispadanja osigurati	 Kopča	 Traka s čičkom	 Princip steznika s podešavanjem širine
	Bez prihvata potkoljenice		
Koljeno od ispadanja osigurati	 Držačem koljena		Bez prihvata koljena

		Principom steznika za koljeno	
Prihvat na pancericu omogučiti	 Prihvat s bočne strane na plastični dio pancerice	 Prihvat sa stražnje strane pancerice	 Prihvat sa stražnje gornje strane na plastični dio pancerice
Prihvat s pancerice od ispadanja osigurati	 Kopča	 Postojeći vijci na pancerici	 Novi vijci i zakovice za pancericu
Mišićima natkoljenice normalan rad omogučiti	 Princip steznika	Oblaganje konstrukcije mekanim materijalom	

Mišićima potkoljenice normalan rad omogučiti	 Princip steznika	Oblaganje konstrukcije mekanim materijalom	
Promjenu kuta između potkoljenice i natkoljenice omogučiti	 Zglobno spajanje	 Oblikovanje ležajnog mjesta	
Težinu skijaša na egzoskeleton prenijeti			
Težinu skijaša pohraniti/ povratiti	 Plinski prigušivač	 Opruga + plinski prigušivač	 Opruga

Kut torzije potkoljenice veći od 4⁰ u odnosu na natkoljenicu onemogučiti	Oblik konstrukcije 	Uz pomoć plinskog prigušivača/opruge 	

