

Prototipno 3D modeliranje skijaške proteze

Tot, Robert

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:744521>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-08**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Diplomski rad br. 080/STR/2022

PROTOTIPNO 3D MODELIRANJE SKIJAŠKE PROTEZE

Robert Tot, 0069064118



**Sveučilište
Sjever**

Diplomski rad br. 080/STR/2022

PROTOTIPNO 3D MODELIRANJE SKIJAŠKE PROTEZE

Student: Robert Tot, 0069064118

Mentor: izv.prof.dr.sc. Sven Maričić

Varaždin, Prosinac 2022.

Izjava

Izjavljujem da sam samostalno uz korištenje stručne literature i pomoć navedenih mrežnih izvora napisao ovaj diplomski rad u kojem sam primijenio stečena teoretska i praktična znanja iz brojnih kolegija tijekom studija na Sveučilištu Sjever.

Zahvaljujem se prvenstveno mentoru izv. prof. dr. sc. Svenu Maričiću za pomoć, motivaciju, savjetovanje i vođenje prilikom izrade diplomskog rada, a također zahvaljujem se svim profesorima i asistentima koji su mi prenijeli svoja znanja i iskustva tijekom diplomskog studija, te me dodatno zainteresirali za područje strojarstva i motivirali za daljnji razvoj i učenje.

Robert Tot

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

PRISTUPNIK Robert Tot

IMBAG 0069064118

DATUM 17.11.2022.

KOLABIJ Prototipno 3D modeliranje

NASLOV RADA Prototipno 3D modeliranje skijaške proteze

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Prototype 3D modeling of a ski prosthesis

MENTOR Sven Maričić

ZVANJE izv.prof.dr.sc.

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Matija Bušić, predsjednik povjerenstva
2. doc.dr.sc. Zlatko Botak, član
3. izv.prof.dr.sc. Sven Maričić, mentor, član
4. izv.prof.dr.sc. Sanja Šolić, rezervni član
- 5.

Zadatak diplomskog rada

BROJ 080/STR/2022

OPIS

Definirati problematiku pristupom "Design thinking" metode. Prepoznati zahtjeve potencijalnih korisnika, generirati nekoliko različitih tehnoloških rješenja na temelju kojih će se izraditi 3D model vlastitog prototipa/idejnog rješenja sportske proteze pomoću programskog alata "Autodesk Inventor". Dati detaljan prikaz razrade uz pripadajuće prijedloge izbora materijala i proizvodnih postupaka za realizaciju i izradu prototipa.

ZADATAK URUČEN

21.11.2022.



Sven Maričić

Popis kratica

FIS - Fédération Internationale de Ski (Međunarodna skijaška organizacija)

CAD - Computer-aided design (računalom potpomognuto projektiranje)

3D – Trodimenzionalni prostor

m – metar, mjerna jedinica za duljinu

cm – centimetar, mjerna jedinica za duljinu

mm – milimetar, mjerna jedinica za duljinu

Sadržaj

Uvod.....	1
1. Proteze.....	2
1.1. Općenito o sportskim protezama.....	2
1.2. K klasifikacija	6
1.3. Skijaške proteze.....	8
2. Određivanje dimenzija proteze prema FIS direktivi	20
3. Parametarsko modeliranje.....	24
3.1. Excel tablica.....	25
3.2. Modifikacija dimenzija	29
4. Model proteze.....	33
5. Suvremena rješenja i materijali u proizvodnji sportskih proteza	36
Zaključak.....	38
Tablica slika.....	40

Sažetak

Ideja ovog diplomskog rada je koristeći metodu „Design thinking“ prepoznati i definirati zahtjeve i izazove natjecatelja ili rekreativnih korisnika kojima je potrebna proteza za skijanje i ostale sportske aktivnosti. Na temelju tih zahtjeva, generirati će se nekoliko ideja od kojih će se prema određenom broju parametara odrediti ona ideja koja ima najviše potencijala. Ta će ideja služiti kao temelj za izradu 3D prototipa koji će se projektirati u sklopu programskog alata Autodesk Inventor. Najveći dio diplomskog rada vezan je uz detaljan opis procesa i svake faze projektiranja - od prikupljanja potrebnih informacija, dimenzioniranja komponenti sklopa i na kraju krajeva izrade 3D modela. Uz sam kolegij „Prototipno 3D modeliranje“, u radu će se primijeniti i znanja iz ostalih kolegija. Naprimjer, pregled materijala koji se mogu koristiti i koji su trenutno predvodnici u industriji, te prijedlog proizvodnih postupaka koji bi se koristili za samu izradu proizvoda.

Fokus je na aditivnim tehnologijama, gdje god je to moguće. Razlog tome je taj što se pomoću njih može izuzetno precizno postići jedan od glavnih zahtjeva ovakvog tipa proizvoda, a to je personalizacija - odnosno prilagodba izvedbe za svakog korisnika posebno. U konačnici, podešavanjem nekoliko parametara, model će se moći dodatno optimizirati i prilagođavati raznim zahtjevima.

Ključne riječi: proteza, skijanje, prototip, model, projektiranje

Abstract

The idea of this thesis is to use the "Design thinking" method to recognize and define the requirements and challenges of competitors or recreational users who need a prosthesis for skiing and other sports activities. Based on these requirements, several ideas will be generated, from which the idea with the most potential will be determined according to a certain number of parameters. The ideas will serve as the basis for the creation of a 3D prototype that will be designed as part of the Autodesk Inventor software tool. The major part of the thesis is related to a detailed description of the process and each phase of the design - from gathering the necessary information, dimensioning the components of the assembly and finally creating a 3D model. In addition to the "Prototype 3D Modeling" course itself, knowledge from other courses will be applied. For example, an overview of the materials that can be used and which are currently leaders in the industry, and the review of production procedures that would be used to make the product itself.

The focus is on additive technologies, wherever possible. The reason for this is that with them one of the main requirements of this type of product can be achieved extremely precisely. That is personalization - performance adjustment for each user separately. Ultimately, by adjusting several parameters, the model will be able to further optimize and adapt to various requirements.

Keywords: prosthesis, skiing, prototype, model, design

Uvod

Bavljenje sportom bilo rekreativnim ili natjecateljskim važan je dio svakodnevice velikog dijela ljudske populacije. Svatko ima neku svoju omiljenu aktivnost kojim održava svoje fizičko i psihičko zdravlje. Međutim, osobe s invaliditetom često se susreću s brojnim ograničenjima i izazovima. Kako u svakodnevnom životu, tako i u bavljenju sportom. Kako bi njihov doživljaj sporta i fizičke aktivnosti bio što sličniji onome da nemaju tjelesnih oštećenja, često im je potrebna značajna količina dodatne opreme poput raznih proteza, pomagala, specijalnih invalidskih kolica i ostalog pribora. U početku su takva pomagala bila izrazito jednostavne izvedbe, međutim rapidnim razvojem znanosti, tehnologije i novih materijala otvaraju se nove mogućnosti koje osobama s invaliditetom omogućuju bavljenje sportom na jednoj višoj razini.

Proteze i popratna sportska pomagala postaju sve složenija, izdržljivija i sve u svemu - naprednija. Međutim, kako su same proteze sve kompleksnije, tako su i faze istraživanja i razvoja puno drugačije, inovativnije, te složenije nego prije. Jedna od metoda koja je u industriji prepoznata kao izuzetno efikasna za rješavanje raznih problema je "Design thinking". U nastavku ovog rada upravo će ona biti temelj modeliranja 3D prototipa idejnog rješenja koje ima za cilj osobama s invaliditetom olakšati sportske aktivnosti. S druge strane, poseban aspekt na koji je potrebno obratiti pozornost prilikom projektiranja je individualizacija, odnosno kompatibilnost sportaša i proteze. Potrebno je odabrati ispravan pristup za modificiranje raznih oblika i veličina izvedbi, a u ovom je slučaju to je parametarsko modeliranje koje omogućuje prema traženim dimenzijama jednostavnu i brzu preinaku, te prilagodbu za proizvodni proces.

Zahvaljujući suvremenim programskim alatima, modeliranjem, optimiziranjem i simuliranjem ponašanja sklopova i materijala u eksploataciji otvara se prostor za razumijevanje i prognoziranje životnog ciklusa proizvoda i ukazivanje na manjkavosti i greške u dizajnu čak i prije faze testiranja i proizvodnje.

1. Proteze

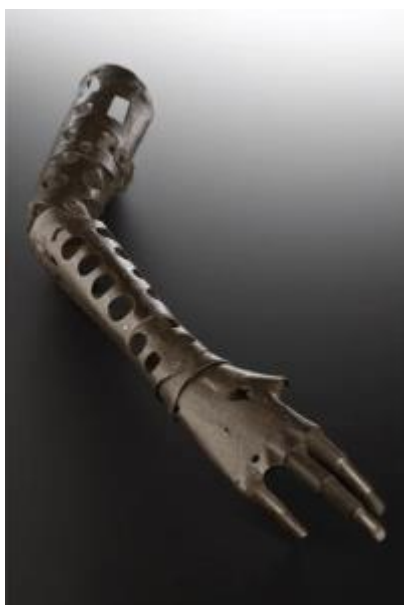
1.1. Općenito o sportskim protezama

Teške ozljede udova, nesretni slučajevi i razne infekcije nažalost relativno često rezultiraju gubitkom cijelog ili određenog dijela ekstremiteta unesrećenih osoba. Nakon rehabilitacije, razna pomagala nužna su im potreba za izvršavanje osnovnih životnih funkcija, a za svojevrsni nadomjestak izgubljenih ekstremiteta izrađuju se proteze gornjih i donjih udova. Prve poznate proteze sežu još u doba starog Egipta kada se amputacija udova smatrala kao jedino moguće rješenje za sanaciju težih povreda. Tada su se izrađivale proteze isključivo radi estetskog dojma, dok je funkcionalnost bila minimalna. Na slici u nastavku prikazana je jedna takva proteza koja je ozlijeđenoj osobi služila za nadomjestak izgubljenog prsta [1].



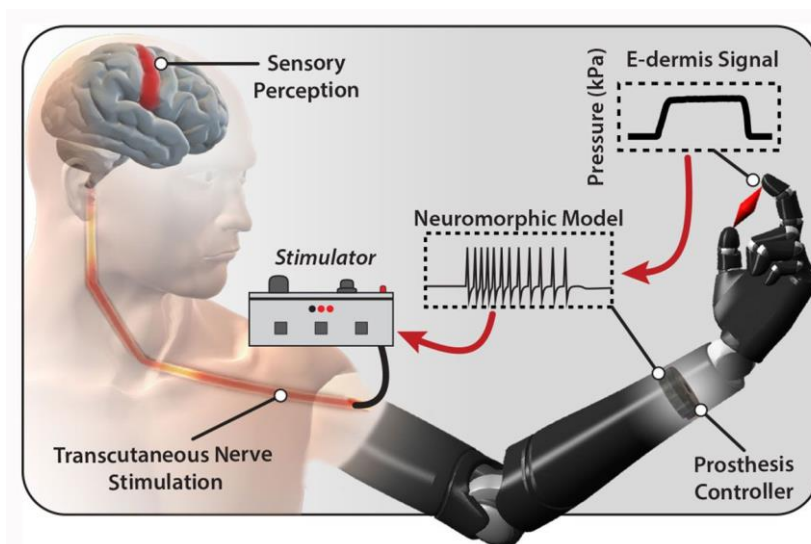
1. Primjer proteze za prst [<https://matmatch.com/resources/blog/generation-bionic-sportsmen-artificial-limbs-for-equality/> (pristupljeno, 02.12.2022.)]

