

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Jelena Špehar, Domagoj Uremović

**RAZVOJ I IZRADA PROTETSKOG POMAGALA ZA
INVALIDNOG PSA**

Zagreb, 2019.

Izjavljujemo da smo ovaj rad napravili samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu. Rad je izrađen na *Sveučilišta u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Katedri za preradu polimera* pod vodstvom doc. dr. sc. Ane Pilipović, dipl. ing. i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2018./2019.

Jelena Špehar

Domagoj Uremović

SADRŽAJ

1	UVOD	1
2	HIPOTEZA I CILJEVI RADA	2
3	Amputacija kod pasa	3
3.1	Razlozi izvođenja amputacije	4
3.1.1	Načini izvođenja amputacije kod pasa	6
4	ANALIZA HODA PSA PRIJE I NAKON AMPUTACIJE NOGE	8
5	UPOTREBA ORTOPEDSKIH POMAGALA KOD PASA	10
5.1	Ortoze	10
5.2	Proteze	11
5.3	Materijali koji se primjenjuju za izradu osnovnog dijela ortoza i proteza	12
5.3.1	Metali	12
5.3.2	Ugljikova vlakna	13
5.4	Materijali koji se primjenjuju za izradu unutarnje obloge	13
5.4.1	Pluto	13
5.4.2	Prirodna koža	13
5.4.3	Prirodni kaučuk	14
5.4.4	EVAC (etilen/vinil-acetat)	14
5.4.5	Polipropilen (PP)	15
5.4.6	Silikoni	15
5.4.7.	<i>Polietilen (PE)</i>	15
6	MODELIRANJE PROTEZE	16
6.1	Modeliranje gornjeg dijela proteze	16
6.2	Modeliranje donjeg dijela proteze	22
7	IZRADA PROTEZE	26
7.1	Izrada gornjeg dijela proteze	26
7.2	Izrada donjeg dijela proteze	28

7.3	Pričvršćivanje proteze na tijelo psa	30
7.4	Izrađena proteza	31
8	RASPRAVA	33
9	ZAKLJUČAK	34
10	POPIS LITERATURE	36
11	Sažetak	38
12	Summary	39

POPIS KRATICA

CAD – Computer Aided Design

PP – Polipropilen

PE – Polietilen

EVAC – Etilen/vinil-acetat

ABS – Akrlonitril butadien stiren

FDM - Fused deposition modeling

3D - trodimenzionalno

POPIS SLIKA

Slika 3.1 Primjer amputacije uda psa [3]	3
Slika 3.2 Rendgenski prikaz osteosarkoma u području lakta [5].....	4
Slika 3.3 Urođena malformacija prednjih nogu [6]	6
Slika 3.4 Grafički prikaz učestalosti bolesti koje dovode do amputacije [8].....	6
Slika 4.1 Položaj težišta tijela u odnosu na položaj glave [10].....	8
Slika 4.2 Položaj težišta tijela u odnosu na položaj glave [10].....	9
Slika 5.1 Primjer ortoze [13].....	10
Slika 5.2 Primjer ortoze [13].....	14
Slika 6.1 Trenutno stanje psa bez proteze.....	16
Slika 6.2 Izrađen odljev gornjeg dijela proteze na koji naliježe batrljak.....	18
Slika 6.3 Postupak 3D skeniranja na uređaju ATOS III Triple Scan.....	19
Slika 6.4 Rezultat skeniranja.....	19
Slika 6.5 Odstranjivanje nepotrebnog dijela oblaka točaka iz 3D skena	20
Slika 6.6 Prikaz zaglađenog oblaka točaka koje opisuju unutarnju površinu skena gornjeg dijela proteze.....	21
Slika 6.7 Prikaz odstupanja uglačanog i inicijalnog oblaka točaka	21
Slika 6.8 3D model gornjeg dijela proteze.....	22
Slika 6.9 Prva varijanta donjeg dijela proteze iz dva pogleda	23
Slika 6.10 Druga varijanta donjeg dijela proteze	24
Slika 6.11 Slika lijevo prikazuje maksimalnu deformaciju pri opterećenju od 60 N i izražena je u MPa; slika desno prikazuje maksimalne pomake i deformirani oblik pri opterećenju od 60 N	25
Slika 6.12 Gumena podloška protiv klizanja	25
Slika 7.1 3D pisac Kloner 300H	26
Slika 7.2 Načelo postupka FDM [20]	27
Slika 7.3 Prikaz 3D tiskanja gornjeg dijela proteze	28
Slika 7.4 3D pisac Connex 350.....	29
Slika 7.5 Načelo postupka PolyJet[16]	30
Slika 7.6 Prikaz 3D tiskanja donjeg dijela proteze	30
Slika 7.7 Upute za uzimanje mjera pri izradi prsluka [18]	31
Slika 7.8 Proces izrade gornjeg dijela proteze i gotov proizvod s EVAC oblogom	31
Slika 7.9 Gotova i sastavljena proteza	32

Slika 7.10 Prikaz proteze pričvršćene na tijelo psa.....32

1 UVOD

Invalidnost životinja predstavlja problem njihovim vlasnicima, prvenstveno zbog nepostojanja kanala za pomoć u takvim slučajevima, posebno u financijskom smislu.

Najčešća opcija za poboljšanje kvalitete života ljubimca ostaje investicija vlasnika koja je nerijetko veliki financijski izdatak. Upravo iz tog razloga aditivna tehnologija i povratno inženjerstvo predstavljaju jednostavan i brz postupak u izradi personaliziranih proteza unutar svega nekoliko dana.

S obzirom na to da invalidnost u starijoj dobi životinje postaje sve veći problem zbog slabljenja muskulature, izrada proteze za slučaj psa za kojeg je izrađivana, bila je prijeko potrebna kako bi mu se omogućila jednostavnost hodanja. Pas je u starijoj dobi i već duži niz godina koristi samo tri noge za hodanje zbog čega je posebna pažnja usmjerena na što veću ugodnost nošenja zbog omogućavanja lakše prilagodbe i skraćivanja adaptacijskog perioda.

Aditivna tehnologija učinkovita je tehnologija izrade specifičnih proizvoda komplicirane geometrije i omogućava korištenje velikog broja različitih materijala kroz nekoliko tehnika izrade. Uz valjani odabir materijala mogu se postići željena mehanička svojstva konstrukcijskog dijela proteze te udobnost i lakoća nošenja u prihvatnom dijelu.

2 HIPOTEZA I CILJEVI RADA

Procesom izradbe personaliziranog protetskog pomagala za psa htjelo se pokazati kako se i u području interdisciplinarne znanosti konvencionalnim postupkom razvoja proizvoda iz inženjerske prakse može jednostavno, brzo i povoljno izraditi proteza koja svojim prihvatnim dijelom prati geometriju tijela psa, a ostatkom konstrukcije zadovoljava sve mehaničke zahtjeve kao što su elastičnost, masa, varijabilnost visine, dobro prianjanje na podlozi, jednostavnost uporabe i mekani kontaktni sloj između psa i proteze.

Sukladno tome, cilj ovog rada je napraviti udobno protetsko pomagalo za psa koje je varijabilno po visini i jednostavno za uporabu korištenjem naprednih inženjerskih alata kao što su trodimenzionalno skeniranje, trodimenzionalno tiskanje i CAD (eng. Computer Aided Design) alata.

3 Amputacija kod pasa

Amputacija je operativni zahvat uklanjanja prednjih ili stražnjih udova kod ljudi ili životinja. Kada je riječ o životinjama, ona se može izvoditi na svim pasminama svih uzrasta. Prije amputacije psi moraju zadovoljiti osnovne uvjete fizičke spremnosti te ne smiju biti anemični ili fizički preslabi s obzirom na to da je amputacija komplicirani zahvat koji je veliki stres za organizam. Za razliku od ljudi, životinje puno bolje reagiraju na amputaciju, odnosno puno se lakše privikavaju na novonastalu situaciju.[1]

Amputacija ekstremiteta (Slika 3.1) često je preporučani postupak u veterinarskoj medicini kao način liječenja raznih oboljenja kao što su osteosarkom, traumatske ozljede, infekcije ili invalidnosti nastale kao posljedica urođenih malformacija. Većina veterinaru vjeruje da se psi brzo prilagođavaju nastaloj situaciji kada je riječ o amputaciji ekstremiteta, međutim mnogi vlasnici pasa nevoljko pristaju na takve operacije. Nesigurnost vlasnika prisutna je čak i u situaciji kada to predstavlja najsigurniji, najučinkovitiji i najisplativiji način liječenja raznih patoloških promjena koje pogađaju područje udova. [2]

Kada dođe do situacija u kojima je amputacija neizbježna, mora se razmotriti stanje životinje, prikladnost životinje za operaciju, sposobnost psa da se prilagodi na novonastalu situaciju nakon operacije te viđenje vlasnika na moguću invalidnost psa.