Koncept 1 

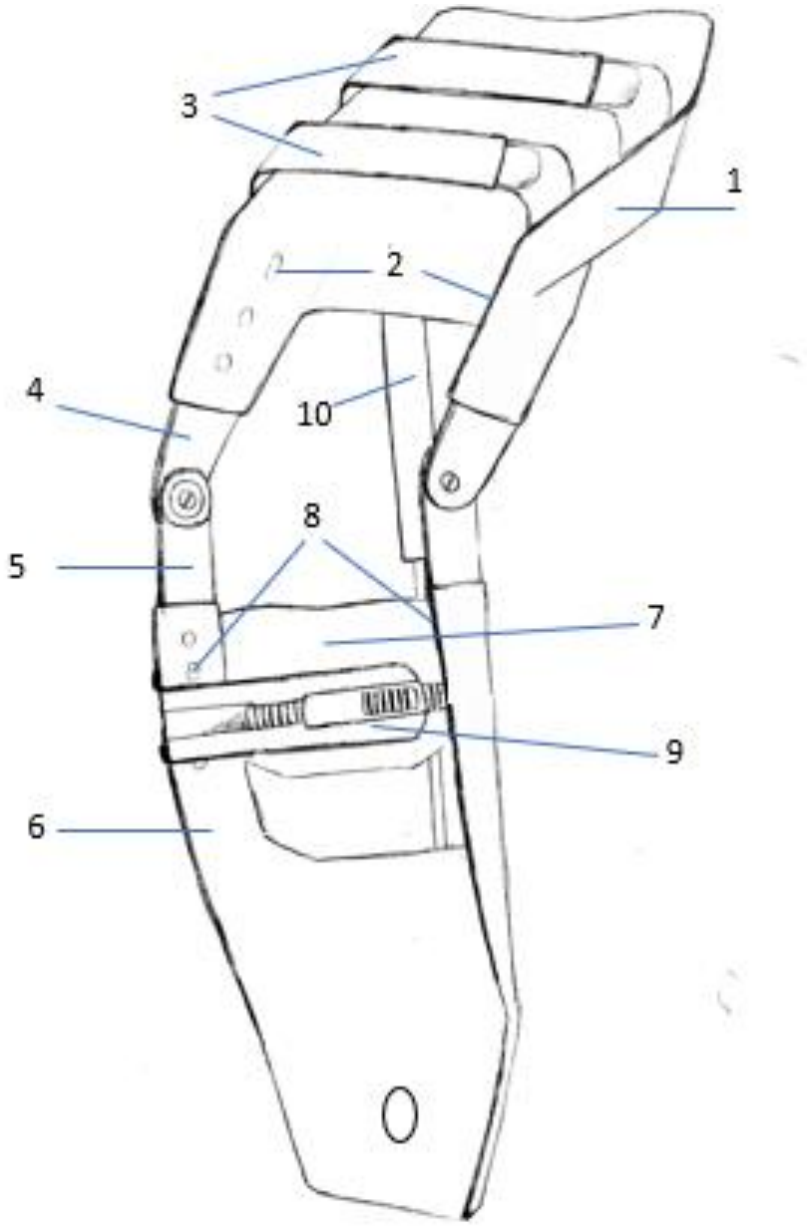
Koncept 2 

7. GENERIRANJE I ODABIR KONCEPATA

Uz pomoć morfološke matrice generirana su dva koncepta, Koncept 1 i Koncept 2 koji su detaljnije prikazani i opisani u potpoglavljima niže.

7.1. Koncept 1

Na slici 29 prikazan je Koncept 1.