U ratnim zbivanjima koje su obilježile burnu prošlost ljudske povijesti, enorman broj vojnika stekao je teške ozljede. Manjak ljudstva u određenim situacijama zahtijevao je razvoj novih ideja i izradu unaprjeđenih proteza koje nisu više služile samo za estetski dojam, nego su i stekle određenu funkcionalnost. Tako na slici u nastavku vidimo primjer proteze koja je ratnicima s izgubljenim udovima omogućavala daljnju borbu, a funkcija ove proteze bila je držanje štita ili oružja u borbi [1].



2. Primjer proteze za ratnike [<https://matmatch.com/resources/blog/generation-bionic-sportsmen-artificial-limbs-for-equality/>] (pristupljeno, 02.12.2022.)]

Danas razvojem mehaničkih i bio-mehaničkih sustava osoba može u određenoj mjeri upravljati i kontrolirati svoju protezu, izvršavati razne pokrete, te po potrebi obavljati njome i neke kompleksnije zadatke. Tako su u fokusu razne mio-električne proteze, odnosno npr. „robotske ruke“ koje osobi s invaliditetom pomoću kombinacije senzora i pokreta neoštećenih mišića omogućavaju manipuliranje protezom [1].

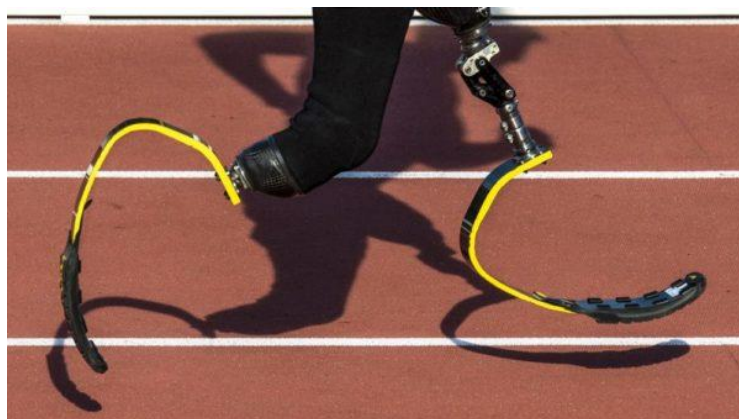


3. Primjer upravljanja mioelektričnom protezom [<https://spectrum.ieee.org/a-prosthetic-that-feels-pain>] (pristupljeno, 02.12.2022.)]

S druge strane, specijalizirane sportske proteze temeljni su alat za bavljenje sportom osobama kojima su amputacijama ekstremiteta smanjene mogućnosti samostalnog kretanja i aktivnog sudjelovanja u sportskim aktivnostima. Njima nastoje u najvećoj mogućoj mjeri dostići gotovo približno iskustvo kao da nemaju tjelesno oštećenje, a rapidan razvoj tehnologije, materijala i proizvodnih postupaka svakodnevno pomiču granice čime doživljaj i rezultate sportaša s invaliditetom dovode na najvišu moguću razinu. Međutim, uloga proteze nije samo funkcionalnost i pomoć pri hodanju i kretanju, nego i estetski dojam kojim se u određenoj mjeri pokušava prikriti nedostatak ekstremiteta. Danas na tržištu postoji velik broj proteza koje savršeno imitiraju oblik udova i boju kože što osobama s amputacijama daje širok izbor pri odabiru [1].

Projektiranje i izrada sportskih proteza kombinacija su znanja i iskustva iz širokog raspona znanstvenih područja, od medicine do strojarstva. Danas, kada je vrhunski sport postao svojevrsna industrija, velika količina financijskih sredstava ulaže se u razvoj sportske opreme, a posebno u sportaše u kojima investitori vide veliki marketinški potencijal. Sportaši s invaliditetom ovdje nisu izuzetak, te su onima na najvišoj razini omogućena sredstva za testiranje i primjenu najnaprednijih solucija [1].

Na slici u nastavku prikazana je jedna varijanta moderne sportske proteze namijenjene za trčanje izrađena u najvećoj mjeri od ugljičnih vlakana. Performanse ove proteze vrhunskom sportašu omogućuju postizanje približno jednakih rezultata kao i osobama bez invaliditeta [1].



4. Moderna sportska proteza za trčanje [<https://mcopy.com/blog/resources/sports-prosthetics-a-guide-for-amputee-athletes/> (pristupljeno, 03.12.2022.)]

Proteza kao takva najčešće ima nekoliko dijelova. Prvi je ležište proteze koje u suradnji sa spojnim dijelom povezuje protezu i osobu koja ju koristi. Mjesto spajanja sa strane osobe je pozicionirano na kraju oštećenog ekstremiteta. Mora biti prilagođeno dimenzijama ležišta i precizno prianjati uz oštećeni dio tijela. Kako je individualizacija najpotrebnija za izradu ležišta, kućište se može izraditi 3D skeniranjem oštećenog dijela ekstremiteta na temelju kojeg se 3D printom može napraviti kućište prema zadanim dimenzijama. Ležište, odnosno uložak ili čašica mogu se smatrati jednim dijelom, a također služe i kao spojno mjesto ostalih dijelova proteze izrađenih od za to namijenjenih materijala. Budući da je potrebno obratiti pozornost na masu, dijelovi proteze često se izrađuju od aluminija, titana ili nehrđajućeg čelika. Dio proteze koji povezuje ležište, uložak i stopalo je svojevrsna cijev, odnosno nosač ili neki drugi prikladan oblik koji oponaša funkciju i izgled cjevanice, odnosno potkoljenice. Preostalu skupinu čine potrošni dijelovi poput raznih navlaka za vizualni dojam ili određena zaštita proteze od oštećenja u eksploataciji [1].



5. Dijelovi proteze [<https://www.prosthetic.com.sg/resources> (pristupljeno, 03.12.2022.)] Uređeno prema izvoru

1.2. K klasifikacija

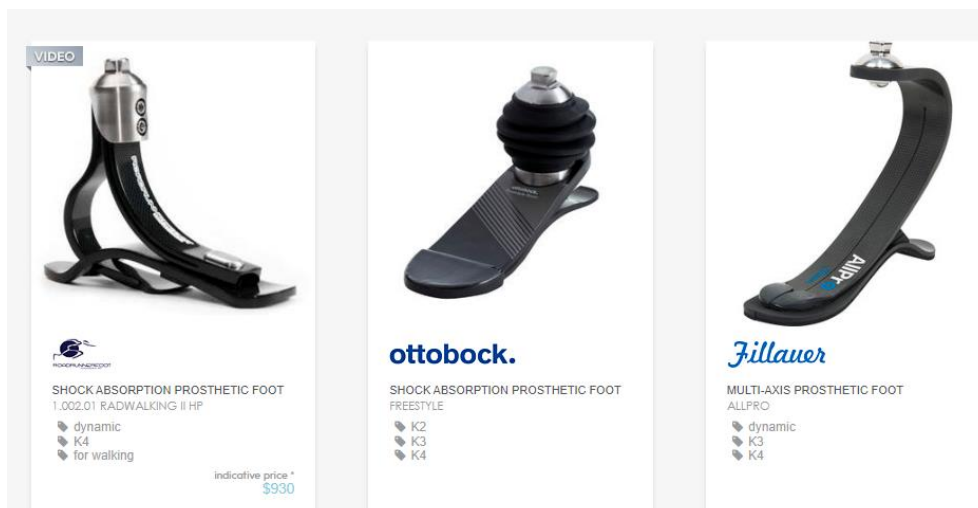
Kako bi se osobama s amputacijama olakšao odabir primjeren njihovim potrebama i mogućnostima, potrebno je definirati kategorizaciju za njih pogodnih proteza. Svaka proteza se prilikom projektiranja prilagođava određenim stupnjevima prema takozvanoj K klasifikaciji. Pet je osnovnih podjela, počevši od K0 sve do K4 [2].

- K0 – najteži slučaj u kojem proteza neće moći pomoći korisniku u unaprjeđenju njegovih svakodnevnih životnih i sportskih aktivnosti budući da se bez nekog oblika dodatne pomoći ne može samostalno kretati [2].
- K1 – osoba ima ograničenu sposobnost samostalnog kretanja, no proteza mu može služiti eventualno za obavljanje najnužnijeg kretanja po ravnim površinama i na malim udaljenostima, najčešće u okruženju doma [2].
- K2 – slično kao prethodna kategorija, međutim u ovom slučaju osoba ima potencijal kretati se i po neravnim površinama, te prelaziti određene manje prepreke poput stepenica ili rubnjaka, ali sve u svemu, kretanje je ograničeno [2].
- K3 – osoba se može samostalno kretati, a proteza joj je potrebna za izvršavanje zahtjevnijih zadaća, te može samostalno savladavati zahtjevnije prepreke puno samostalnije nego osoba prethodne kategorije [2].
- K4 – osoba ima sposobnosti i mogućnosti aktivnog kretanja i bavljenja sportom te je spremna izdržati opterećenja i napore koje aktivan sport donosi. Korisnici iz ove kategorije ciljani su skupina za temu ovog diplomskog rada i općenito za izrade najnaprednijih sportskih proteza [2].

Na slikama u nastavku prikazana je ponuda proteza sa stranice jednog od dobavljača od kojih je svaka kategorizirana prema K skupini. Na tržištu se nalazi čitav raspon rješenja, ali u smislu sportskih proteza fokus je na naprednijim rješenjima, a najveći je

izbor upravo za kategorije K3 i K4. Korisnici tih kategorija za natjecateljske potrebe zahtijevaju najbolje materijale i najbolje performanse [2,3].

Izrađene su u najvećem dijelu od ugljičnih vlakana koje su svojevrsni standard i najčešći odabir velike većine proizvođača zbog svojih mehaničkih svojstava. Iako na prvi pogled sve izgledaju slično, svaki proizvođač odlučuje se za svoju varijantu oblika, materijala, komponenti za prigušivanje vibracija, načine spajanja i ostale funkcionalnosti [2,3].



6. Izbor proteza s obzirom na K razred [<https://www.medicaexpo.com/medical-manufacturer/k4-prosthetic-foot-52541.html> (pristupljeno, 03.12.2022.)]



7. Proteza K4 kategorije s silikonskim dodatkom [<https://www.medicaexpo.com/prod/college-park/product-74912-707218.html> (pristupljeno, 04.12.2022.)]

Na slici iznad prikazano je stopalo proteze K4 kategorije. Također je izrađena od ugljičnih vlakana i aluminijskih legura čime je postignut idealan balans mehaničkih svojstava, budući da su prikladne za osobe do 160 kg težine. Kao i za većinu ostalih proteza, dodatak u obliku silikonske navlake uvjerljivo oponaša izgled stopala [11].