Slika 3.1 Primjer amputacije uda psa [3]

3.1 Razlozi izvođenja amputacije

U nastavku su navedeni neki od najčešćih razloga zbog kojih se veterinari u dogovoru s vlasnicima odlučuju na postupak amputacije:

1. **Osteosarkom** je najčešći tumor koštanog tkiva kod pasa i jedan je od najčešćih razloga izvođenja amputacije ekstremiteta. Ovaj tip tumora najučestaliji je kod velikih pasmina u starijoj dobi, ali se može javiti i u mladim pasa (od 12 do 18 mjeseci starosti). Amputacija je odličan način za kontrolu lokalne bolesti kao što je tumor na određenom ekstremitetu. Najčešća mjesta pojavljivanja osteosarkoma u su području zglobova kao što su ručni zglob, lakat ili rame (slika 3.2). Ova vrsta tumora izrazito je invazivna i često rezultira stvaranjem metastaza, stoga je pravovremena reakcija ključna u liječenju ove vrste bolesti. [3]



Slika 3.2 Rendgenski prikaz osteosarkoma u području lakta [5]

2. **Sarkom mekog tkiva** još je jedna vrsta tumora koja se javlja u udovima pasa. Ovaj je tip tumora maligni, ali na sreću sporo metastazira. Lokalno je agresivan te kada dođe do pojave ove vrste tumora teško ga je ukloniti u cijelosti, a da se pri tome ne oštete mišići, tetive, živci ili ligamenti. Prema tome, amputacija je jedan od postupaka koji se izabire i u tom slučaju. Osim amputacije, za određene tipove tumora na udovima, moguća je i radijacijska terapija ili kombinacija zračenja i kemoterapije. [3]

U slučajevima dijagnoze tumora, obično se na samom početku liječenja izvodi biopsija kako bi se odredio tip tumora. To omogućuje veterinaru da isplanira najbolji režim liječenja i da okvirno odredi prognozu. Neki tumori udova toliko su veliki da je amputacija jedina učinkovita opcija liječenja. Alternativno, rendgensko snimanje udova može pokazati ozbiljno razaranje kostiju koje je rezultiralo frakturom. Biopsija se izvodi uklanjanjem malog klina ili jezgre tkiva ili uporabom igala za biopsiju kada je potreban uzorak abnormalne kosti.

Lokalni limfni čvorovi oko zahvaćenog ekstremiteta najčešće se povećaju. U nekim slučajevima, u čvorove se mogu umetnuti igle radi aspiracije stanica. Takvi se aspirati zatim mogu mikroskopski pregledati radi dokazivanja širenja tumora. [3]

- 3. Teška trauma** - amputacija se preporučuje i kada dođe do višestrukih prijeloma uzrokovanih nesrećama i velikih trauma mišića, tetiva i ligamenata. Također se može preporučiti u slučaju frakturiranih ili traumatiziranih udova kao jeftinija opcija liječenja kompliciranog medicinskog ili kirurškog problema s obzirom na to da je oporavak konvencionalnim metodama liječenja ponekad preskup, a pozitivan ishod nije zagarantiran.

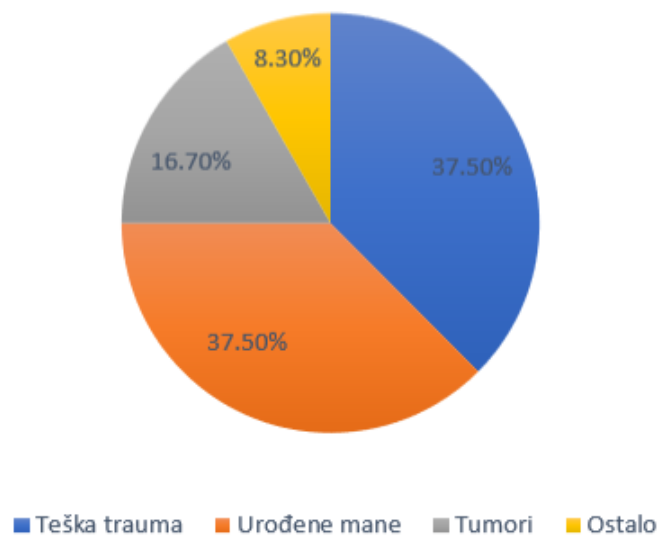
Kao i kod ljudi, čak i kada novac nije problem, amputacija može biti jedini izbor za traumu ekstremiteta u situacijama u kojima je opskrba živaca ili opskrba krvlju jako otežana ili je oštećenje kostiju i mekih tkiva izvan opsega mogućnosti "popravka" modernim kirurškim tehnikama. Oštećenja živaca koji opskrbljuju ud, primjerice nakon traume koja rezultira lomovima zdjelice, mogu biti ireverzibilna što rezultira nefunkcionalnim udovima koji se povlače. To može dovesti do abrazije šape zbog nemogućnosti životinje da pravilno podigne nogu. [4]

- 4. Urođene bolesti skeleta** - urođene deformacije kostiju i skeleta (slika 3.3) defekti su nastali zbog pogrešaka tijekom razvoja i karakterizirani su neuobičajenim rastom pojedinačnih ili cijele skupine kostiju. Vidljivi znakovi bolesti mogu se javiti pri rođenju ili mogu nastati tijekom razvoja, a rezultiraju nepravilnim razvojem hrskavice i nepravilnom transformacijom hrskavice u kost. Urođene deformacije relativno su rijetka pojava naspram ostalih bolesti koje se javljaju kod pasa. [5]



Slika 3.3 Urođena malformacija prednjih nogu [6]

Na slici 3.4 prikazani su rezultati istraživanja rađenog 2018. godine na uzorku od 76 pacijenata gdje je prikazan omjer bolesti koje su dovele do amputacije. [8]



Slika 3.4 Grafički prikaz učestalosti bolest koje dovode do amputacije [8]

3.1.1 Načini izvođenja amputacije kod pasa

Najčešće mjesto za uklanjanje oštećenog ili bolesnog dijela noge kod pasa je visoko, na mjestu gdje se udovi spajaju s tijelom. To je tako upravo iz razloga kako preostali dio noge (batrljak) ne bi postao problem za kućnog ljubimca. Svaki dio tijela koji ostaje može postati teret tijekom dnevnih aktivnosti ili ometati kretanje. [7]

Za prednju nogu najuspješnija je tzv. amputacija lopatice s ramena (e. *scapular disarticulation*) što znači da se ukloni cijeli ud od prstiju do lopatice. Budući da normalna anatomija prednje noge ima mišiće koji pričvršćuju prednju nogu na zid prsnog koša, jednostavno je ukloniti ekstremitet rezanjem upravo tih mišića i šivanjem istih. Ovo potpuno uklanjanje stvara glatko, dobro pozicionirano mjesto za amputaciju prednjeg uda koje neće dobiti rane od pritiska pri ležanju te neće ometati kretanje. [8]

Kada je riječ o stražnjim nogama, najčešće se primjenjuju dvije tehnike. Prva je amputacija proksimalijske bedrene kosti; *high femur* tehnikom koja rezultira kratkim batrljkom u razini stražnjice/bedra. Time su izrezani mišići srednjeg dijela bedra i femur (bedrena kost) izrezana blizu kuka. Kada su tkiva ušivena zajedno, to omogućava dobru podstavu za zdjelicu kada kućni ljubimac leži i nudi kozmetički izgled održavanjem simetrije stražnjeg dijela. Druga tehnika, dezartikulacija kuka (amputacija u kuku), često se upotrebljava kada je bolest zadnjeg dijela u području bedara. To znači da je noga uklonjena u području kuka, a ostaju samo karlica (lat. *pelvis*), tj. koštani prsten na spoju kičmenog stuba i donjih udova i okolni mišići. Ova tehnika amputacije također je vrlo uspješna, s nešto kraćim batrljkom na mjestu amputacije i manje simetričnim izgledom. [8]

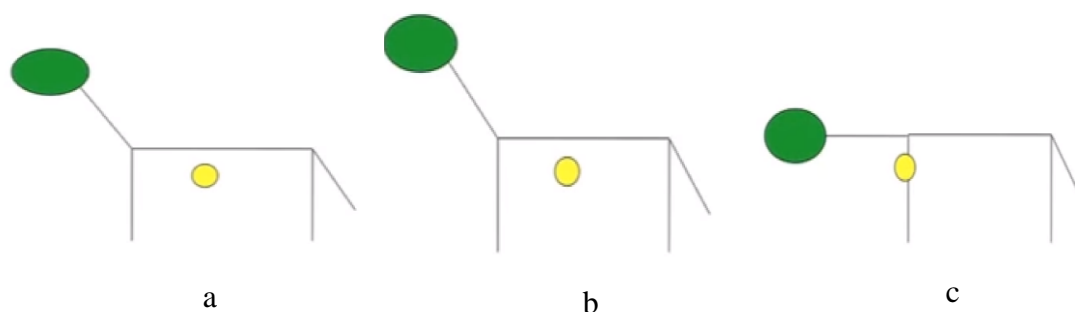
Vlasnici često inzistiraju da se amputacija izvrši tako da se ostavi što veći dio noge ako je ozljeda nastala niže u području stopala. To se najčešće ne preporučuje iz gore navedenih razloga, no u slučajevima kada je ugrožen veći broj nogu, odnosno ako je poželjno ili potrebno očuvanje funkcije nogu, može se uzeti u razmatranje i mogućnost izrade protetskih udova. [4]

4 ANALIZA HODA PSA PRIJE I NAKON AMPUTACIJE NOGE

Način hoda razlikuje se od pasmine do pasmine, ali isto tako ovisi i o svakom psu individualno s obzirom na razliku u visini i masi. Prema istraživanjima samo 30 % do 40 % energije za kretanje dolazi iz mišića, dok se preostalih 60 % do 70 % ostvaruje ljuljanjem tijela. [9]

Iako tjelesnu težinu psa prenose sve četiri noge, ona nije ravnomjerno raspoređena na prednje i stražnje udove. Naime, oko 60 % težine tijela kod pasa nose prednje noge zbog težišta tijela koje se nalazi bliže prednjim nogama, odnosno u blizini srca. Promjenom položaja glave i vrata pas može znatno utjecati na položaj težišta tijela. Pomicanje težišta tijela može biti čak i do 15 %. [9]