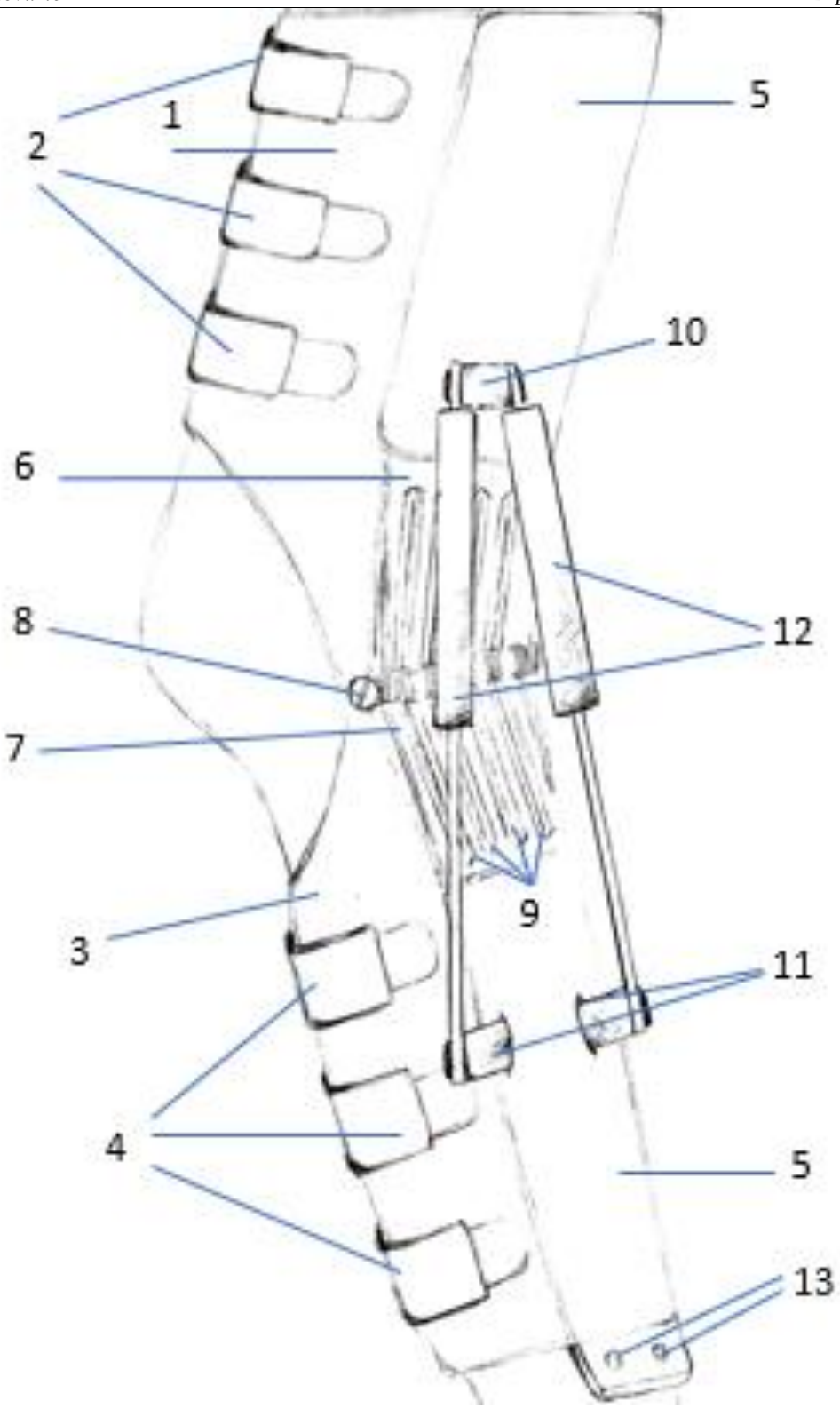


Slika 29. Koncept 1

Natkoljenica se prihvaća na dio označen brojem 1 na slici. Dio 1 se može antropometrijski namještati uz pomoć kuglica 2 koje potiskuje opruga, po dužini kako bi zadovoljio dužinu natkoljenice. Osiguravanje od ispadanja izvedeno je uz pomoć čičak traki 3 koje se također mogu zatezati po potrebama korisnika. Time je zadovoljeno kompletno namještanje dijela koji prihvaća natkoljenicu po antropometrijskim mjerama korisnika. Obloga od mekanog materijala omogućuje nesmetan rad mišića natkoljenice. Dio 1 je oblikom i preko kuglica spojen s dijelom 4. Dio 4 je spojen sa djelom 5 preko zglobnog mjesta koje omogućuje normalnu fleksiju i ekstenziju noge što je jedan od konstrukcijskih zahtjeva. Potkoljenica se na uređaj prihvaća na sljedeći način. Dio 7 naliježe na list korisnika sa stražnje strane potkoljenice, a s prednje je strane potkoljenice uređaj kopčom 9 prihvaćen u gornjem predjelu potkoljenice, ispod koljena korisnika. Kopča koja naliježe ispod koljena, s unutarnje strane, kao i i dio na koji naliježe list, obloženi su s mekanim materijalom. Kopča omogućuje antropometrijsko namještanje po opsegu potkoljenice korisnika. Dio 5 koji se spaja s dijelom 6 može se antropometrijski namjestiti po duljini potkoljenice uz pomoć kuglica 8 koje potiskuje opruga. Samim dizajnom konstrukcije i načinom prihvaćanja potkoljenice i natkoljenice onemogućena je rotacija potkoljenice u odnosu na natkoljenicu koja često dovodi do puknuća prednjeg križnog ligamenta u skijanju. Također, na dijelove 1 i 6 moguće je po potrebi spojiti plinski prigušivač 10 koji smanjuje težinu skijaša i na taj način rasterećuje mišiće natkoljenice i koljeno. Uređaj se na pancericu spaja preko provrta 11.

7.2. Koncept 2

Na slici 30 prikazan je kocept 2.



Slika 30. Koncept 2

Natkoljenica se prihvača na dio 1 koji izgleda kao steznik za natkoljenicu. Dio je izrađen od neoprena te se osiguravanje od ispadanja natkoljenice iz uređaja omogućuje stezanjem čičak traka 2. Također, čičak trake omogućuju da se uređaj može antropometrijski podesiti po širini