1.3. Skijaške proteze

Dokumentirana povijest skijanja osoba s invaliditetom seže unazad 100 godina od kada su poznati prvi znaci takozvanog adaptivnog skijanja, odnosno aktivnosti skijanja bez proteze kao takve, ali uz pomoć pomagala u vidu specijalno dizajniranih skijaških štapova u obliku skraćenih skija koje skijašu omogućavaju održavati balans. Adaptivno skijanje takvim pomagalima najjednostavniji je oblik približavanja iskustva skijanja osobama s invaliditetom koje se ne služe protezom. Međutim, ono je idejno i bilo pogodno isključivo za osobe s gubitkom jednog ekstremiteta. Osobe s amputacijama obje noge bile su svakako primorane koristiti specijalizirane proteze koje u prošlosti nisu bile lako ili uopće dostupne. Eventualna alternativa je bila i ostala koristiti specijalne sjedalice koje su bile pričvršćene za jednu skiju, odnosno skijašku dasku [4].



8. Počeci adaptivnog skijanja [<https://livingwithamplitude.com/article/history-of-amputee-skiing-paul-leimkuehler-fresh-tracks-documentary/>] (pristupljeno, 04.12.2022.)]

Adaptivno skijanje u specijaliziranim sjedalicama je i danas popularno za osobe s invaliditetom, budući da se razvojem tehnologije i materijala postiže ugodnija vožnja, a modularni elementi mogu se koristiti i za druge sportove [4].



9. Specijalizirana sjedalica [<https://enablingtech.com/collections/monique-mono-ski/products/monique-mono-ski-frame-only> (pristupljeno, 04.12.2022.)]

Slika 9.

Međutim, današnje su proteze relativno kompleksni sustavi koji sportašu omogućuju visoku razinu udobnosti, ostvarivanje vrhunskih rezultata, te su zbog materijala koji se koriste prilikom izrade iznimno izdržljive na vanjske utjecaje, spremne za relativno velika opterećenja, a aktivnost skijanja samom sportašu približavaju na najvišu moguću razinu, sličnu onoj kao da nemaju tjelesnog oštećenja [5].



10. Moderna skijaška proteza [<https://www.medicalexpo.com/prod/freedom-innovations/product-74876-457134.html> (pristupljeno, 04.12.2022.)]

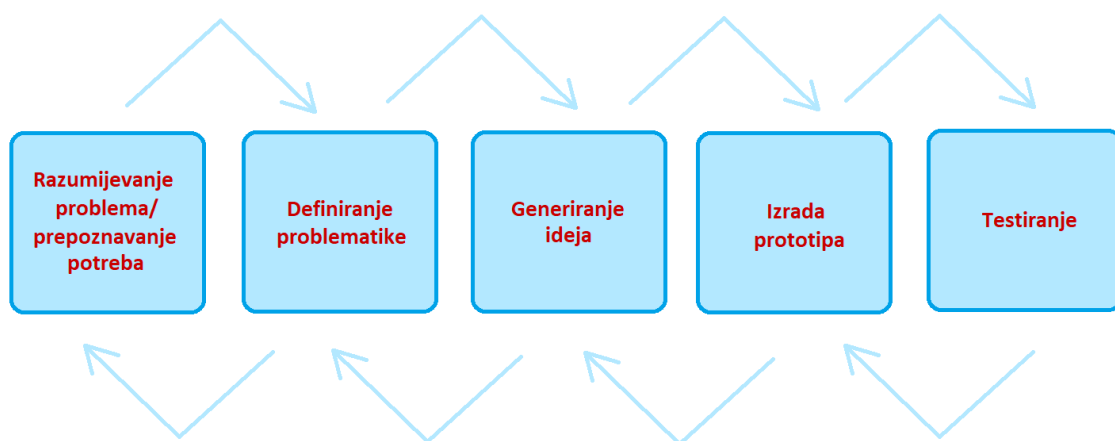
2. Design Thinking

Design thinking svojevrsni je koncept rješavanja raznih problema i razvijanja ideja do konačnog proizvoda s ciljem ispunjavanja potreba potencijalnog klijenta koji će upotrebljavati taj proizvod. Razlog zašto je ovaj koncept izrazito pogodan za razvoj tipa proizvoda kao što je tema ovog diplomskog rada - skijaška proteza, je taj što je sam "design thinking" usmjeren prije svega ka ljudskim potrebama. U prijevodu, fokus nije na nekom općenitom problemu kojeg je potrebno rješavati, nego kako zadovoljiti potrebe ljudi koji se susreću s raznim izazovima u svakodnevnom životu. Metoda je bazirana na 5 glavnih koraka od kojih svaki ima svoje zahtjeve i smjernice koje je potrebno slijediti. Međutim, važno je naglasiti da sama metoda nije linearna nego kružna jer prilikom cijelog procesa s ciljem dobivanja najoptimalnijeg rješenja dolazi do potrebe za povratkom na prijašnje korake i daljnjom razradom istih [6].

Prvi korak je **razumijevanje problema/prepoznavanje potreba** i izazova s kojima se potencijalni korisnici susreću u svakodnevnom životu. U ovom su slučaju to osobe s invaliditetom koje su razvile želju za natjecateljskim ili rekreativnim skijanje. Njima je proteza nužna za hodanje i skijanje, ali proteza mora biti prilagođena njihovim potrebama i projektiranje mora biti vođeno njihovim smjernicama. Zatim slijedi **definiranje problematike** za koju će se u sljedećim koracima tražiti najbolje idejno rješenje. Problematika je usko vezana uz traženje rješenja za njihove zahtjeve, a u narednim fazama i eliminiranje nedostataka postojećih rješenja. Sljedeći korak je **generiranje što većeg broja kvalitetnih ideja** na temelju kojih će se od one najoptimalnije **izraditi prototip**. Taj će se prototip u više faza **testirati**, te je za očekivati pojavljivanje određenog broja nedostataka koje je potrebno usavršiti [6].

Nakon testiranja nužan je povratak na prijašnje korake jer je za definiranje i prepoznavanje potencijalnih unaprjeđenja proizvoda često potrebno generiranje novih ideja na temelju iskustva i saznanja prikupljenog prilikom testiranja i identificiranje novih poboljšanja i mogućnosti koje se mogu implementirati u razvoju proizvoda [6].

U fazi testiranja je bitno uključiti ciljanu skupinu korisnika upravo iz razloga što su oni najkompetentniji za korisne povratne informacije koje će se moći iskoristiti za daljnju razradu problema i dovesti do zadovoljavajućeg rješenja. Ukoliko se ciljana skupina ne uključi, a ideje se donose bez konzultacije s relevantnim korisnicima, velika je mogućnost da može doći do pogrešnih zaključaka i propusta prilikom ispunjavanja zahtjeva korisnika proizvoda jer samo osobe koje se u svakodnevnom životu susreću s raznim problemima mogu dati prave informacije o dobrim, ali i (još važnije) lošim stranama prototipa [6].



11. Grafikon koraka Design thinking metode [6]. Uređeno prema izvoru

Na slici 10. dan je grafički prikaz faza u “Design thinking” procesu. U literaturi se nalaze razne varijacije ovog prikaza, međutim ideja i baza su uvijek identične i na istom principu [6].

Iako početni korak je prepoznavanje potreba, često prilikom ostalih faza procesa dolazi do novih saznanja koje donose dodatne zahtjeve i traže nova rješenja, te je zato bitno primijetiti konstantan povratak na prethodne faze iz razloga što proces ne završava jednim testiranjem. Nužna je izrada brojnih prototipa na temelju kojih će doći do novih saznanja, ali nerijetko i odbacivanja pretpostavljenih pogrešnih zaključaka. Često se upravo u fazi testiranja otkrije najveći broj nedostataka koji zahtijevaju korekciju, otkriju nove potencijalne specifikacije i značajke i manjkavosti u dizajnu koje se mogu ukloniti. Preskakanje koraka ili nepotpuna evaluacija svakog pojedinačnog koraka neće rezultirati kvalitetnim rješenjem [6].

1.1. Prepoznavanje potreba

Prva faza u razvoju projektiranja skijaške proteze je razumijevanje problema s kojima se ciljana skupina suočava. U ovom je slučaju riječ o osobama s invaliditetom koje se žele rekreativno ili natjecateljski baviti sportom. Iako je osnovna zadaća skijaške proteze omogućiti iskustvo skijanja što bliže onome bez pomagala, postoje određene razlike između potreba natjecatelja i rekreativnih skijaša. Konkretno, natjecateljima je fokus na performansama, izdržljivosti i korištenju najboljih mogućih materijala. Također, *Međunarodna skijaška organizacija (FIS)* propisala je jasne smjernice za izvedbe, dimenzije i materijale koji se smiju koristiti prilikom projektiranja i proizvodnje, a direktno su povezani sa stupnjem invaliditeta sportaša. S druge strane, rekreativnim korisnicima svakako je bitnija udobnost, jednostavnost korištenja, održavanje i prihvatljiva cijena. U nastavku je dan prikaz osnovnih zahtjeva koje je potrebno ispuniti. Međutim, kao što je i ranije rečeno, tijekom procesa projektiranja doći će do novih spoznaja i prepoznavanja potreba koje možda nisu odmah prepoznate [6].

Inicijalna lista zahtjeva:

- 1) Dimenzije - unaprijed su definirane s obzirom na ostale ekstremitete. Budući da tjelesno oštećenje može biti različito od osobe do osobe, na temelju ranije definiranih podataka dimenzioniraju se duljine proteze "potkoljenice" i "stopala", odnosno horizontalnog i vertikalnog segmenta. Međutim, za dimenzioniranje osnovnih gabarita prilikom projektiranja natjecateljske proteze važno je slijediti službenu dokumentaciju krovne organizacije sporta pod čijem okriljem se natjecanje odvija. U ovom slučaju to je FIS, te će se u nastavku rada prikazati metode i formule određivanja dimenzija koje je potrebno strogo poštovati [6].
- 2) Materijali - cilj je odabrati najpovoljniji materijal sa stajališta performansi. Bitno je da proteza nema preveliku masu, te mora biti otporna na niske temperature i ostale vanjske utjecaje. Najčešće su to razni kompoziti i legure gdje se kombiniraju različiti materijali s ciljem postizanja najbolje varijante. Kod natjecateljskih izvedbi posebno je bitna izdržljivost iz razloga što prilikom samog skijanja dolazi do relativno velikih dinamičkih naprezanja [6].

- 3) Udobnost i jednostavnost korištenja - primarna stavka prilikom odabira proteze kod rekreativnih skijaša, posebice kada se proteza mimo sportskih aktivnosti koristi i za svakodnevni život, odnosno za hodanje. Iznimno je bitno smanjiti opterećenja na ostale dijelove tijela. Jedno od rješenja koje se u praksi pokazalo kao veoma učinkovito je korištenje raznih varijanti amortizera, orpuga i ostalih prigušivača vibracija. Što se tiče jednostavnosti korištenja, važno je uzeti u obzir okolnosti u kojima se aktivnost skijanja odvija. Prvenstveno je bitno uzeti u obzir niske temperature i da će korisnik nositi rukavice. Iz tog je razloga sve elemente za upravljanje poput primjerice tipkala, poluga ili vrpce za potezanje potrebno izvesti nešto većih dimenzija od uobičajenih kako bi se omogućilo lakše rukovanje. Osim toga, za povezivanje proteze sa skijašem bitno je projektirati ili izabrati najjednostavniji mogući mehanizam povezivanja, ali da on istovremeno bude siguran za korisnika i da se ne može nenamjerno raskinuti što bi prilikom skijanja moglo biti izuzetno opasno, a u neželjenom slučaju rezultirati i dodatnom ozljedom [6].
- 4) Jednostavnost održavanja - također jedan od bitnih segmenata kod rekreativnih korisnika. Prosječnom je korisniku potrebno omogućiti relativno jednostavan popravak ili zamjenu dijelova. Sam sklop bi trebao biti što je moguće jednostavniji sa stajališta rastavljanja i sastavljanja. Poželjno je koristiti što više normiranih i standardiziranih lako dostupnih dijelova kako bi se korisniku u slučaju kvara ili loma neke od komponenata omogućila brza i jednostavna nabava dijelova [6].
- 5) Kompatibilnost - proteza mora biti kompatibilna u više segmenata. Prvi je mjesto spoja s univerzalnim mehanizmima koji su standard u povezivanju korisnika s protezom, primjerice vijčani spoj. Druga kompatibilnost ovisi o izvedbi same proteze. Ona može biti ili predviđena za direktno spajanje sa skijom (donji dio proteze se kao pancericica spaja s vezom) ili da donji dio proteze ulazi u pancericu koja se potom standardno povezuje sa skijom. Kod prvog je slučaja važno obratiti pozornost na dimenzije, a u drugom je slučaju važno da oblik horizontalni segment bude jednak obliku stopala [6].