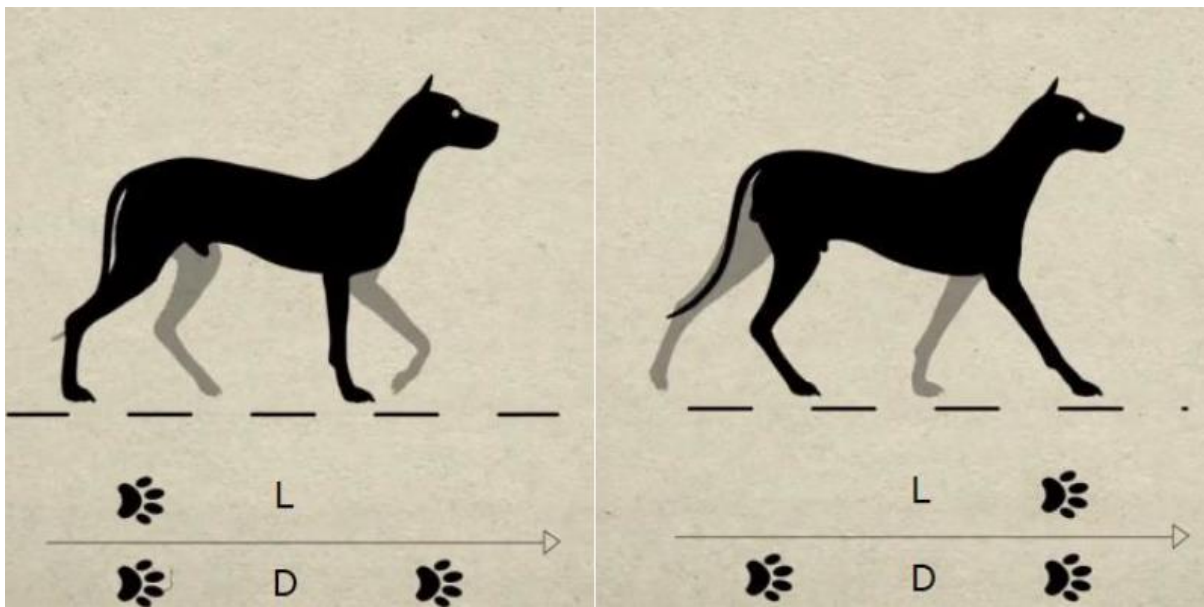
Na slici kostura psa (slika 4.1) jasno se vidi kako pas mijenjanjem položaja glave, s obzirom na to da je masa glave dosta velika, mijenja položaj težišta. Zelena površina na slici predstavlja glavu, a žuti krug težište tijela psa (slika 4.1a). Ako promatramo sliku sa strane mehanike, možemo na vrat gledati kao na polugu na čijem se kraju nalazi teret (glava) mase m . Podizanjem glave težište se prebacuje u desno, odnosno prema zadnjim nogama i smanjuje se opterećenje na prednje noge (slika 4.1b). Spuštanjem glave težište se pomiče ulijevo, odnosno povećava se opterećenje na prednjim nogama (slika 4.1c). [9]



Slika 4.1 Položaj težišta tijela u odnosu na položaj glave [10]

S obzirom na to da nakon amputacije dolazi do promjene položaja težišta tijela, dolazi i do toga da pas svoju masu, koju je inače nosio na amputiranom ud, preraspodjeljuje na zdrave noge. Nakon amputacije nekog od prednjih udova, bilo lijevog ili desnog, pas svojih 30 % mase koju je do tad nosio na amputiranom ud, raspodjeljuje tako da veći dio prenese na drugu zdravu prednju nogu, a manji dio, odnosno 13 % preostale mase, prenese na stražnje udove. [9]

S obzirom na to da su tijekom normalnog hoda kod pasa bez invalidnosti najmanje 3 noge u dodiru s tlom (slika 4.2), jasno je da će se hod kod tronožnih pasa morati znatno promijeniti. Kada se radi o amputaciji prednjeg uda, kao što je to slučaj ovdje, hod se sastoji od doskakivanja na prednju nogu te od dva normalna koraka stražnjih nogu. [10]



Slika 4.2 Položaj težišta tijela u odnosu na položaj glave [10]

Kod pasa i mačaka s amputacijom jednog od stražnjih udova pokretljivost se vrati na gotovo normalnu razinu, a kod slučaja s amputacijom prednjih udova prilagodba je puno teža te se hod mora značajno promijeniti pa se zbog toga ne postigne jednaka agilnost i brzina hoda kao prije amputacije. [7]

Kod mladih pasa te onih srednjih godina a zdravog i atletskog stasa, proces prilagodbe dakako traje puno kraće, dok kod starijih ljubimaca proces prilagodbe može zahtijevati znatno više vremena te će im biti potrebne češće pauze tijekom hoda. Smanjenje tjelesne mase rezultira manjom potrebnom energijom utrošenom u hoda i smanjenjem opterećenja na zglobove preostalih udova. [8]

Kako bi si što više olakšali hod, ali i smanjili bolove, psi nakon amputacije prilagođavaju način hoda. Bolovi mogu nastati ako nastane prevelika koncentracija sile na neki od preostalih udova. Kako je sila proporcionalna masi i ubrzanju, pas prebacivanjem težišta i smanjenjem ubrzavanja odnosno usporavanja nogu i trupa može utjecati na smanjenje opterećenja. [9]

5 UPOTREBA PROTETSKIH I ORTOPEDSKIH POMAGALA KOD PASA

Područje protetike u životinja nije toliko razvijeno kao što je to slučaj kod proteza za ljude. Svaki se slučaj mora pojedinačno razmotriti s veterinarskim kirurgom i protetičarem kako bi pomogli u stvaranju uspješnog ishoda. Kontinuirano upravljanje protetskim udovima u životinja zahtijeva snažnu predanost vlasnika kućnog ljubimca.

Ortoze i proteze ortopedska su pomagala koja mogu uistinu promijeniti i olakšati život pacijentima s poteškoćama u kretanju pružanjem podrške za disfunkcionalne zglobove, stabilizacijom ili fiksacijom te potencijalno zamjenom nedostajućeg uda. Životinjama je potrebna pomoć vlasnika/ljudi u prilagodbi na novu situaciju i pomoć pri savladavanju kretanja s novim pomagalom. [11]

5.1 Ortoze

Ortoze (slika 5.1) su medicinska pomagala pričvršćena na tijelo koja služe podupiranju, pridržavanju, pozicioniranju, imobilizaciji, sprječavanju deformiranja te kontroliranju i poboljšanju funkcije ozlijeđenog ekstremiteta. Statičke ortoze služe za imobilizaciju zgloba, a dinamičke služe za pridržavanje zgloba tijekom kretanja. Većina ortoza je podesiva te omogućava veći, odnosno manji raspon pokreta ovisno o napretku pacijenta. [12]



Slika 5.1 Primjer ortoze [13]

5.2 Proteze

Proteze su medicinska pomagala koja se pričvršćuju na tijelo s funkcijom osiguravanja ravnoteže kod pacijenata kod kojih nedostaje neki od udova. Svaka je proteza individualna, prilagođenih mjera i prilagođena ozljedi pacijenta. Kako bi izrada proteze bila što kvalitetnija potrebno je sagledati sve aspekte. U razmatranje treba uzeti vrstu ozljede, deformaciju te aktivnost psa koju obavlja te na temelju tih činjenica odabrati izvedbu proteze. [1]

Protetski izraci postaju sve češća pojava u medicini i u području inženjeringa. Danas se gotovo svaki dio tijela može zamijeniti protezom. Proteze pomažu u izvršavanju zadataka koji su bili neizvedivi zbog invalidnosti, smanjuju opterećenje na kralježnicu koje nastaje zbog nesimetričnosti tijela te povećavaju kvalitetu života. [12]

Izrada proteza je, uz izradu ortoza, jedan od načina *rješavanja* problema kad je riječ o invalidnosti psa, odnosno o nedostatku nekog od ekstremiteta. One funkcionalno i estetski zamjenjuju cijeli ili dio ekstremiteta stoga moraju biti funkcionalne, lagane, udobne i sigurne. Neki od zahtjeva koje proteza treba zadovoljiti su: rastezna čvrstoća, otpornost na trošenje, žilavost, dinamička izdržljivost, niska gustoća te postojanost na koroziju. [1]

Razvoj novih postupaka izrade velikom je brzinom doveo do razvoja područja protetike. Različite nove tehnologije i tehnike primijenjene su u svrhu razvoja funkcionalnosti i postizanja bolje estetike proteza. Neke od njih su i 3D tiskanje (aditivna proizvodnja) te izgled, mobilnost te upravljivost vrlo slične onima kod izvornih udova. [14]

U većini slučajeva, ako je izrada proteze dobro odrađena, vrijeme prilagodbe psa na protezu relativno je kratko, ali zahtijeva veliki trud i psa i vlasnika. Period prilagodbe znatno ovisi o dijagnozi psa, njegovoj starosti i fizičkoj spremi i vrlo je individualan. Tijekom privikavanja psa na protezu vrlo je bitno pratiti stanje kože i mogućnost pojave eventualnih rana. Ako crvenilo kože ne nestane dvadeset minuta nakon skidanja proteze, znači da je koncentracija pritiska prevelika te je potrebno protezu premodelirati tako da opterećenje bude na većoj površini. [14]

Također treba napomenuti kako su takvi problemi uobičajeni prvih nekoliko tjedana. Vrlo je važno održavati higijenu kože i dlake u dodiru s protezom te je potrebno svakodnevno čistiti protezu. [1]

5.3 Materijali koji se primjenjuju za izradu osnovnog dijela ortoza i proteza

Na samim počecima izrade proteza i ortopedskih pomagala glavni materijali bili su metal, drvo i koža. S vremenom su ih sve više počeli zamjenjivati polimeri zbog svojih svojstava čvrstoće, gustoće, boje, trajnosti, cijene, itd. [1]