natkoljenice svakog korisnika, a neopren omogućuje nesmetan rad mišića natkoljenice. Potkoljenica se prihvača na dio 3 koji izgleda kao steznik za potkoljenicu. Osiguranje ispadanja potkoljenice iz uređaja također se omogućuje čičak trakama 4, koje omogućuju namještanje uređaja po antropometrijskim mjerama potkoljenice svakog korisnika. I dio 4 je izrađen od neoprena koji omogućuje normalan rad mišića potkoljenice. Dio 1 i dio 3 na stražnjoj strani imaju formirane džepove 5 u koje se umetnu uložak potkoljenice 6 i uložak natkoljenice 7. Dijelovi sadrže provrte preko kojih se uz pomoć malog vratila 8 i opruga 9 formira zglobno mjesto. Opruge, zbog svojih linearno – elastičnih svojstava, na ovaj način spajanja omogućuju rasterećenje mišića natkoljenice i koljena. Dijelovi 1 i 3 imaju formirana mjesta označena s brojevima 10 i 11 na koja se spajaju plinski prigušivači 12. Oni na ovaj način spajanja osiguravaju ravninu stopalo – koljeno – kuk, odnosno onemogućuju unutarnju ili vanjsku rotaciju potkoljenice u odnosu na natkoljenicu veću od 4º. Uređaj se na pancericu spaja preko provrta 13.

7.3. Vrednovanje koncepata

Tablica 5 prikazuje vrednovanje koncepata. Za referentni uređaj uzet je uređaj Againer koji je detaljnije opisan u trećem poglavlju. Ocjena svih karakteristika vrednovanja referentnog uređaja označena je s ocjenom 0, a koncepti koji se uspoređuju s referentnim uređajem mogu za svaku karakteristiku dobiti ocjenu od -3 do +3.

Karakteristike	Againer egzoskeleton	Koncept 1	Koncept 2
Omogučiti raspon kuteva između potkoljenice i natkoljenice	0	0	0
Onemogučiti torziju potkoljenice u odnosu na natkoljenicu veću od 4º	0	0	-
Omogućiti neovisno	0	0	+

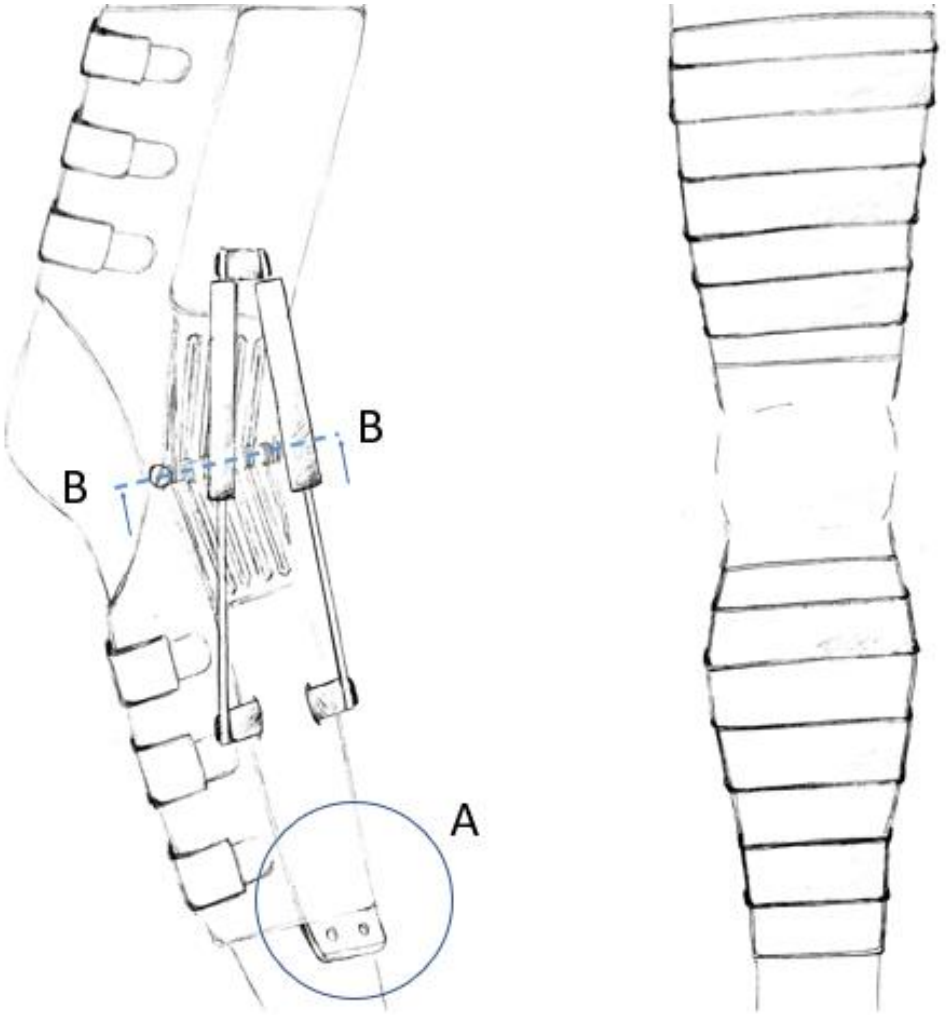
pomicanje lijeve i desne noge			
Omogućiti jednostavan prihvat na pancericu/nogu skijaša	0	0	0
Omogućiti jednostavno oblačenje/postavljanje uređaja	0	+	+ +
Omogućiti mišićima normalne funkcije	0	+	+ +
Omogučiti antropometrijsko prilagođavanje uređaja korisniku	0	+ +	+ +
Smanjiti opterećenje na kvadriceps i zglob koljena	0	0	0
Smanjiti negativan utjecaj na mišiće zbog potpore mišićima	0	+	+ +
Omogučiti da uređaj ne dođe u koliziju s ostalim sudionicima skijališta, opremom skijaša ili skijaškim liftovima/žičarama prilikom korištenja uređaja	0	0	+
∑	0	+5	+9