1.2. Generiranje ideja

Na osnovu prepoznavanja potreba potrebno je generirati što veći broj kvalitetnih i smislenih ideja koje će biti temelj za izradu prototipa u sljedećoj fazi. One se mogu kategorizirati prema više faktora. Npr. način spajanja sa skijom, izvedba spojeva, izvedba amortizera, odabir materijala i slično. Faza generiranja ideja je usko povezana s fazom prepoznavanja potreba. Što se tiče izrade skijaške proteze, u nastavku je dan prikaz potencijalnih ideja [6].

1. Način spajanja sa skijom - dvije su mogućnosti: Prva je direktno spajanje proteze sa skijom jer donji dio proteze može biti izveden kao dno pancericice, odnosno da se na oba kraja sklopi s vezom. Druga izvedba predstavlja slučaj kada je donji dio proteze oblika stopala i kao takav ulazi u pancericu koja ograničava pomicanje i klasičnim je spajanjem pancericice sa skijom skijaš spreman za aktivnost. Najoptimalnije rješenje je svakako izvedba proteze s jednostavnim mehanizmom koji se može rastaviti kako bi se korisnik sam odlučio koja varijanta mu više odgovara, odnosno svojevrsna kombinacija. Svaka solucija ima svoje prednosti. Primjerice varijanta kod koje nema potrebe za pancericom naprosto otklanja trošak kupovine pancericica, dok s druge strane izvedba s pancericama može biti zanimljiva korisnicima kojima vizualni segment predstavlja bitnu stavku jer se u tom slučaju proteza ne vidi i gotovo da se ne može primijetiti da skijaš ima protezu. Također, ta je varijanta za rekreativnog skijaša i praktičnija jer je promjena obuće iz pancericice u cipelu/tenisicu znatno jednostavnija. Na slici br.2 prikazano je rješenje direktnog spajanja na skijom od strane njemačke tvrtke „Otto Bock“ specijalizirane za izradu invalidskih pomagala. Njihova proteza sa slike „ProCarve“ prepoznata je i od strane svjetske skijaške krovne organizacije i posebno je naglašena u natjecateljskoj dokumentaciji kao proteza koja se može koristiti bez pancericice [6,7].



12. ProCarve sustav [<https://www.anpiffinsleben.de/amputierte/bewegungs-und-sportangebote/skifahren.html> 03.12.2022. (pristupljeno: 06.12.2022.)]

U sklopu ovog rada izraditi će se dvije varijante spajanja. Prvi model idejnog rješenja predstavlja solucija sa direktnim spajanjem proteze i skije, dok druga varijanta sadrži svojevrsni nastavak koji imitira oblik stopala, te skladno ulazi u pancericu prateći formu unutrašnjosti. U fazi testiranja korisnici će moći odrediti koja im varijanta više odgovara, te se na temelju njihove povratne informacije može odrediti finalno rješenje. Ipak, modularno rješenje se postavlja kao najoptimalnije [6].

2. Kod izvedbe spojeva povezivanja korisnika i proteze postoji nekoliko varijanti, svaka sa svojim prednostima i nedostacima. Spoj može biti izveden kao vijčani ili nekom varijantom zglobnog mehanizma. U svakom slučaju važno je da bude siguran za korisnika i da se spriječi svaka mogućnost raskidanja spoja posebno prilikom skijanja na većim brzinama jer može doći do teških posljedica i ozljeda za korisnika. Što se tiče spojeva samih elemenata proteze, bitno je koristiti vijke kojim je moguće spojiti i od spojiti dijelove lako dostupnim alatom. Često se na skijalištima nalaze stanice s odvijačima (npr. križnim) koje služe za podešavanje opreme koji mogu poslužiti i za protezu [6].

1.3. Skiciranje potencijalnih rješenja

Za izradu modela i projektiranje idejnih rješenja koristiti će se programski alat Autodesk Inventor. Što se tiče 3D CAD modeliranja općenito, dva su osnovna pristupa. Razlikujemo parametarsko i tzv. direktno modeliranje. Oba pristupa imaju svoje značajke, prednosti i mane. U nastavku su prikazana dva primjera, po jedan za svaku vrstu. Međutim, zbog specifičnosti teme rada, fokus je na parametarskom modeliranju s ciljem postizanja traženih dimenzija za sve sportaše prema njihovim individualnim zahtjevima i odgovarajućim dimenzijama. Varijanta proteze s direktnim spajanjem sa skijom izvedena je principom direktnog modeliranja, gdje je fokus bio na dizajnu i generalnom obliku geometrije s pripadajućim komponentama, a varijanta sa kombinacijom sa pancericom izvedena je u obliku parametarskog modeliranja gdje je prikazano i parametarsko podešavanje prema specifičnim dimenzijama [8,9].

1.3.1. Direktno modeliranje

Cilj ove vrste modeliranja je relativno brzo postizanje traženog oblika i geometrije s izuzetkom postavljanja određenog broja ograničenja i zahtjeva na model. Ovaj je pristup izrazito popularan kod prototipiranja jer je na svoj način sličan skiciranju, budući da nema propisanih okvira što se tiče veličina. Jedan takav primjer objašnjen je u nastavku kao virtualni prototip kojem je cilj predstaviti oblik skijaške proteze bez samog fokusa na konkretne dimenzije [8,9].

Na slici 3. prikazan je model/skica na temelju ideje s direktnim spojem proteze i skije preko veza. Ideja je donji dio proteze izvesti u obliku jednakom dnu/postolju pancericice kako bi bio pogodan za spajanje sa skijom, ali i za hodanje po snijegu i asfaltu. Kada ili ako dođe do prevelikog trošenja podloge ukoliko se ono duži vremenski period koristi za hodanje po asfaltu ili dođe do nekog drugog oštećenja materijala, moguće ga je jednostavno zamijeniti, budući da je riječ o vijčanom spoju proteze i postolja. Također, ukoliko se odabere neka druga vrsta mehanizma spajanja, proces može biti još brži i jednostavniji, međutim sa strane funkcionalnosti i sigurnosti spoja prilikom skijanja, prilikom modeliranja odabrana je solucija nekog od standardiziranih vijčanih spojeva [8,9].

Glavni dio proteze, odnosno „kostur“ izveden u obliku slova L ujedno je i spona između donjeg dijela i gornjeg koji služi za spajanje proteze sa sportašem. Od materijala koji se izdvajaju kao izrazito pogodni za proizvodnju ove varijante su ugljičnim vlaknima ojačani polimeri. Dokazano su učinkovita solucija za izradu proteza, te su godinama glavni izbor proizvođača proteza za velik broj sportova kao npr. atletika, gdje trkači u gotovo svim disciplinama koriste proteze raznih oblika i postižu vrhunske rezultate i obaraju rekorde [8,9].



13. Idejno rješenje izrađeno u Autodesk Inventoru – direktno modeliranje [8,9].

Ukoliko se izradi prototip na temelju ovog idejnog rješenja, ciljana skupina daje prijedloge, detektira probleme u dizajnu i evaluira postojeće funkcije. Međutim, kako u sklopu ovog rada nema izrade prototipa, evaluacija se može simulirati [8,9].

Korisnici bi mogli zaključiti da je potpuna funkcionalnost upitna. Prva stavka koju je potrebno unaprijediti vezana je uz jednostavnost korištenja. Konkretno, gornji i donji dio su izvedeni iz jednog dijela što automatski isključuje mogućnost jednostavnog sklapanja za potrebe transporta, te zamjene donjeg dijela ukoliko korisnik preferira izvedbu oblika stopala kako bi mogao koristiti pancericu. Rješenje se može postići projektiranjem više dijelova kako bi se omogućilo modularno spajanje i time postigla još veća fleksibilnost i mogućnost spajanja sa raznim nastavcima koji bi se mogli koristiti i za druge sportove, ne nužno skijanje. Zatim, nema mogućnosti promjene duljine vertikalnog dijela proteze budući da je vertikalni dio izrađen od jednog dijela. To se može riješiti instalacijom svojevrsnog teleskopskog mehanizma s kopčama koji bi prema unaprijed zadanim graničnim vrijednostima smanjivao ili produljivao vertikalni segment.

Sljedeći uvjetno rečeni nedostatak je kompliciranost povezivanja proteze s korisnikom jer se radi o vijčanom spoju. Pretpostavka da bi zglojni mehanizam bio bolje rješenje može biti ideja za razradu novih rješenja. Sa strane ugone korištenja, ova izvedba sadrži dva amortizera koji služe za prigušivanje vibracija i opterećenja. Daljnjim testiranjima može se utvrditi postoji li prostor za drugačije pozicioniranje ili instalaciju dodatnih amortizera kako bi skijanje, ali i hodanje bilo još ugodnije za korisnika.

Model je predstavljen i u obliku .OBJ koji se može koristiti u brojnim programskim alatima za vizualizaciju, ali i za sustave virtualne stvarnosti koji su sjajan alat prilikom prototipiranja, budući da daju novu dimenziju analizi i proučavanju virtualnog modela. Na slikama u nastavku prikazane su projekcije modela.



14. *Nacrt i bokocrt modela*



15. *Tlocrt i izometrijski prikaz modela*

2. Određivanje dimenzija proteze prema FIS direktivi

Specifikacije za adaptivnu opremu za para olimpijsko alpsko skijanje od strane FIS-a jasno definiraju smjernice i dimenzije koje je potrebno zadovoljiti prilikom projektiranja ortoza, proteza i ostalih pomagala za osobe s invaliditetom. Budući da je u ovom radu riječ o protezi, u nastavku je dan opis postupaka određivanja potrebnih dimenzija prema službenoj dokumentaciji [10].

Proteza je u definirana kao vanjsko pomagalo koje nadomješćuje potpuni ili djelomični nedostatak gornjeg ili donjeg ekstremiteta skijaša. Osnovne podjele su na jednostrani ili obostrani nedostatak ekstremiteta, te podjela na oštećenje gornjih i donjih udova, koji se dalje dijele na oštećenje iznad ili ispod koljena. Kako je tema ovog rada proteza koja zamjenjuje donje ekstremitete, u nastavku je prikazana procedura kojom se određuje visina proteze i dozvoljena maksimalna visina skijaša s pripadajućim primjerima i uputama za mjerenje [10].