Za optimalnu funkcionalnost proteze potrebno je da ona bude lagana i čvrsta. Danas se najčešće primjenjuju polimeri i to plastomeri. Plastomeri su idealni materijali za primjenu u izradi proteza zbog dobre strojne obradivosti i mogućnosti oblikovanja pri povišenim temperaturama. Dva najčešće upotrebljavana materijala su polietilen i polipropilen. Polipropilen se zbog krute strukture obično upotrebljava za potpurnu strukturu, dok je polietilen mekši i fleksibilniji od polipropilena te se upotrebljava za oblaganje unutrašnjosti proteze. [1]

5.3.1 Metali

Za izradu proteza primjenjuju se različiti metali, a neki od njih su aluminij, titan, magnezij, bakar i čelik. Svaki od njih upotrebljava se u određenoj količini i u određenim dijelovima proteze. Bakar, čelik, aluminij i nikal upotrebljavali su se za nosive dijelove konstrukcije, ali danas se uglavnom upotrebljavaju kao dodaci u obliku legura ili za prevlačenje. Trenutno najzastupljeniji u području biomedicine jest titan. Titan ima odličan omjer čvrstoće i mase te također odličnu postojanost na koroziju, nisku gustoću te je zbog toga lagan materijal. Često se upotrebljava u kombinaciji s vanadijem i aluminijem. Također, jedna od titanovih najvećih prednosti, njegova je biokompatibilnost. Niski modul elastičnosti čini ga vrlo sličnog svojstvu kosti. [12]

5.3.2 Ugljikova vlakna

Do početka upotrebe ugljikovih vlakana došlo je u dvadesetom stoljeću kada se u području medicine i inženjeringa počelo tragati za novim lakšim materijalima koji su sposobni podnijeti viša opterećenja. Svojstva ugljikovih vlakana kao što su visoka krutost, visoka rastezna čvrstoća, mala masa, velika kemijska postojanost, postojanost pri visokim temperaturama, malo toplinsko širenje i visoka specifična čvrstoća omogućavaju primjenu i u protezama kod pacijenata iznimno visoke mase. [12]

5.4 Materijali koji se primjenjuju za izradu unutarnje obloge

Jedan od najvažnijih kriterija kod izbora materijala za unutarnju oblogu proteze svakako je udobnost jer je to preduvjet za što lakše prihvaćanje nošenja same proteze. Komercijalno dostupni materijali za oblaganje proteza uglavnom su polimeri s različitim mehaničkim svojstvima. Pri izboru materijala za oblaganje proteze bitnu ulogu igra izdržljivost, postojanost na vlagu i vodu i udobnost materijala.[1]

5.4.1 Pluto

Pluto je dio vanjske kore hrasta plutnjaka. Jedan je od prvih materijala koji se počeo upotrebljavati u ortopediji. To je vrlo lagan materijal pogodan za strojnu obradu. Dolazi u obliku ploča koje se razlikuju ovisno o debljini te je moguće međusobnim lijepljenjem dobiti željenu debljinu. Prednost pluta njegova je tvrdoća jer je zbog toga precizna kontrola kretanja, ali je to istovremeno i nedostatak jer predstavlja veliku neudobnosti. Još jedan nedostatak je lomljivost zbog čega ga je potrebno često mijenjati. [15]

5.4.2 Prirodna koža

Jedan od najstarijih materijala koji se upotrebljava u ortopediji svakako je i prirodna koža. Koža je materijal dobre žilavosti, ali loše istezljivosti. Pogodna je za rezanje, brušenje i toplinsko oblikovanje, a svojstva kože ovise o vrsti životinje. Taj je materijal izvrstan kao završni sloj u kombinaciji sa slojem nekog materijala koji bolje amortizira opterećenja. Ukoliko se pravilno održava, ne izlaže pretjerano vlazi i toplini, te učestalo ne savija, može relativno dugo trajati zadržavajući početni oblik.

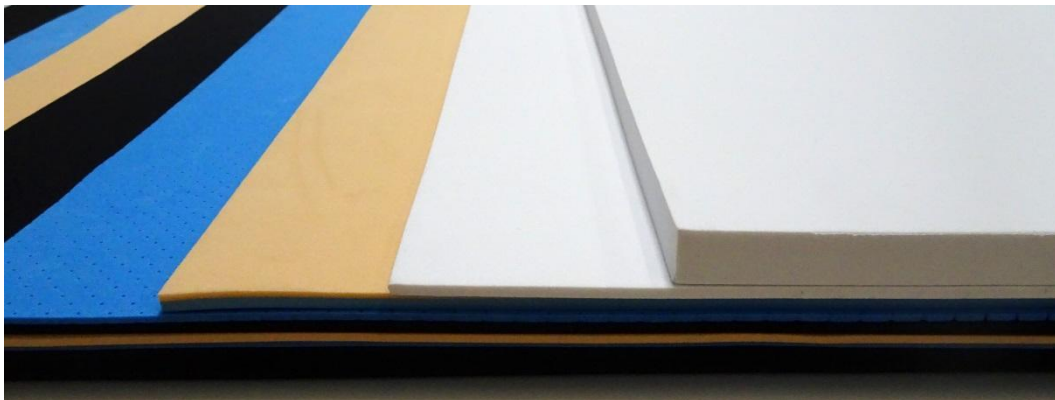
Loše strane kože su što se ne koristi samostalno kao jedini materijal za oblaganje jer ne osigurava dovoljnu udobnost, već se koristi u kombinaciji s još nekom oblogom.[15]

5.4.3 Prirodni kaučuk

Kaučuk je drvo kaučukovac rasprostranjeno diljem Južne Amerike. Karakterizira ga iznimna elastičnost i dobra žilavost. Što se tiče obradivosti, relativno ga je teško strojno obraditi, ali je pogodan za lijepljenje. [15]

5.4.4 EVAC (etilen/vinil-acetat)

To je kopolimer etilena i vinil acetata. EVAC (slika 5.2) je najrasprostranjeniji i najčešće upotrebljeni materijal u protetici i ortopediji. To je lagan materijal, vrlo pogodan za toplinsko oblikovanje i za strojnu obradu. EVAC je pjenasti materijal odličnih apsorbirajućih svojstava i otporan na savijanje. Pogodan je za čišćenje vodom i detergentima. Također dolazi u obliku ploča određenih debljina i tvrdoće. Nedostatak EVAC-a jest povišenje temperature kao posljedica trenja. Pjena se stvara tako da mjehurić plina ostane zarobljen unutar kemijske reakcije smole. Većina pjena sa zatvorenim ćelijama koje se primjenjuju napravljene su endotermnim postupkom (uz zagrijavanje) [15]



Slika 5.2 Primjer ortoze [13]

5.4.5 Polipropilen (PP)

Polipropilen (PP) materijal je iznimno otporan na lomljenje, ali nakon dužeg vremena primjene dolazi do njegove deformacije. Polipropilen je dostupan u pločama debljine od 2 mm do 6 mm, u formi homopolimera ili kopolimera. U obliku homopolimera tvori ga 100 % polipropilena te je vrlo tvrd materijal, a u obliku kopolimera sadrži do 15 % polipropilena te je zbog toga fleksibilniji i jeftiniji. Polipropilen može biti direktno lijevan ili podtlačno oblikovan. Podtlačno oblikovan polipropilen primjenjuje se za izradu anatomskih uložaka.[15]

5.4.6 Silikoni

Silikoni su polimerni spojevi silicija, izvrsnog odnosa mehaničkih i kemijskih svojstava. Ortopedski ulošci izrađeni od silikona mekani su te imaju ulogu da apsorbiraju reaktivnu silu podloge. Silikoni su indiferentni materijali koji nemaju nikakav štetni utjecaj na živo tkivo. [15]

5.4.7 Polietilen (PE)

Polietilen (PE) koji se upotrebljava za oblaganje ortoza dolazi u pjenastim pločama. Pjenaste ploče sačinjene su od polietilena sa zatvorenim ćelijama. Ovi su materijali iznimno lagani te se vrlo lako oblikuju i ojačavaju drugim materijalima, ali su zbog svoje visoke deformacije kratkog vijeka trajanja pa se obloga mora često mijenjati. [15]

6 MODELIRANJE PROTEZE

6.1 Modeliranje gornjeg dijela proteze

Prilikom odabira proteze potrebno je sagledati stanje nakon amputacije te donijeti odluku hoće li se izrađivati egzoproteza (vanjski prihvat proteze na batrljak) ili endoproteza (unutrašnja proteza). Takvu odluku donose veterinar kirurg i ortoped.

U ovom slučaju u konzultaciji s veterinarima na *Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu*, odlučena je izrada egzoproteze s obzirom na to da je riječ o starijem psu i svaka operacija može loše utjecati na organizam.

Pasmina za koju je izrađen prototip u ovom radu je mješanka haskija, nižeg rasta. Pacijentu je amputirana prednja lijeva noga nakon što je utvrđeno nepovratno oštećenje živca. S obzirom da je pas kad je nađen već imao spomenutu ozljedu, nije poznato iz kojeg je razloga došlo do oštećenja živca. Amputacija je predložena zbog nastalih ozljeda prilikom povlačenja disfunkcionalne noge po tlu. Prema procjeni veterinara, pas je u trenutku kad je doveden na operaciju bio star godinu dana, a od navedene amputacije je prošlo 9 godina. Amputacija je izvedena na nadlaktičnoj kosti stoga pas nema primarni zglob lijeve noge odnosno lakat. (slika 6.1).