Tablica 5 Vrednovanje koncepata

Zbog ukupne krajnje ocjene od +9, za danju razradu odabran je koncept 2.

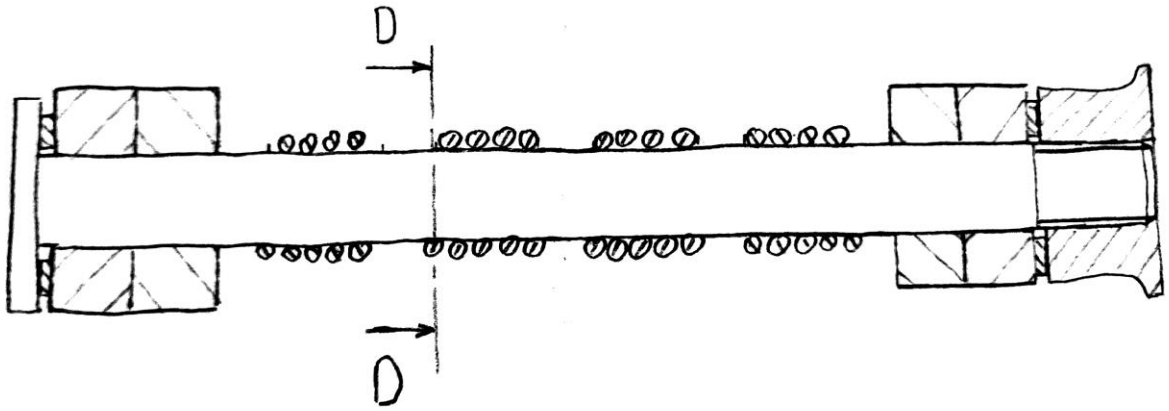
7.4. Razrada koncepta 2

Slika prikazuje Koncept 2.