Jedan od temeljnih zahtjeva koje je potrebno ispuniti je zahtjev da se proteza mora koristiti u kombinaciji s pancericom, zato je parametarska varijanta i idejno rješenje izvedeno na ovaj način. Postoji i jasno definirani izuzetak, a to su proteze koje su prošle testiranja i certifikaciju poput ranije spomenute "proCarve" proteze, te se mogu koristiti samostalno, odnosno za direktno spajanje sa skijom [10].

Kao što je ranije spomenuto, proteze donjih ekstremiteta dijele se prema jednostranim i obostranim oštećenjima. Kod jednostrane varijante proces je relativno jednostavan, a to je da duljina proteze ne smije biti duža od duljine neoštećenog ekstremiteta. Dimenzioniranju se u ovom slučaju pristupa mjerenjem neoštećenog ekstremiteta, ali je zbog primjera parametarskog modeliranja u ovom radu u tablici korišten podatak kako je omjer duljine gornjeg i donjeg dijela tijela najčešće 50:50, čime jednostavnom formulom " **Visina osobe / 2** " dobivamo duljinu oštećenog ekstremiteta, te samim time dimenzije proteze i njenog vertikalnog segmenta. Ta je metoda korištena isključivo za potrebe primjera parametarskog modeliranja, te je za određivanje stvarne duljine proteze potrebno individualno mjerenje ekstremiteta sportaša. Prema uputama iz dokumentacije, visina proteze ne smije premašiti visinu neoštećenog ekstremiteta [10].

S druge strane, kada je riječ o obostranom oštećenju gdje su skijašu potrebne obje proteze, visina se određuje nešto kompleksnije i zasebno za dva različita slučaja, što je objašnjeno u nastavku [10].

Prvi je slučaj sportaša sa amputacijom dijela ekstremiteta ispod koljena. Ukupna duljina proteze zajedno s pancericom mora biti definirana prema sljedećoj formuli:

$$\text{Ukupna duljina} = \left[\frac{\text{Duljina bedra} - 13}{0.4} + 4.3 \right] * 1.05 \text{ [cm]}$$

Pod pojmom "ukupna duljina" smatra se duljina proteze i pancericice zajedno. Ovdje je posebno važno obratiti pozornost ovisno i izvedbi. Ako je proteza direktno spojena sa skijom, onda se visina proteze računa prema toj formuli. Međutim, član formule "4.3" predstavlja maksimalnu dopuštenu debljinu dna pancericice koja je najčešće upravo tih dimenzija. Ovisno o varijanti taj se član uključuje u formulu ili izostavlja, ako je riječ o varijanti kad se koristi pancericica. Dodatnih 5% dodaje se zbog tzv. "prirodnih varijacija", kako je navedeno u dokumentaciji [10].

Svaki je detalj mjerenja strogo propisan i odvija se pod nadzorom. Jedini član koji u ovoj formuli varira od sportaša do sportaša je duljina bedra. Računa se u ležećem položaju od prednjeg gornjeg trna crijevnne kosti do donjeg pola čašice ili do donjeg dijela medijalne kvрге bedrene kosti ako nema donjeg pola čašice ili ivera [10].

S druge strane, ukoliko se radi o amputaciji iznad koljena, duljinu bedra nije moguće u potpunosti pravilno izmjeriti. U tom se slučaju duljina proteze računa na sljedeći način:

Prvi korak je računanje teoretske visine osobe pomoću duljine lakatne kosti (*lat. Ulna*). Na slici broj 4. prikazane su upute za pravilno mjerenje duljine lakatne kosti u centimetrima, no u natjecateljskom se segmentu ono odvija od strane službene osobe [10].

Za dobivene vrijednosti duljine lakatne kosti (*lat. Ulna*) pomoću tablice iz slike 5. koja je preuzeta iz službene dokumentacije izdane od strane krovne organizacije u nastavku može se odrediti maksimalna teoretska visina osobe. Bitno je naglasiti da su posebne vrijednosti za ženske osobe, a posebno za muške. Vrijednosti iz tablice nužne su za računanje u daljnjim koracima [10].

Tablica 1. izrađena prema literaturi:

Duljina lakatne kosti [cm]	Visina (muškarci) [m]	Visina (žene) [m]
21		1.54
21.5		1.55
22		1.56
22.5		1.58
23		1.59
23.5		1.61
24	1.64	1.62
24.5	1.66	1.63
25	1.67	1.65
25.5	1.69	1.66
26	1.71	1.68
26.5	1.73	1.69
27	1.75	1.70
27.5	1.76	1.72
28	1.80	1.73
28.5	1.82	1.75
29	1.84	1.76
29.5	1.85	1.77
30	1.87	1.78
30.5	1.89	
31	1.91	
31.5	1.93	
32	1.94	

Drugi korak je mjerenje tzv. "Demi - span" raspona, odnosno područja između jugularnog usjeka do vrha srednjeg prsta kad je ruka ispružena, a sportaš naslonjen na zid. Maksimalna visina će se tada odrediti prema formuli:

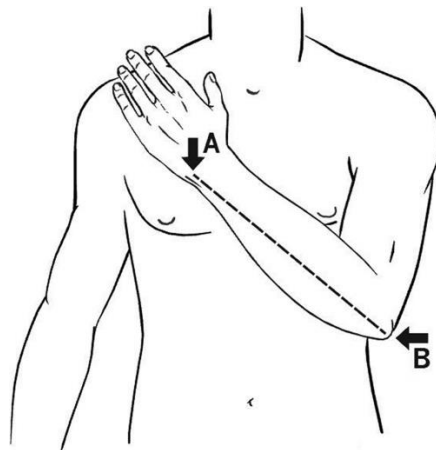
$$\text{Visina} = (1.40 \times \text{demi-span}) + 57.8 \text{ [cm]}$$

U ovom je slučaju također jedina varijabla „Demi span“, dok se visina dobiva množenjem i zbrajanjem sa ostalim članovima [10].

Maksimalna dozvoljena visina će se u konačnici odrediti prema formuli koja kombinira prethodne korake, a visina proteze pomoću $\frac{1}{2}$ ukupne visine [10].

$$\text{„Ukupna visina} = < [(\text{rezultat „Demi – span“} + \text{rezultat „Ulna“}) / 2 + 4.3] \times 1.025 \text{”}$$

Na slici u nastavku dan je prikaz kako pravilo doći do traženih mjera.



16. Uputa za ispravno mjerenje lakatne kosti (lat. Ulna) [<https://rc.rcjournal.com/content/60/12/1715> (pristupljeno: 06.12.2022.)]



17. Uputa za ispravno mjerenje „Demi – span“ [<https://nutriactiva.com/blogs/anthropometry/how-to-measure-height-of-bedridden-adults> (pristupljeno: 06.12.2022.)]

3. Parametarsko modeliranje

Kako je objašnjeno ranije u radu, fokus modeliranja ovog tipa proizvoda je na individualizaciji. Budući da svaka osoba ima svoje zahtjeve, potrebne su joj različite varijante i dimenzije proteza. Upravo iz tog razloga odabran je pristup parametarskog modeliranja s ciljem postizanja traženih dimenzija za sve sportaše prema njihovim individualnim parametrima. Glavna značajka parametarskog modeliranja je generiranje modela na temelju preciznih značajki i pripadajućih ograničenja pomoću kojih se automatizmom mijenjaju tražene dimenzije. Taj je pristup čest odabir kada je primjerice za jednu generalnu geometriju potrebno napraviti modele većih ili manjih dimenzija, odnosno grupe proizvoda koje je potrebno modificirati prema veličini [8,9,10,12,14].

Kako bi se postigla individualizacija dimenzija proteza prema svakom korisniku, u nastavku će se predstaviti jedna od prednosti Autodesk Inventor programskog alata koji u suradnji sa Microsoft Excelom omogućava modeliranje i dimenzioniranje prema ulaznim parametrima. Konkretno, prikazati će se proces unošenja ulaznih varijabli, izračunavanje traženih dimenzija i primjena tablice u Autodesk inventoru [8,9,10,12,14].

Ideja podešavanja parametara za ovaj konkretan slučaj je modifikacija visine proteze prema smjernicama krovne skijaške organizacije. Generalna geometrija proteze ostaje ista, no promjenom ulaznih podataka dolazi do promjene dimenzija. Cilj je stvoriti grupu proizvoda koji svim natjecateljima omogućava jednake startne pozicije u smislu korištenja iste proteze, samo s drugim dimenzijama [8,9,10,12,14].

Glavna prednost parametarskog modeliranja je brzina modifikacije traženih dimenzija koristeći Excel tablicu koja je napravljena s ciljem automatskog izračuna traženih izlaznih podataka [8,9,10,12,14].

3.1. Excel tablica

U programskom alatu Microsoft Excel napravljena je tablica s proračunima koja ulazne varijable u kombinaciji sa zadanim formulama automatski računa i pretvara u mjerne jedinice prikladne za modeliranje u Autodesk Inventoru. Važno je naglasiti da se u ovom slučaju koristi decimalna točka umjesto decimalnog zareza iz razloga povezivanja i usklađivanja s programskim alatima [8,9,10,12,14].

Kako je i u literaturi navedeno, tablica omogućava računanje traženih dimenzija za tri slučaja:

1) Jednostrano oštećenje

- za ovaj slučaj dimenzioniranje je relativno jednostavno, budući da se proces vodi pretpostavkom da je duljina donjih ekstremiteta jednaka polovini visine osobe. Iz tog se razloga ulazna varijabla „Visina osobe“ iz ćelije H8 automatski računa formulom „=(H8)/2“ i sprema u ćeliju H10. Budući da se vrijednosti visine osobe najčešće mjere u centimetrima, takav je i unos u Excel tablicu. Međutim, za modeliranje u Autodesk Inventoru potrebno je visinu osobe pretvoriti u milimetre, a potom ta vrijednost povezivanjem tablice i modela automatski poprima novu dimenziju [8,9,10,12,14].

Slike u nastavku redom prikazuju; upute za pravilan unos ulaznih informacija u Excel s ciljem dobivanja traženih vrijednosti i tablicu dimenzija koje se mijenjaju ovisno o ulaznim varijablama upisanim u ćelije, ovisno o vrsti oštećenja [8,9,10,12].

Upute
Za jednostrano oštećenje:
1) Unijeti visinu osobe u [cm]
2) Duljina proteze će se automatski odrediti prema omjeru gornjeg i donjeg dijela tijela 1:1

18. Upute za unos podataka

Dimenzije proteze - jednostrano		Ulazne varijable	
Visina_j	900 mm	Visina osobe:	180 cm
		Duljina proteze :	90 cm

19. Tablica za unos podataka

2) Obostrano oštećenje – ispod koljena

- Kod slučaja obostranog oštećenja, potrebno je prethodno prema uputama iz natjecateljske dokumentacije izmjeriti duljinu bedra. Ova je metoda prikladna isključivo za slučaj amputacije ispod koljena iz razloga što se duljina bedra može odrediti isključivo ako je bedro neoštećeno, odnosno cjelokupno. Opis za ispravno mjerenje bedra dan je u prethodnom poglavlju i ovisno o njemu prema zadanoj formuli dobiva se duljina proteze na sljedeći način [8,9,10,12,14].