Slika 6.1 Trenutno stanje psa bez proteze

Razvoj konceptualnog rješenja prihvata proteze na psa prvi je korak u izradi proteze. Najbolji način za uzimanje stvarne geometrije batrljka bilo bi CT snimanje. Bez obzira na najbolju točnost, CT snimanje ima nekoliko nedostataka. Prvi i najznačajniji je pozicija batrljka u odnosu na ostatak tijela prilikom uzimanja snimke. Standardna je praksa da psi prilikom snimanja CT-a leže u općoj anesteziji kako bi bili mirni čime opuštenost udova donosi nepravilan položaj pružanja osi prilikom snimanja željene geometrije. Potreban položaj osi pružanja noge bio bi okomito na podlogu kao i pri mirnom stajanju što znači da os pružanja noge nije u željenom smjeru odnosno nije okomita na podlogu. Uzevši u obzir nedostatke i probleme kod postupka CT snimanja te njegovu štetnost na organizam, odlučeno je da će se tražena geometrija dobiti uzimanjem gipsanog odljevka.

S obzirom na to da pas ima dugu dlaku, gipsani odljev nemoguće je izraditi bez prethodne zaštite krzna ili umetanja zaštitnog među sloja. Bez zaštite gips bi se zalijepio za kožu i dlaku te ga se ne bi moglo skinuti nakon stvrdnjavanja. Iz tog je razloga, prije uzimanja odljevka, batrljak zaštićen polietilenskom folijom.

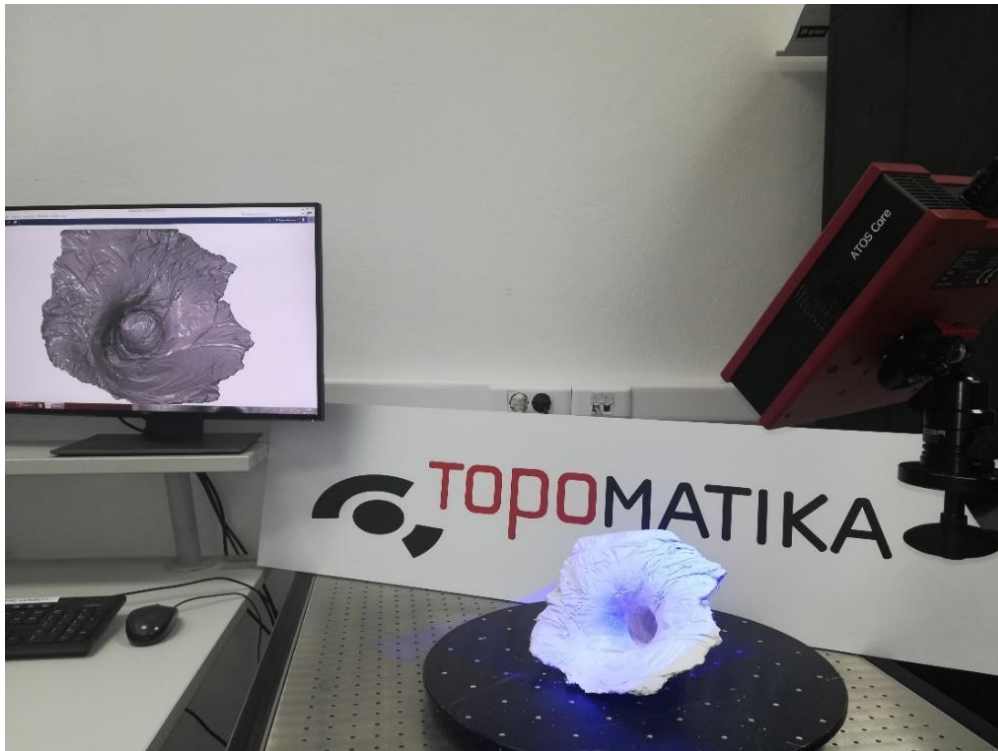
Osim samog batrljka, odljevom je obuhvaćen i dio prsnog koša s ciljem stvaranja veće površine za prijenos sile. Naime, u slučaju izrade odljevka isključivo na dijelu batrljka, dodirna površina bila bi mala, što bi rezultiralo prevelikom koncentracijom sile u donjem dijelu batrljka. Takva situacija lako bi dovela do nastanka rana na dijelu dodira završetka kosti i proteze. Povećanjem površine stvara se efekt ljudske štake i pod pazušnog prihvata. S obzirom na to da invalidni pas već duži niz godina nema nogu i pretpostavljeno je da su mu mišići koji se koriste za pomicanje noge atrofirali, povećanjem površine olakšat će se prihvata proteze i smanjiti vrijeme adaptacije.



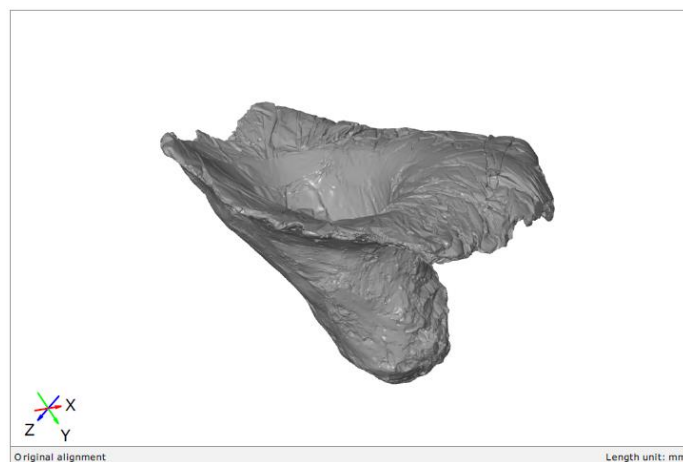
Slika 6.2 Izrađen odljev gornjeg dijela proteze na koji naliježe batrljak

Odljevak kao takav nije pogodan za izravnu uporabu zbog svih nesavršenosti koje su nastale u postupku izrade, najvećim dijelom zbog umetanja već navedenog zaštitnog sloja. Površina lošeg stanja uzrokovala bi neudobnost nošenja i rana na batrljku. Osim stanja površine važno je napomenuti da je odljev robustan i neprikladan za uporabu te zahtijeva ulaganje mekanog sloja. Kako bi se nadišli navedeni problemi odlučeno je napraviti trodimenzionalni sken te na dobivenim podacima učiniti postupak povratnog inženjerstva. Postupak skeniranja proveden je na 3D skeneru *ATOS III Triple Scan* (slika 6.3) u tvrtki *Topomatika d.o.o.* i potom obrađen u računalnim programima *Geomagic Design X* i *Solidworks*. Osim što se skeniranjem stvara prilika uglašavanja površine, otvara se i mogućnost dizajniranja donjeg prihvatnog dijela podobnog za prihvat ostataka proteze.

Postupak 3D skeniranja univerzalni je proces u kojem napredni projektor u suradnji s visoko razlučivim kamerama kreira mrežu točaka, često zvanu oblak točaka, koji čini geometriju komada sa svim unutarnjim i vanjskim površinama. S obzirom na to da oblak točaka koji nastaje kao produkt 3D skeniranja nije niti 3D model niti površina već samo informacija preko kojih se izvlači geometrija, potrebno je primijeniti postupak povratnog inženjerstva (e. *reverse engineering*). Preko određenih ploha i karakterističnih pogleda dobiva se kontura gdje se točke nakupljaju i stvaraju liniju te se na taj način dobivaju željene konture koje se zatim pomoću klasičnih postupaka i značajki koriste za kreiranje modela pristupom modeliranja putem površina ili pristupom stvaranja trodimenzionalnog tijela (slika 6.4). [21]



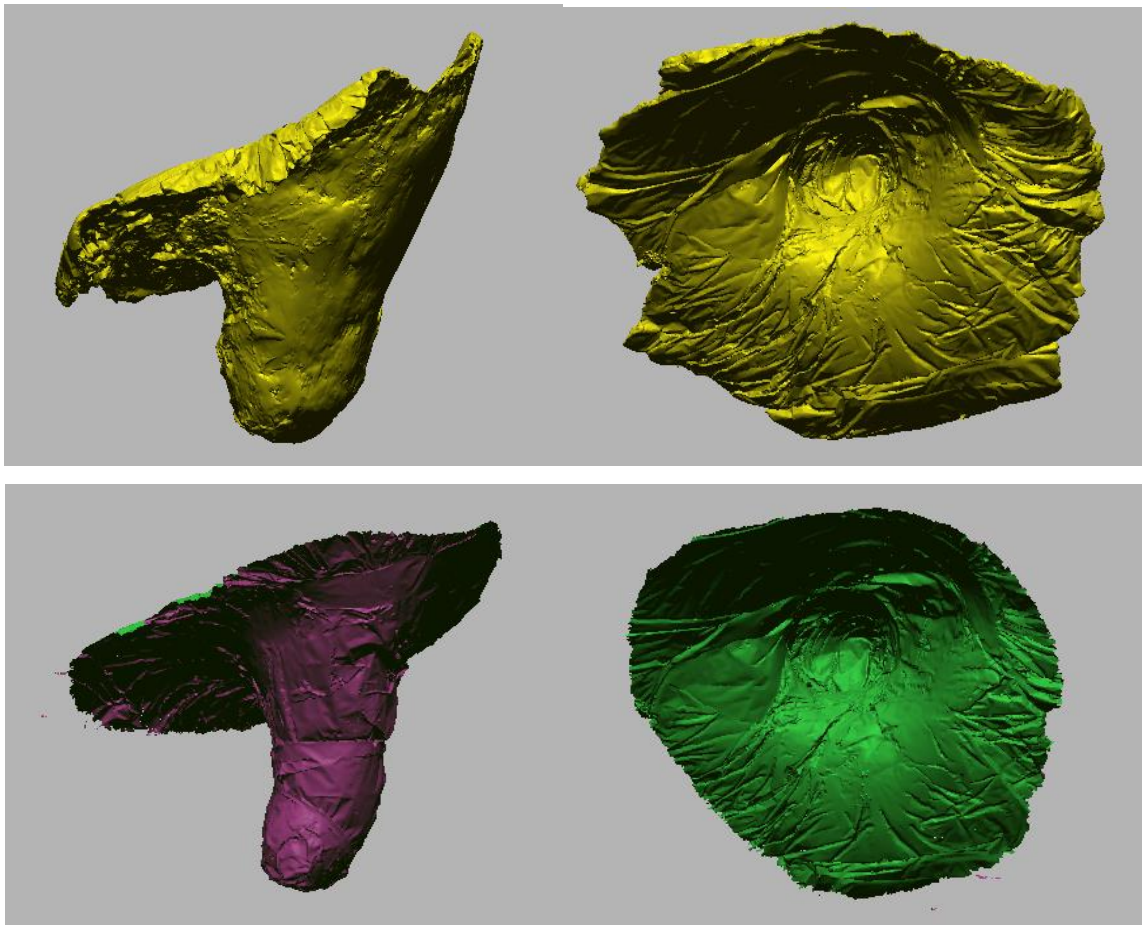
Slika 6.3 Postupak 3D skeniranja na uređaju ATOS III Triple Scan