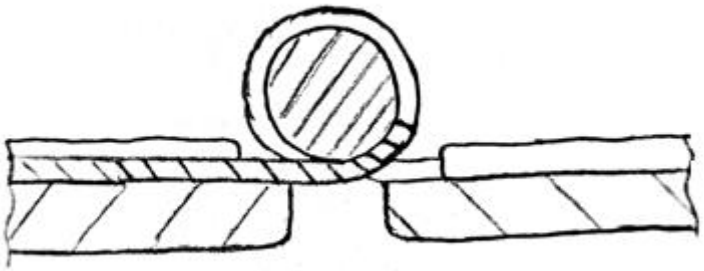


Slika 31. Koncept 2

Presjeci B-B i D-D prikazuju način spajanja uloška natkoljenice i uloška potkoljenice. Dva se uloška spajaju zglobno malim vratilom, koji prolazi kroz opruge. S vanjskih je strana postavljena podložna pločica, a vratilo se pritegne maticom. Opruge se od ispadanja osiguravaju oblikom udubine na ulošku natkoljenice i ulošku potkoljenice što detaljnije prikazuje presjek D-D.

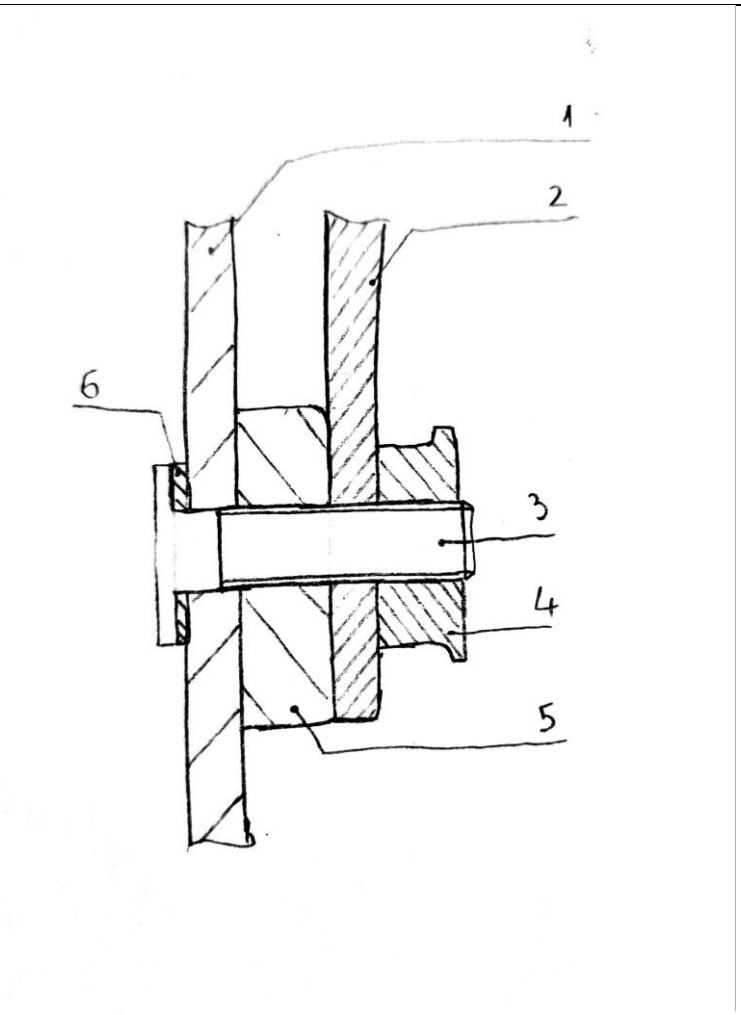


Slika 32. Presjek B-B



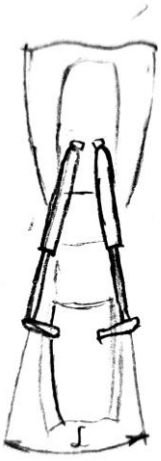
Slika 33. Presjek D-D

Detalj A prikazuje dio uloška potkoljenice koji se spaja na pancericu korisnika. Slika 34 detaljnije prikazuje način na koji se dio uloška potkoljenice spaja na pancericu. Pozicija 1 predstavlja stijenku pancerice na kojoj su napravljena dva provrta. Pozicija 5 označuje dio koji služi za prijanjanje na stražnji dio pancerice s jedne strane dijela, a s druge strane kao ravna površina za spajanje uloška potkoljenice 2. Pozicije 1, 2 i 5 vijčano su spojene uz pomoć vijka 3, podložne pločice 6 i matice 4.