Ulazna varijabla u ovom slučaju je upravo „Duljina bedra“ koja se standardno nakon mjerenja unosi u centimetrima u ćeliju H14. Međutim, ovaj se put duljina proteze određuje formulom „ $(((H14)-13)/0.4+4.3)*1.05$ “. Tako se postiže automatski izračun promjenom varijable „Duljina bedra“. Kao i u prethodnom koraku, visina proteze određuje se u centimetrima za izračun jer je formula za određivanje prilagođena dimenzijama u centimetrima, ali za potrebe modeliranja u programskom alatu prije povezivanja preračunava se standardno u milimetre kako bi se prilagodio 3D modelu. Naziv varijable „Visina_p_o_is“ važan je isključivo za povezivanje Excel tablice s tablicom parametara u Autodesk Inventoru i mora se razlikovati od ostalih varijabli da ne dolazi do konflikta s ostalim imenima, te da bude prepoznatljiv da se radi upravo o slučaju obostrane amputacije ispod koljena [8,9,10,12,14].

Duljina proteze - obostrano (ispod koljena)			
Visina_p_o_is	1147.65 mm	Duljina bedra:	55 cm
		Duljina proteze:	114.765 cm

20. Tablica za unos podataka 2

3) Obostrano oštećenje – iznad koljena

- U ovom je slučaju također riječ o obostranom oštećenju, ali ovdje je riječ o slučaju oštećenja iznad koljena. Samim time, nije moguće odrediti duljinu bedra, te se računanju mora pristupiti nešto kompleksnije. Prvi je korak računanje raspona od sredine prsnog koša do vrha srenjeg prsta, tzv. „Demi – span“ u kada je osoba naslonjena na zid i ispruženih ruku. Slika s instrukcijama dana je u nastavku. Za dobivenu vrijednost „Demi span“ koja se upisuje u za to predviđeno mjesto u tablici, formulom „ $=(1.4*(H18))+57.8$ “ u ćeliju ispod izračunati će se maksimalna teoretska visina osobe [8,9,10,12,14].

Sljedeći korak je izmjera duljine lakatne kosti prema instrukcijama sa slike. Ovisno o rezultatu mjerenja iz tablice se odabire pripadajuća vrijednost. Važno je obratiti pozornost na spol, jer postoje određene razlike u vrijednosti za ženske i muške osobe. Ovaj se korak u tablicu unosi ručno [8,9,10,12,14].

Konačne dimenzije dobiju se formulom koja kombinira rezultate mjerenja „Demi – span“ i vrijednosti povezane s duljinom lakatne kosti i pripadajućih vrijednosti iz tablice. Formula koja povezuje te dvije vrijednosti u Excelu i daje vrijednost maksimalne visine glasi „ $=((((H19)+(H22))/2))+4.3)*1.025$ “. Kao i ranije, vrijednost proteze računa se prema polovici visine osobe, a za potrebe 3D CAD modeliranja pretvara se prije povezivanja s Inventorom u milimetre [8,9,10,12,14].

Duljina proteze - obostrano (iznad koljena)		Duljina "Demi - span":	83 cm
		Maksimalna visina :	174 cm
Visina	906.1 mm		
		Duljina lakatne kosti iz tablice:	26 cm
		Visina iz tablice:	171 cm
		Maksimalna visina:	181.22 cm
		Duljina proteze:	90.61 cm

21. Tablica za unos podataka 3

Ovakvo tablično računanje praktičan je pristup iz razloga što se na jednom mjestu može dobiti uvid u dimenzioniranje prema službenim smjernicama za sve potrebne varijante. Formule i vrijednosti je moguće relativno jednostavno i brzo modificirati, te primijeniti na modelu [8,9,10,12,14]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3	Tablica dimenzija										
4											
5											
6	Dimenzije proteze - jednostrano					Ulazne varijable					
7											
8	Visina_j	800 mm					Visina osobe:	160 cm			
9											
10							Duljina proteze:	80 cm			
11											
12	Duljina proteze - obostrano (ispod koljena)										
13											
14	Visina_p_o_js	1068.9 mm					Duljina bedra:	52 cm			
15							Duljina proteze:	106.89 cm			
16											
17											
18	Duljina proteze - obostrano (iznad koljena)										
19							Duljina "Demi - span":	83 cm			
20	Visina	929.1625 mm					Maksimalna visina:	174 cm			
21							Duljina lakatne kosti iz tablice:	28 cm			
22							Visina iz tablice:	180 cm			
23											
24							Maksimalna visina:	185.8325 cm			
25							Duljina proteze:	92.91625 cm			
26											

21. Kompletna tablica

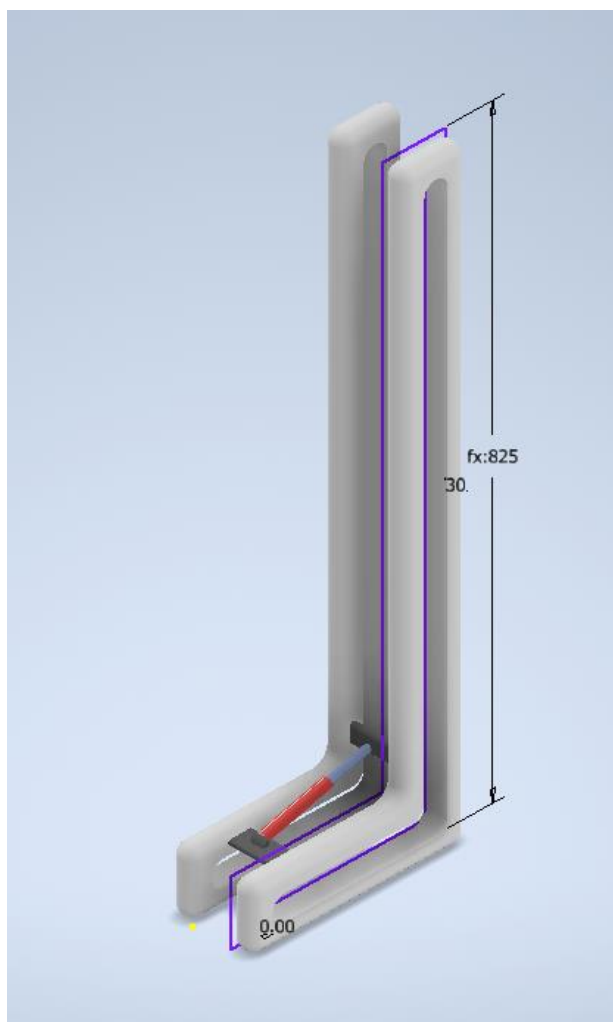
Upute
<p>Za jednostrano oštećenje:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Unijeti visinu osobe u [cm] 2) Duljina proteze će se automatski odrediti prema omjeru gornjeg i donjeg dijela tijela 1:1 <p>Za obostrano oštećenje (ispod koljena):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Unijeti duljinu bedra 2) Duljina proteze će se automatski odrediti prema formuli: „Ukupna duljina =< [Duljina bedra - 13]/0.4 + 4.3]*1.05“ <p>Za obostrano oštećenje (iznad koljena)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Izmjeriti „Demi-span“ i vrijednost unijeti u tablicu. 2) Maksimalna visina će se odrediti prema formuli „Visina = (1.40 x demi-span) +57.8“ 3) Izmjeriti duljinu lakatne kosti i vrijednost visine iz priložene tablice unijeti na predviđeno mjesto 4) Maksimalna visina će se odrediti prema formuli „Ukupna visina = < [(rezultat „Demi – span“ + rezultat „Ulna“)/ 2 + 4.3] x 1.025, a visina proteze pomoću ½ ukupne visine.

22 .Upute za unos

3.2. Modifikacija dimenzija

Na temelju izrađene tablice mijenjati će se visina proteze, a koraci i pripadajuće snimke zaslona prikazane su u nastavku. Opisan je primjer promjene parametara visine osobe na temelju kojih se automatski u Excelu mijenja vrijednosti proteze. Princip je jednak za sve ostale varijante, samo je potrebno mijenjati ulazne varijable [8,9,10,12,14].

Na slici koja slijedi prikazan je „kostur“ proteze, odnosno njezin bazni dio, bez dodatka. Radi jednostavnosti prikaza promjene dimenzija biti će prikazan na ovakav način. Finalni oblik modela idejnog rješenja sa pripadajućim komponentama prikazan je u posljednjem poglavlju rada [8,9,10,12,14].



23. Baza proteze za podešavanje dimenzija

Na slici iznad prikazan je model proteze s visinom od 825mm, primijenjen osobi visine 165 centimetara. Međutim, ako se proteza želi prilagoditi višoj ili nižoj osobi, postupak je sljedeći:

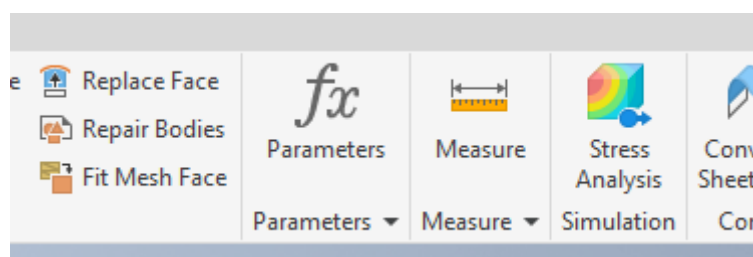
- 1) Uzmimo za primjer osobu od 185cm visine. Njezinu visinu u centimetrima unesemo u tablicu, te automatski dobijemo vrijednost duljine proteze od 92.5 cm. Vrijednost u milimetrima vidljiva je u ćeliji A8 i spremna je za ažuriranje [8,9,10,12,14].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3	Tablica dimenzija								
4									
5									
6	Dimenzije proteze - jednostrano				Ulazne varijable				
7									
8	Visina_j	925 mm					Visina osobe:	185 cm	
9									
10							Duljina proteze :	92.5 cm	

24. Unos podataka

Excel tablicu je obavezno “spremiti” nakon svake promjene, inače programski alat Inventor neće prepoznati promjenu sam od sebe, te neće moći ažurirati model najnovijim podacima [8,9,10,12,14].

- 2) Sljedeći korak je povezivanje Excel tablice s Inventorom. Odabirom “Parameters” funkcije, otvara se skočni prozor za raznim dimenzijama modela. Na dnu se nalazi naredba “Link” pomoću koje povezujemo Excel tablicu s obaveznim odabirom ćelije koja sadrži informaciju koja nam je potrebna. Zatim u “Model parameters” povezujemo željenu dimenziju s parametrom iz Excela [8,9,10,12,14].