Slika 6.4 Rezultat skeniranja

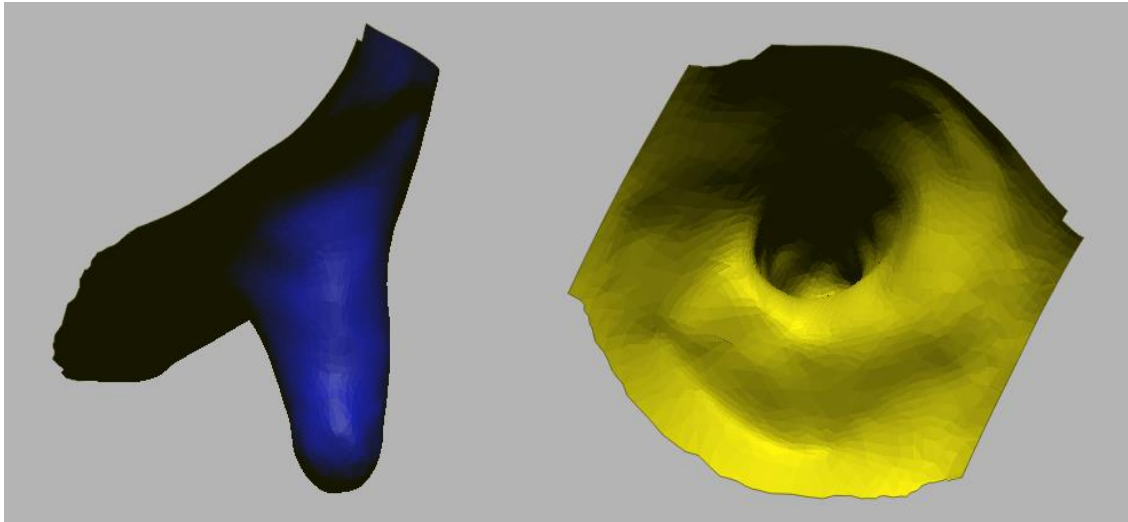
U ovom radu primjenjivano je i modeliranje površinama i modeliranje trodimenzionalnim tijelima gdje je nakon dobivenog oblaka točaka prvi potrebn pristup bio modeliranje površinama (slika 6.5). Zbog već spomenute robusnosti gipsanog odljeva odlučeno je da će se od njega iskoristiti smo funkcionalna kontaktna površina, a vanjska, koja će ujedno definirati i debljinu stjenke prihvatnog elementa, naknadno će se modelirati. Dakle, prvi korak modeliranja bio je dobivanje isključivo unutarnje površine gipsanog odljevka. Uklanjanjem dijela oblaka točaka koji nije nosio važnu informaciju, odstranjena je i vanjska površina zajedno sa značajnim neravninama na rubovima odljevka. Rezultat ovog koraka bio je ostatak

oblaka točaka koji opisuje unutarnju površinu odljevka, odnosno vanjsku površinu batrljka i prsnog koša.

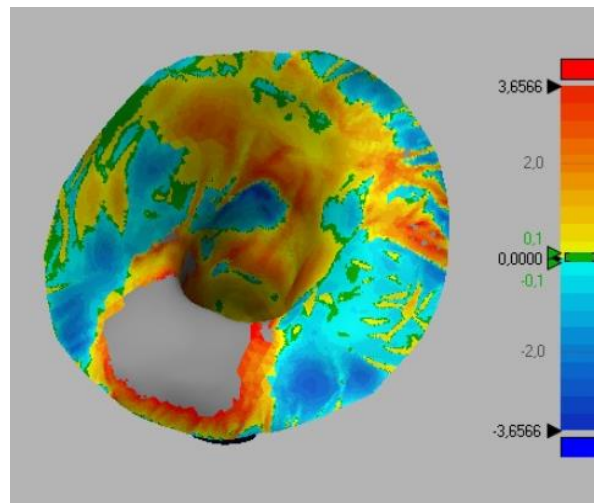


Slika 6.5 Odstranjivanje nepotrebnog dijela oblaka točaka iz 3D skena

U drugom koraku na oblaku točaka uklonjene su nepravilnosti i nesavršenosti nastale zbog oblaganja batrljka folijom, (slika 6.6). Nakon dobivanja uglađenog oblaka točaka, potrebno je dobiti površinu koju točke opisuju. Uz korištenje varijacija automatski generiranih i ručno crtanih *Nurbs* krivulja, dobivena je tražena površina koja se povećanjem modela zamaknula u smjeru svih normala kako bi se površina mogla obložiti mekim materijalom. Prije odmicanja površine napravljena je provjera točnosti preklapanja dobivenog zaglađenog oblaka točaka i originalnog skena. Najveće dilatacije mogu se uočiti na područjima najvećih nepravilnosti što navodi na zaključak da dobivena uglađena površina nema značajna odstupanja od dobivene geometrije (slika 6.7.).



Slika 6.6 Prikaz zaglađenog oblaka točaka koje opisuju unutarnju površinu skena gornjeg dijela proteze



Slika 6.7 Prikaz odstupanja uglačanog i inicijalnog oblaka točaka

Model s površinama nije prikladan za daljnju izradu postupcima aditivne proizvodnje te je potrebno napraviti 3D model. Taj proces napravljen je u računalnom programu *Solidworks* korištenjem značajke *loft*. Određeno je osam karakterističnih presjeka modela na kojima su napravljene krivulje koje opisuju presječenu geometriju, a u svakom su presjeku odmaknute za nekoliko milimetara od unutarnje površine. Kroz generirane krivulje provučena je nova površina s punim materijalom iz kojeg se, s prethodno dobivenom površinom, izrezao višak čime se dobio približno gotovi oblik. Posljednji korak modeliranja bio je zaobljavanje oštih bridova kako u gotovom proizvodu ne bi stvarali nelagodu pri nošenju te kako bi se izbjegli potencijalni problemi u izradi u trenutku stvaranja konturnih oštih bridova gdje se model prelazi u linijsku strukturu (slika 6.8).

Pretposljednja ravnina prethodno objašnjene značajke zamaknuta je dodatnih 10 mm od predviđene pozicije kako bi se na dnu gornjeg dijela proteze stvorilo dodatnog materijala i prostora za modeliranje prihvatnih elemenata između gornjeg i donjeg dijela proteze. Donji dio proteze pričvršćuje se na gornji s dva vijka M8 uz pomoć prikladnih matica i manjeg elementa stvorenog za ravnomjernu distribuciju sile između dva dijela proteze. Rupe za vijak napravljene su u pravcu pružanja kralježnice psa odnosno tijela psa kako bi geometrija donjeg dijela bila pravilno rotirana i pogodna za unos željene elastične deformacije.



Slika 6.8 3D model gornjeg dijela proteze

Prilikom modeliranja važno je bilo ostaviti cijelu opisanu površinu kontaktnog dijela, specifično donji sferni oblik, kako bi se spriječilo stvaranje podljeva krvi na prostorima bez pritiska.

6.2 Modeliranje donjeg dijela proteze

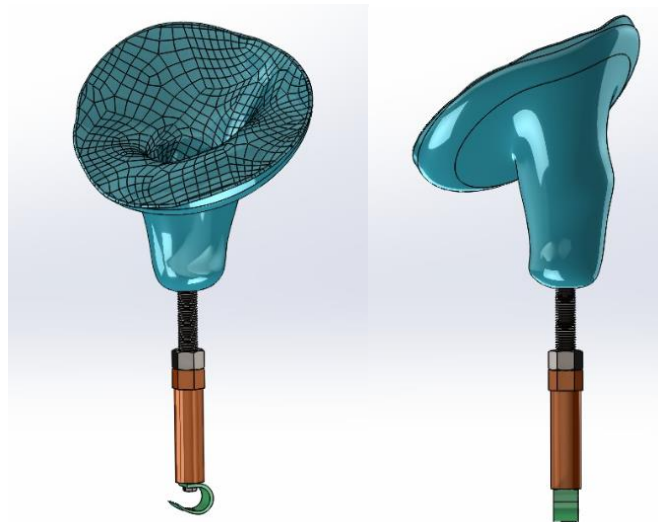
Visina donjeg dijela proteze jedan je od važnih aspekata pri modeliranju. S obzirom na to da je hodanje psa na samo tri noge bez pomagala tijekom zadnjih nekoliko godina uzrokovalo deformaciju fiziologije u području prednjeg lijevog uda, zaključeno je kako bi varijabilnost visine proteze pomogla u procesu adaptacije na njeno korištenje.