Slika 34. Način spajanja uređaja na pancericu

Slika 35 prikazuje način ugradnje plinskih prigušivača koji međusobno stoje pod kutom α.



Slika 35. Način spajanja plinskih prigušivača

8. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada je prijedlog konstrukcijskog rješenja čija je glavna uloga smanjenje rizika nastajanja skijaških ozljeda. U uvodnom dijelu rada se opisuje skijanje kao veoma kompleksan i zahtjevan način kretanja u kojem postoji veliki rizik od ozljeđivanja. Prikazano je da unatoč razvoju i napretku skijaške opreme dolazi do povećanja broja ozljeda koljenog zgloba, koje su i danas najbrojnije među skijaškom populacijom. Potom su definirani unutarnji i vanjski faktori rizika koji bitno utječu na rizik od skijaške ozljede.

U drugom poglavlju je prikazana biomehanika skijaškog zavoja. Glavni pokreti skijaša u sagitalnoj ravnini jesu fleksija i ekstenzija koljena te pomicanje tijela naprijed i unazad, u frontalnoj ravnini su glavni pokreti pomicanje tijela lijevo i desno i u transferzalnoj ravnini glavne pokrete čine rotacija tijela ili rotacija donjih ekstremiteta. Definiran je kritičan trenutak koji predstavlja trenutak u kojem su skije paralelne sa snježnom površinom. Kritični trenutak se događa između dva zavoja kada dolazi do promjene opterećenja s jedne vanjske noge skijaša na drugu vanjsku nogu skijaša. Potom je uz pomoć programskog paketa Kinovea, napravljena analiza promjene kuta između potkoljenice i natkoljenice na vanjskoj i unutarnjoj nozi tokom skijanja. Prikazano je da kut između potkoljenice i natkoljenice vanjske noge raste od kritičnog trenutka do sredine zavoja, te je u sredini zavoja najveći i koljeno je u ekstenziji. Istodobno, kut između potkoljenice i natkoljenice unutarnje noge opada od kritičnog trenutka do sredine zavoja, te je u sredini zavoja najmanji i koljeno je u fleksiji. Završetak biomehaničke analize prikazuje opterećenja koja se javljaju prilikom skijanja niz padinu i prilikom skijaških zavoja. Detaljnije je prezentirana situacija u trenutku izvođenja zavoja, u kojoj skijaš gubi kontakt između skije i podloge, prije nego stražnji dio skije ponovo zahvati podlogu. Prikazana situacija naziva se „*Slip-catch*“ mehanizam ozljede koljena.

Treće poglavlje prikazuje uređaje koji su dostupni na tržištu i njihove glavne prednosti i nedostatke. Analizirani uređaji su ROAM Elevate, Againer i Ski-mojo uređaj. Najveća mana svim uređajima je antropometrijsko podešavanje uređaja korisnicima. Također, u ovom poglavlju je predstavljen i jedini relevantni patent za ovo područje primjene US8171570B2.

Četvrto poglavlje predstavlja definiciju cilja prijedloga konstrukcije za smanjenje rizika od skijaških ozljeda. Za primarno su tržište odabrane trgovine s prodajom i iznajmljivanjem skijaške opreme, a za sekundarno tržište škole skijanja. Ciljane grupe korisnika ovog uređaja jesu skijaši početnici, skijaši s niskom razinom fizičke pripremljenosti i profesionalni skijaši koji se vraćaju treninzima nakon ozljede. Također, određeni su i konstrukcijski zahtjevi koji slijede iz prethodnih poglavlja.