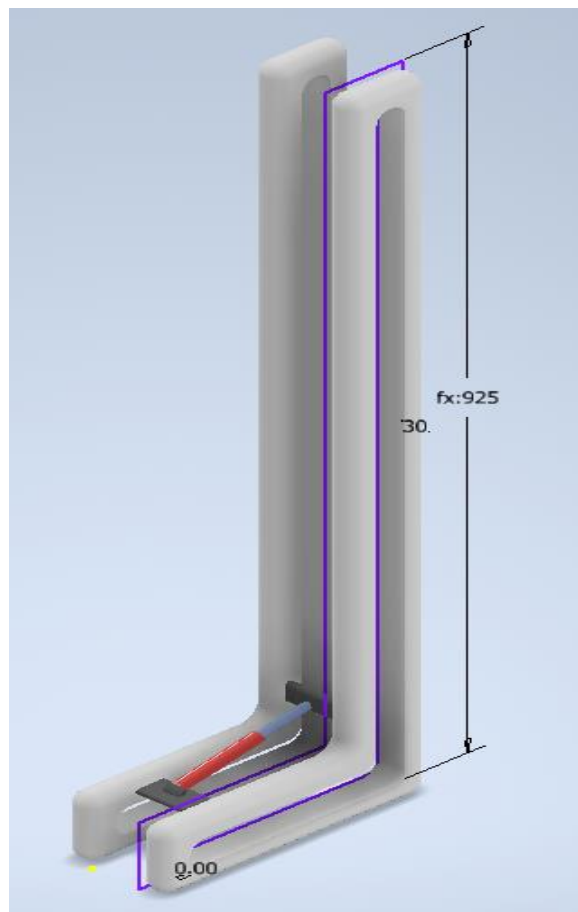
25. Funkcija s parametrima

3) Nakon svake promjene potrebno je napraviti "Update" kako bi Inventor detektirao i primijenio promjene. Na slikama u nastavku prikazana je tablica s parametrima i ažurirani model s novim dimenzijama, a jednakim oblikom i gemoetrijom. Važno je detektirati kojom dimenzijom treba manipulirati jer pogrešno postavljanje parametara za i jednadžbi neće dati željene rezultate. Prema slici tablice u nastavku, korigiraju se dimenzije „d3“ u „d15“ koje predstavljaju visinu proteze, a vrijednost će varirati prema varijabli „Visina_j“ [8,9,10,12,14].

Parameter Name	Consumer	Unit/1	Equation	Nominal V	Tol.	Model Val.	Key	Comment
Model Parameters								
d3	Sketch1	mm	Visina_j	825.00...	0.000000	825.00...		
d4	Extrusi...	mm	30 mm	30.000...	0.000000	30.000...		
d5	Extrusi...	deg	0.00 deg	0.000000	0.000000	0.000000		
d6	Fillet1	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d7	Fillet2	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d8	Fillet3	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d9	Fillet4	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d10	Fillet5	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d11	Fillet6	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d12	Fillet7	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d14	Work Pl...	mm	50 mm	50.000...	0.000000	50.000...		
d15	Sketch2	mm	Visina_j	d12 is consumed by Fillet7	0.000000	825.00...		
d17	Extrusi...	deg	0.00 deg	0.000000	0.000000	0.000000		
d18	Extrusi...	mm	30 mm	30.000...	0.000000	30.000...		
d19	Fillet8	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d20	Fillet9	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d21	Fillet10	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d22	Fillet11	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d23	Fillet12	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d24	Fillet13	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d25	Fillet14	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d26	Extrusi...	mm	77.625 mm	77.625...	0.000000	77.625...		
d27	Extrusi...	deg	0.00 deg	0.000000	0.000000	0.000000		
d30	Extrusi...	mm	68.425 mm	68.425...	0.000000	68.425...		
d31	Extrusi...	deg	0.00 deg	0.000000	0.000000	0.000000		
d34	Extrusi...	mm	8.100 mm	8.100000	0.000000	8.100000		
d35	Extrusi...	deg	0.00 deg	0.000000	0.000000	0.000000		
d36	Fillet15	mm	15 mm	15.000...	0.000000	15.000...		
d40	Work Pl...	deg	255.00 deg	255.00...	0.000000	255.00...		
d41	Sketch10	mm	10 mm	10.000...	0.000000	10.000...		
d42	Extrusi...	mm	146.2125 mm	146.21...	0.000000	146.21...		
d43	Extrusi...	deg	0.00 deg	0.000000	0.000000	0.000000		
d44	Extrusi...	mm	66.8375 mm	66.837...	0.000000	66.837...		
d45	Extrusi...	deg	0.00 deg	0.000000	0.000000	0.000000		
d46	Extrusi...	mm	88.7375 mm	88.737...	0.000000	88.737...		
d47	Extrusi...	deg	0.00 deg	0.000000	0.000000	0.000000		
User Parameters								
C:\Users\Robi\Desktop\Tablica_proba.xlsx								
Visina_j	d3, d15	mm	825 mm	825.00...	0.000000	825.00...		

26. Parametri i dimenzije

Slika br. 29. prikazuje ažuriranu vrijednost visine tablice prema unesenim podacima. Za druge slučaje, poput primjerice obostranog oštećenja, generalni princip promjena dimenzija je jednak. Prvi je korak izmjera i detektiranje traženih ulaznih podataka, te njihovo unošenje u tablicu. Potrebno je međutim obratiti pozornost na ispravan unos imena parametara prilikom povezivanja Excel tablice s Inventorom. Tako primjerice za slučaj obostranog oštećenja ispod koljena treba za parametar postaviti varijablu iz tablice „Visina_p_o_is“, dok je za slučaj obostranog oštećenja iznad koljena potrebno odabrati naziv prikladan iz tablice, u ovom slučaju to je „Visina“.



27. Ažurirane dimenzije

4. Model proteze

Na slikama u nastavku prikazano je idejno rješenje vlastitog modela skijaške proteze. Prvi korak bio je definiranje zadanih mjera koje se korigiraju prema gore opisanom procesu. Horizontalni segment za sve je varijante isti, a mijenja se samo vertikalni segment prema smjernicama iz literature krovne organizacije [8,9,10,12,14].

Ideja vodilja pri modeliranju bila je izraditi model što sličniji obliku noge, uz pripadajuće potrebne elemente [8,9,10,12,14].

Dijelovi proteze su sljedeći:

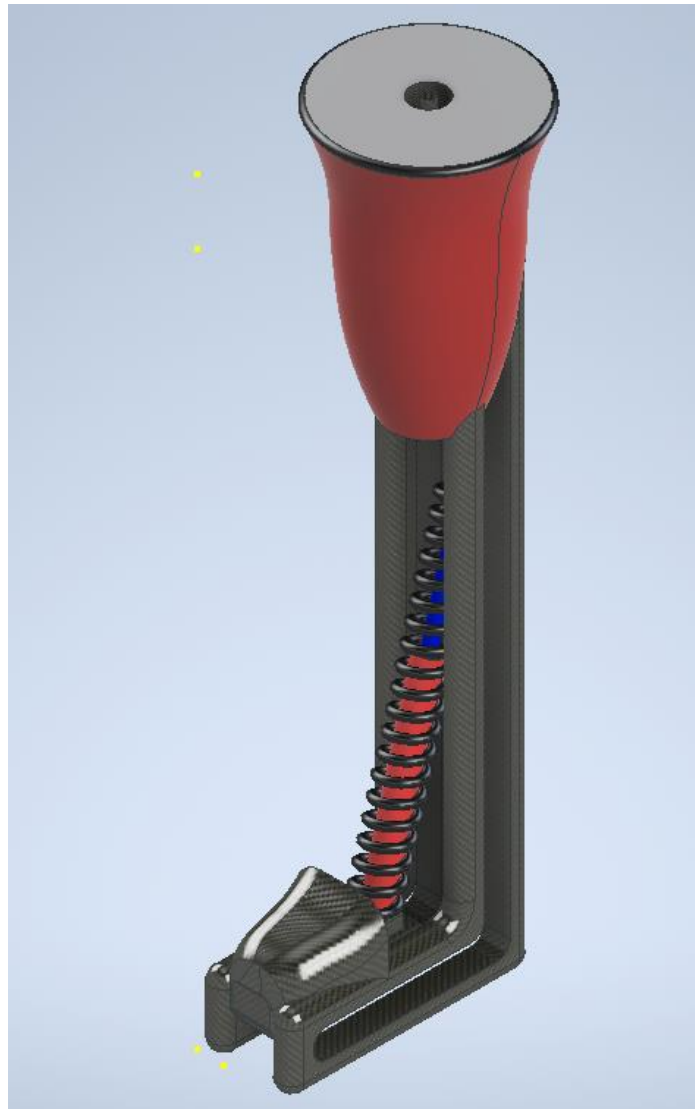
1) Osnovni dio proteze je njen „kostur“ izrađen od polimera ojačanog ugljičnim vlaknima. Kao i ostale brojne proteze na tržištu, ovaj je materijal izabran zbog svojih izuzetnih mehaničkih svojstava, te je najprikladniji za ovu vrstu aktivnosti. Horizontalni segment je jednak za sve varijante i veličine, no vertikalni se može modificirati prema ranije objašnjenom postupku. Kostur može dodatno biti ojačan jezgrom od titana ili nehrđajućeg čelika, ovisno o potrebama. Za najvišu natjecateljsku razinu beskompromisno se koriste najizdržljiviji i najkvalitetniji materijali, međutim za rekreativne potrebe izabrati će se materijal koji ima najpovoljniji odnos cijene i kvalitete [8,9,10,12,14].

2) Na prednjem dijelu proteze nalazi se još jedan dio izrađen od polimera čija je zadaća imitirati oblik stopala kako bi bolje prijanjao u pancercici. Ukoliko postoji potreba, a osoba za koju se izrađuje proteza ima drugi neoštećeni ekstremitet, moguće je 3D skeniranjem odrediti identičan oblik stopala, te ga zrcaliti čime bi se dobio relevantan model za izradu nastavka za protezu koji imitira oblik stopala. Najbolji postupak za izradu takvog dodatka bio bi nekom varijantom aditivnih tehnologija, primjerice 3D print. Dodatak ne mora nužno biti izrađen od ugljičnih vlakana jer mu je primarna zadaća imitirati oblik stopala i prijanjati uz umetak u pancercici [8,9,10,12,14].

Izostanak takvog elementa u ovoj izvedbi gdje je nužno koristiti pancericu rezultirao bi nepovoljnim položajem proteze u pancerici, te bi bilo potrebno izrađivati poseban umetak za pancericu specijaliziran za proteze. Ova solucija je pogodnija iz više razloga, a to je mogućnost korištenja standardne pancericice prema želji sportaša, ali i korištenje ostale obuće poput tenisica iz razloga što proteza zapravo prati oblik stopala [8,9,10,12,14].

3) Opruga i amortizer za prigušivanje udaraca i vibracija posebno su bitni prilikom skijanja na izrazito tvrdoj i ledenoj podlozi, te prilikom postizanja velikih brzina na natjecanjima. Proteza se također može koristiti i prilikom hodanja, za što je također poželjno imati ovakav tip suspenzije. Ovdje je dano idejno rješenje u vidu amortizera i opruge, međutim postoji još varijanta sa svojevrsnim jastučićima i ostalim rješenjima za ublažavanje vibracija [8,9,10,12,14].

4) Crveni dio gornji je dio proteze i njegova je zadaća slična prednjem dijelu proteze, a to je imitacija dijela tijela koji ne dostaje, odnosno u ovom slučaju imitiranje potkoljenice i pripadajućih mišića za bolje prianjanje u pancerici. Na vrhu je također vidljiv i utor koji služi za vijčano spajanje proteze sa ležištem osobe s invaliditetom. Ovo je rješenje izabrano zbog jednostavnosti i sigurnosnog aspekta iz razloga što je vijčani spoj dokazano siguran za ovakvu vrstu proteza. Postoji mogućnost i daljnjeg unaprjeđenja, primjerice razvojem sklopnog mehanizma koji bio se polugom ili nekim drugim mehanizmom mogao sklopiti/rasklopiti, no to bi ciljana skupina najbolje odredila prilikom četvrte faze procesa design thinking, a to je testiranje [8,9,10,12,14].