Udarno opterećenje drugi je važan aspekt. Pri svakom novom kontaktu proteze s podlogom, u slučaju krute izvedbe, udarna sila prenosila bi se povratno u sustav odnosno u mišićnu i koštanu strukturu psa. Kod zdravih udova udarne sile podnose zglobovi u kombinaciji s ligamentima i mišićima, a u slučaju proteze taj dio energije mora moći preuzeti proteza. Predviđeno je da proteza svojim oblikom i debljinom stjenke pri svakom koraku ulazi u područje elastične

deformacije i time korištenje učini što ugodnijim. Zbog specifičnih zahtjeva važno je bilo posvetiti pažnju pravilnom odabiru materijala kako bi osigurali potrebne značajke.

Ostali razmatrani aspekti bili su jednostavnost stavljanja i skidanja proteze te prihvatljiv estetski identitet.

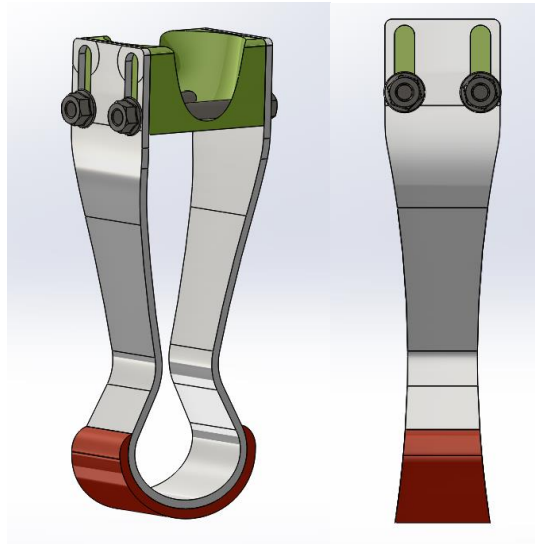
Razvijena su dva oblika donjeg dijela proteze. Oblik koji nije odabran zamišljen je kao navojni element koji uz prijenos sile omogućava i vrlo veliku adaptivnosti visine. Na navojni element vijčanim bi se spojem spajao specifično modelirani dio koji bi na dijelu presjeka imao navoj, a u ostatku tijela šupljinu za prihvat vijka prilikom adaptacije visine. Naposljetku, na taj dio bi se manjim vijkom pričvrstila i elastična nagazna podloga koja bi bila sposobna apsorbirati udarne sile i bila bi zamjenjiva.(slika 6.9).



Slika 6.9 Prva varijanta donjeg dijela proteze iz dva pogleda

Nedostatak prikazane izrade donjeg dijela proteze jest krutost, odnosno nedostatak elastičnosti u sustavu. Pretpostavljeno je da nagazna podloga ne bi bila dovoljna za osiguranje potrebne elastičnosti i krutost navojnog dijela bila bi dovoljno velika da bi prijenos sile nazad u ud bio osjetan, a time i nepoželjan. Još jedna negativna strana ove izvedbe bi bila masa koja bi iznosila 320 grama.

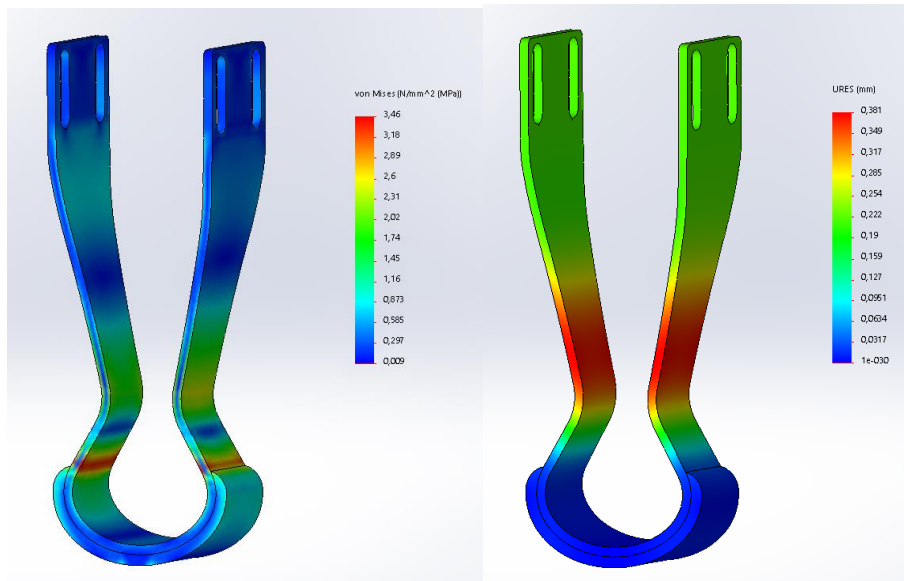
Kako bi se postigla što manja masa proteze zbog ciljanog smanjenja opterećenja pri korištenju, konstruirana je nova varijanta prikazana na slici 6.10 koji teži 244 grama



Slika 6.10 Druga varijanta donjeg dijela proteze

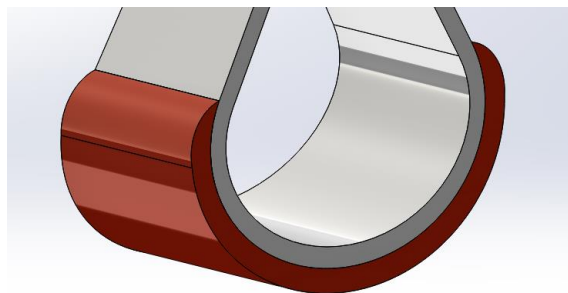
Ova varijanta donjeg dijela proteze ima ukupnu visinu 216 mm s debljinom stjenke 4 mm, a varijabilnost u visini od 25 mm omogućena je ovalnim rupama s bočne strane. Ovakav oblik donjeg dijela osigurava potrebnu elastičnost koja služi za već opisano apsorpiranje udaraca prilikom hodanja, ili eventualno skakanja, u početnoj fazi privikavanja na protezu.

Glavna značajka ovog dizajna je oblik kod kojeg se unosom sile u sustav potiče elastična deformacija na opuštenu srednjem dijelu. Tankostjenom konstrukcijom i suženjem iz bočnog pogleda, lokalizirano je područje u kojem se očekuje preuzimanje udarne sile. Pored toga visina je druga važna značajka. Najniža visina određena je kao visina na kojoj se nalazi batrljak u opuštenu stanju kada pas nema protezu, a maksimalna za 25 mm više što je jedino moguće postići kroz redovne vježbe u procesu adaptacije.



Slika 6.11 Slika lijevo prikazuje maksimalnu deformaciju pri opterećenju od 60 N i izražena je u MPa; slika desno prikazuje maksimalne pomake i deformirani oblik pri opterećenju od 60 N

Kako bi se osiguralo bolje prisanjanje proteze na podlogu kao što su trava, asfalt, pločice, parket i sl. modeliran je mekani prisanjajući sloj od 3 mm koji će svojom veličinom i faktorom trenja spriječiti moguće klizanje i povećati prisanjanje u dodirnoj točki (slika 6.12) .



Slika 6.12 Gumena podloška protiv klizanja

7 IZRADA PROTEZE

7.1 Izrada gornjeg dijela proteze

U slučaju izrade personalizirane proteze aditivni postupci imaju veliku prednost jer omogućuju izradu komplicirane geometrije u kratkom vremenu. Moguće je izraditi prototipove i različite varijante prilikom razvoja proizvoda, a da se ne ide u skupu izradu alata ili kalupa koji obično nije opravdan u slučaju izrade personaliziranih maloserijskih proizvoda.

S obzirom na uvjet da proteza bude što manje mase, za gornji dio proteze izabran je postupak taložnog očvršćivanja – FDM. U postupku FDM-a moguće je izraditi određenu gustoću ispune i oblik ispune da se smanji masa. Gornji dio izrađen je na 3D pisaču *Kloner 300H* (slika 7.1) od materijala ABS (akrilonitril/butadien/stiren) koji spada u konstrukcijske plastomere i standardno se primjenjuje u taložnom očvršćivanju.