U završnom dijelu diplomskog rada prikazuje se koncipiranje konstrukcije za smanjenje rizika od skijaških ozljeda po konstrukcijskim zahtjevima iz četvrtog poglavlja. Kreirana je funkcijska struktura koja prikazuje koje sve funkcije proizvod mora zadovoljavati i kakvi su tokovi između pojedinih funkcija. Model relacija prikazuje koje su funkcije nužne za izvođenje drugih funkcija, te koje funkcije postoje radi uklanjanja neželjenih efekata. Na temelju funkcijske strukture i modela relacija, kreirana je morfološka matrica koja prikazuje sva moguća rješenja za izvršavanje pojedine funkcije uređaja. Kreirana su dva koncepta, koncept 1 i koncept 2. Koncept 1 je uređaj koji svojim oblikom sliči na Againer uređaj koji je dostupan na tržištu. Koncept 1 se može antropometrijski prilagoditi po duljini i širini natkoljenice i po visini i širini potkoljenice korisnika. Na dijelovima uređaja koji su u direktnom kontaktu s korisnikom je postavljen mekani materijal koji omogućava normalan rad mišića. Ovakvom konstrukcijom, koncept 1 je zadovoljio svim konstrukcijskim zahtjevima. Koncept 2 je izrađen od neoprena, te se uz pomoć materijala i čičak traka jednostavno može prilagoditi antropometrijskim mjerama korisnika i omogućuje mišićima nesmetan rad. Sa stražnje strane uređaja su formirani džepovi koji omogućuju prihvat uložaka potkoljenice i natkoljenice koji su međusobno spojeni oprugama i malim vratilom. Opruge zbog svojih linearno-elastičnih svojstava smanjuju opterećenja na mišiće natkoljenice i koljeno korisnika tokom skijanja. Također, na uređaj su postavljeni plinski prigušivači koji onemogućuju kut torzije potkoljenice u odnosu na natkoljenicu veći od 4˚. Usporedbom koncepata s referentnim Againer uređajem, prikazano je da su oba koncepta bolje ocijenjena od referentnog uređaja. Zbog veće ukupne ocjene, za danji je prikaz odabran koncept 2.

LITERATURA

[1] Feletti, F. (2017), *Extreme sports medicine*, Springer, Basel

[2] Xiang, H. et al. (2005), *Skiing- and snowboarding-related injuries treated in U.S. Emergency departments, 2002.*, Journal of Trauma, 58(1): 112-8

[3] Rossi, M.J.; Lubowitz J.H.; Guttmann, D. (2003), *The skier's knee*, Arthroscopy, 19(1):75-84

[4] https://www.newschoolers.com/news/read/All-wanted-ACL-injuries-ski-bindings, Kolovoz 2018.

[5] Ruedl, G. et al. (2011), *ACL injury mechanisms and related factors in male and female carving skiers: a retrospective study*, International Journal of Sports Medicine, 32(10):801-6

[6] Kipp, R.W. (2012), *Alpine skiing*, Human Kinetics, Champaign

[7] https://eliteskiing.com/2017/03/31/from-psia-examining-transitions/; Travanj 2020.

[8] Lind, D.; Sanders S.P. (2004), *The Physics of Skiing, Skiing at the Triple Point*, Springer-Verlag, New York

[9] https://storage.bljesak.info/article/183131/1280x880/ivica-kostelic-sochi.jpg; Travanj 2020.

[10] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/Ivica_Kosteli%C4%87_%2832097976256%29.jpg; Travanj 2020.

[11] Bere, T. et al. (2013), *Kinematics of anterior cruciate ligament ruptures in World Cup alpine skiing: 2 case reports of the slip-catch mechanism*, American Journal of Sports Medicine, 41(5):1067-73

[12] https://www.roamrobotics.com/ski; Ožujak 2020.

[13] https://againer-ski.com/; Ožujak 2020.

[14] https://www.skimojo.com/?v=fd4c638da5f8; Ožujak 2020.

[15] https://patents.google.com/patent/US8060945?oq=ski+exoskeleton; Ožujak 2020.