28. Konačno idejno rješenje

5. Suvremena rješenja i materijali u proizvodnji sportskih proteza

Ukoliko bi gore prikazano idejno rješenje bilo odabrano za proizvodnju, odabrale bi se suvremene metode prilikom planiranja proizvodnje i realizacije proizvodnog procesa. Prva faza je ranije opisano parametarsko modeliranje, iz razloga što je ono najprikladnije za modeliranje ovakvog tipa proizvoda. Umjesto tradicionalnog određivanja mjera, za individualizaciju na najvišoj razini jedna od mogućnosti je 3D skeniranje udova osobe za koji se izrađuje proteza, a sama izrada može se izvesti nekom varijantom aditivnih tehnologija proizvodnje [13].

Materijali potrebni za izradu ovakvog tipa proizvoda moraju zadovoljiti određene zahtjeve kao što su visoka čvrstoća, krutost, dinamička izdržljivost i otpornost na koroziju, a s ukupnim ciljem da proteza u cjelini nema veliku težinu. Čvrstoća materijala izuzetno je bitna iz razloga što proteza koja je tema ovog rada nadomješta donje ekstremitete što rezultira većim naprezanjima i opterećenjima u usporedbi sa protezom gornjih udova [13].

Što se tiče metala, u fokusu su čelik i legure, te aluminij, titan i magnezijeve legure. S obzirom na okolnosti korištenja proteze, za čelik je bitna otpornost za koroziju. Iz tog razloga u obzir dolaze isključivo nehrđajući čelici kako bi proteza bila zaštićena od vanjskih utjecaja. Kod proteza se koristi martenzitni nehrđajući čelik očvrstnut toplinskom obradom za izradu komponenti poput zglobova proteze, raznih nosača i sklopnih dijelova [13].

Aluminij je također izrazito pogodan materijal iz razloga što svojom kombinacijom svojstava čvrstoće i niske gustoće ne rezultira velikom ukupnom masom proteze, a također je otporan na koroziju. Prilikom izrade koriste se većinom aluminijske legure za dijelove proteze kao što su potporni nosači, ali češći je odabir za proteze gornjih ekstremiteta [13].

Titan u smislu proteza ima još bolja mehanička svojstva u odnosu na aluminij, te gotovo upola manju gustoću nego čelik, ali je i teže obradiv. Također posjeduje bolju korozijsku otpornost, no cijenom odskoče u odnosu na čelik i aluminij, tako da je njegova uporaba češća prilikom izrade natjecateljskih proteza koje zahtijevaju najbolje materijale [13].

Osim metala, prilikom izrade koriste se također termoplasti i razni kompoziti. Ponajviše iz razloga lake obrade i „dizajniranja svojstava“ kod kompozita [13].

Termoplasti imaju sposobnost obrade na povišenim temperaturama, dok nakon hlađenja zadržavaju oblikovanu strukturu te su iz tog razloga izuzetno pogodni za oblikovanje prema individualnim parametrima koje svaka osoba zahtijeva. Budući da se može obrađivati više puta, prednost je da se u određenoj mjeri mogu dodatno korigirati u slučaju primjećivanja određenih nesavršenosti u oblikovanju [13].

Kompoziti su izrazito prikladni zbog postizanja kombinacije svojstava kakve zasebni materijali koji čine kompozit samostalno ne posjeduju. Kompoziti kao takvi mogu biti ojačani raznim metodama, no za izradu proteza u fokusu su kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima zbog svojih dokazanih mehaničkih svojstava. Posebno do izražaja dolazi povećana čvrstoća i krutost. Matrica je najčešće polimerna, a u literaturi je naveden podatak da je odnos matrice i ojačala 90.7% : 9.3% u korist ojačala jedan od najkorištenijih. Iako ugljična vlakna čine najveći udio u ojačalima, često su u kombinaciji sa staklenim vlaknima i „Kevlar-om“ [13].

Zaključak

„Industrija“ pomagala za sportaše s invaliditetom svakodnevno je u porastu, te se sve više kompanija uključuje u tržišnu utrku za najboljim rješenjem. Sve veća inkluzija osoba s invaliditetom u sportski život danas, ali i u budućnosti će inspirirati inženjere i znanstvenike za razvoj novih ideja i zahtijevati još naprednija rješenja za razvijanje pomagala za kvalitetniji svakodnevni i sportski život osoba s invaliditetom. Svake četiri godine na paraolimpijskim igrama uz primjere sportaša s invaliditetom koji pomiču granice svojih mogućnosti vidljiv je i značajan napredak pomagala i alata kojima se oni služe za ostvarivanje svojih sportskih ciljeva koji često ne odskaču puno od njihovih kolega koje nemaju tjelesnih oštećenja. U velikoj većini slučajeva riječ je o najmodernijim tehnologijama i najsofisticiranijim rješenjima trenutno dostupnim. Iako je trenutna situacija na tržištu bazirana na implementaciji novih materijala za postizanje vrhunskih rezultata, razvoj elektronike, mehatronike i ostalih pametnih sustava u suradnji sa virtualnom stvarnošću i aditivnim tehnologijama gotovo pa garantira visoke domete na području tzv. „pametnih proteza“ koje će se moći kontrolirati od strane osobe s oštećenjima za izvršavanje najkompleksnijih zadataka i funkcija. Iako je tema ovog diplomskog rada skijaška proteza, gotovo da nema sporta ili područja koje će u budućnosti biti prepreka za osobe s invaliditetom. Međutim, koncept opisan u sklopu ovog diplomskog rada, „Design thinking“ definitivno je jedan od najboljih pristupa rješavanju problema i razvoju ovakvog tipa proizvoda, jer teško je reći u kojem bi području inženjeri i razvojni stručnjaci trebali dovoljnu količinu povratnih informacija za odabir najboljeg rješenja kao što je ovakav slučaj. Bitnu ulogu u razvoju također imaju i suvremeni CAD alati i razni programski alati za računalnu simulaciju koji i bez izrade fizičkog prototipa mogu precizno prognozirati i analizirati ponašanje materijala i sklopova prilikom izvođenja visokih naprezanja i opterećenja prilikom sportskih aktivnosti. Sve u svemu, teško je odrediti što nas čeka u budućnosti, no zasigurno sintezom svih područja znanosti u suradnji s suvremenom tehnologijom i inženjerskom praksom, te uključivanjem osoba s invaliditetom u sve faze razvojnog procesa, rapidan rast ovog područja koji unesrećenim osobama vraća funkcije i omogućuje tjelesnu aktivnost na najvišoj razini je neizbježan.

Izvori i literatura

[1] <https://matmatch.com/resources/blog/generation-bionic-sportsmen-artificial-limbs-for-equality/>

[2] <https://www.amputee-coalition.org/resources/your-k-level/>

[3] <https://www.medicaexpo.com/medical-manufacturer/k4-prosthetic-foot-52541.html>

[4] <https://livingwithamplitude.com/article/history-of-amputee-skiing-paul-leimkuehler-fresh-tracks-documentary/>

[5] <https://www.medicaexpo.com/prod/freedom-innovations/product-74876-457134.html>

[6] Desing thinking for tech, George W. Anderson, 2022.

[7] <https://www.anpfiffinsleben.de/amputierte/bewegungs-und-sportangebote/skifahren.html>
03.12.2022.

[8] Izv. prof. dr. sc. Sven Maričić, službeni materijali kolegija „Prototipno 3D modeliranje“
21./22.

[9] <https://www.indovance.com/knowledge-center/direct-modeling-vs-parametric-modeling-which-is-more-effective/>

[10] FIS para snow sports equipment specifications 2022/2023

[11] <https://www.medicaexpo.com/prod/college-park/product-74912-707218.html>

[12] www.bright-project.eu

[13] <https://musculoskeletalkey.com/materials-and-technology/>

[14] Rapid prototyping of biomaterials, R. Narayan, Cambridge, 2014.

Tablica slika

1. Primjer proteze za prst [https://matmatch.com/resources/blog/generation-bionic-sportsmen-artificial-limbs-for-equality/ (pristupljeno, 02.12.2022.)]	2
2. Primjer proteze za ratnike [https://matmatch.com/resources/blog/generation-bionic-sportsmen-artificial-limbs-for-equality/ (pristupljeno, 02.12.2022.)]	3
3. Primjer upravljanja mioelektričnom protezom [https://spectrum.ieee.org/a-prosthetic-that-feels-pain (pristupljeno, 02.12.2022.)]	3
4. Moderna sportska proteza za trčanje [https://mcopy.com/blog/resources/sports-prosthetics-a-guide-for-amputee-athletes/ (pristupljeno, 03.12.2022.)]	4
5. Dijelovi proteze [https://www.prosthetic.com.sg/resources (pristupljeno, 03.12.2022.)]	5
Uređeno prema izvoru.....	5
6. Izbor proteza s obzirom na K razred [https://www.medicalexpo.com/medical-manufacturer/k4-prosthetic-foot-52541.html (pristupljeno, 04.12.2022.)]	7
7. Proteza K4 kategorije s silikonskim dodatkom [https://www.medicalexpo.com/prod/college-park/product-74912-707218.html (pristupljeno, 04.12.2022.)]	7
8. Počeci adaptivnog skijanja [https://livingwithamplitude.com/article/history-of-amputee-skiing-paul-leimkuehler-fresh-tracks-documentary/ (pristupljeno, 04.12.2022.)]	8
9. Specijalizirana sjedalica [https://enablingtech.com/collections/monique-mono-ski/products/monique-mono-ski-frame-only (pristupljeno, 04.12.2022.)]	9
10. Moderna skijaška proteza [https://www.medicalexpo.com/prod/freedom-innovations/product-74876-457134.html (pristupljeno, 04.12.2022.)]	9
11. Grafikon koraka Design thinking metode [6]. Uređeno prema izvoru	11
12. ProCarve sustav [https://www.anpfiffinsleben.de/amputierte/bewegungs-und-sportangebote/skifahren.html 03.12.2022. (pristupljeno: 06.12.2022.)]	15
13. Idejno rješenje izrađeno u Autodesk Inventoru – direktno modeliranje [8,9].	17
14. Nacrt i bokocrt modela	19
15. Tlocrt i izometrijski prikaz modela.....	19
16. Uputa za ispravno mjerenje lakatne kosti (lat. Ulna) [https://rc.rcjournal.com/content/60/12/1715 (pristupljeno: 06.12.2022.)]	23
17. Uputa za ispravno mjerenje „Demi – span“ [https://nutriactiva.com/blogs/anthropometry/how-to-measure-height-of-bedridden-adults (pristupljeno: 06.12.2022.)]	23
18. Upute za unos podataka.....	25
19. Tablica za unos podataka.....	26
20. Tablica za unos podataka 2.....	26
21. Tablica za unos podataka 3.....	27
22. Upute za unos.....	28
23. Baza proteze za podešavanje dimenzija.....	29
24. Unos podataka.....	30
25. Funkcija s parametrima.....	30
26. Parametri i dimenzije.....	31
27. Ažurirane dimenzije.....	32
28. Konačno idejno rješenje.....	35



**IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Robert Tot (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Prototipno 3D modeliranje skijaške proteze (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(*upisati ime i prezime*)

Robert Tot

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Robert Tot (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Prototipno 3D modeliranje skijaške proteze (*upisati naslov*) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(*upisati ime i prezime*)

Robert Tot

(vlastoručni potpis)