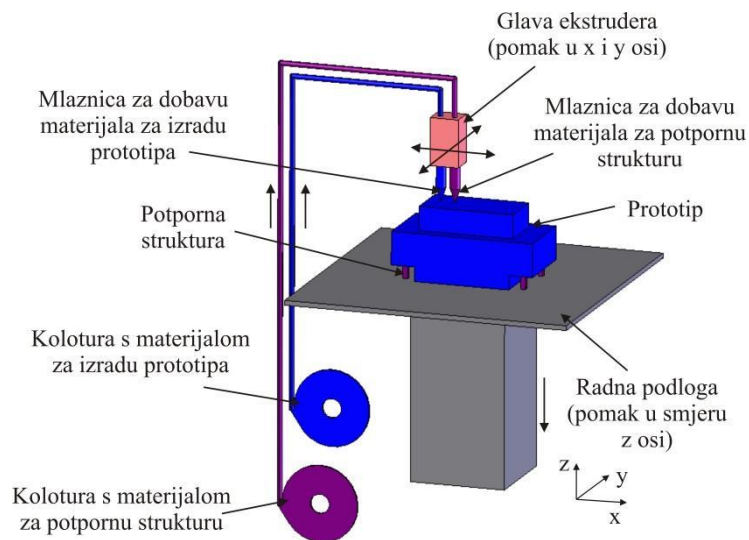


Slika 7.1 3D pisač Kloner 300H

Parametri izrade su:

- temperatura prerade:
- temperatura podloge:
- brzina ispisa:
- debljina sloja:
- gustoća ispune:

Uređaj za FDM rade na načelu troosnog NC obradnog centra. Kroz mlaznicu prolazi polimerni materijal u obliku žice koji se u mlaznici zagrijava i tali te izlazi van u kapljevitom stanju. Mlaznicom upravlja računalo u sve tri osi. Osnovni zahtjev postupka FDM održavanje je temperature kapljevito materijala iznad temperature očvršćivanja (slika 7.2). Prednosti FDM postupka su te što nije potreban laser, potrošnja energije znatno je manja, nema potrebe za osiguravanjem ventilacije i hlađenja, niski su troškovi održavanja, manji su investicijski troškovi i prostor potreban za uređaj. Nedostaci taložnog očvršćivanja su potrebna naknadna obrada, vidljive linije između slojeva, nužna izrada potporne strukture. [16]



Slika 7.2 Načelo postupka FDM [20]



Slika 7.3 Prikaz 3D tiskanja gornjeg dijela proteze

7.2 Izrada donjeg dijela proteze

Donji dio proteze potrebno je izraditi u jednom komadu, skupa s gumenom podlogom da se izbjegne naknadno spajanje gumenog dijela s donjim dijelom proteze. Takvu mogućnost pruža postupak ispisivanja mlazom fotopolimera (PolyJet) i izbor tzv. digitalnih materijala (e. *digital materials*) u kojem se može podešavati različita tvrdoća gumene podloške. Tim postupkom omogućeno je istovremeno nanošenja mlaza dvaju različitih materijala različitih svojstava (kruti i elastični polimerni materijal). Osim toga, navedeni materijali mogu se miješati u omjerima da se dobiju odgovarajuća potrebna mehanička svojstva. To je vrlo korisna opcija jer se na taj način mogu na različitim dijelovima, na koje djeluju različita opterećenja i različite primjene, postići drugačija mehanička svojstva.

Sukladno tome, donji dio proteze izrađen je postupkom Polyjet na 3D pisaču *Conex 350* tvrtke *Stratasys* (slika 7.3) kombinacijom materijala *VeroWhite* i *TangoBlackPlus*.

Parametri prerade:

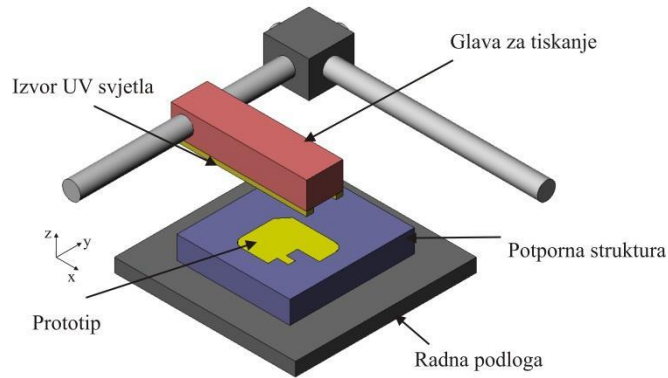
- materijal donjeg dijela: DM 8515 Gray 35
- materijal gumenog dijela: DM 9870 Shore 70
- debljina sloja: 0,016 mm
- temperatura glave: 70 °C
- utrošeno materijala: *VeroWhite* 210 g, *TangoBlackPlus* 50 g i potporne strukture 125 g
- vrijeme izrade 9h i 35 min.



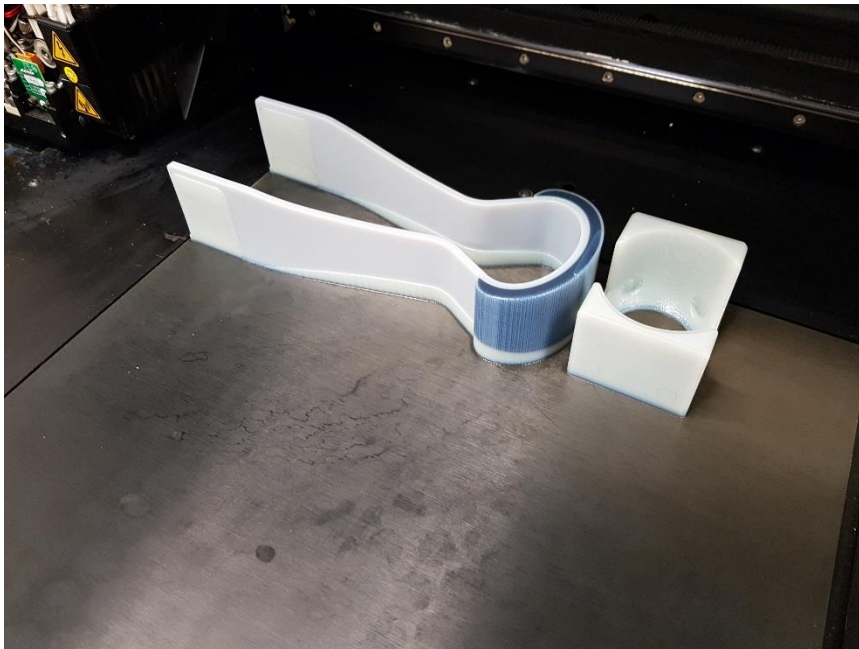
Slika 7.4 3D pisac Connex 350

Postupak PolyJet hibridni je postupak koji ujedinjuje dobre strane stereolitografije (SLA) i postupka 3D tiskanja. Pri ovom postupku proizvodnje prvi korak je 3D tiskanje sloja fotoosjetljivog polimernog materijala pomoću cijele mreže mlaznica ugrađene u nekoliko glava za tiskanje. Pri tom se rabi gradivni materijal i potporni materijal koji omogućuje tiskanje kompliciranih oblika geometrije sa šupljinama. Nakon tiskanja sloja, u drugom se koraku sloj očvršćuje pod djelovanjem izvora UV svjetlosti (slika 7.4). Glavna prednost PolyJeta u odnosu na SLA postupak u tome je što čitavi sloj proizvoda očvršćuje istodobno, a ne selektivno. Prije početka pravljenja novog sloja proizvoda, podloga se spušta za debljinu sljedećeg sloja. Nakon proizvodnje završnog sloja, potporni se materijal uklanja vodom. Kako je postupak vrlo precizan, potrebe za naknadnom obradom vrlo su male. Također se ne zahtijeva naknadno očvršćivanje proizvoda. [16]

Prednosti postupka PolyJet su: postizanje odlične točnosti uz glatku završnu površinu, mogućnost izrade vrlo kompleksnih dijelova, veliki raspon boja i materijala, velika brzina izrade, nema dodira sa smolom te se [17] zbog toga uređaji mogu primjenjivati u uredima. [22]



Slika 7.5 Načelo postupka PolyJet[16]

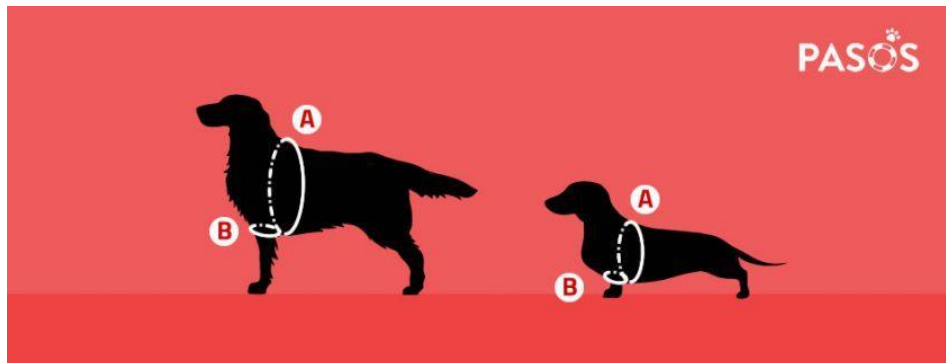


Slika 7.6 Prikaz 3D tiskanja donjeg dijela proteze

7.3 Pričvršćivanje proteze na tijelo psa

Prilikom konstruiranja, a onda i same izrade, potrebno je razmotriti način pričvršćivanja proteze na batrljak psa i način na koji osigurati što čvršću vez kako proteza ne bi klizila ili ispadala. Kako je u ovom slučaju dužina batrljka vrlo kratka i pas nema lakta, prihvat samo preko batrljka kako se inače najčešće rješava nije moguć jer je površina prihвата premalena.

Za pomoć kod invalidnih pasa obično se rade prsluci pa je ovdje odlučena kombinacija prsluka i traka koje će čvrsto pridržavati protezu. Prsluk i trake izrađeni su po mjeri u tvrtki *PaSOS*, a mjere su uzete prema uputama sa slike 7.7.



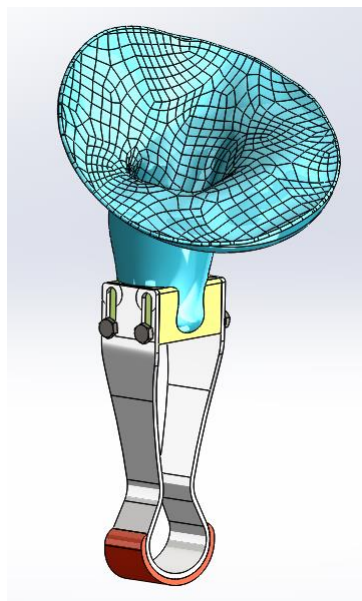
Slika 7.7 Upute za uzimanje mjera pri izradi prsluka [18]

Mjere za ovog psa su:

- opseg prsa: 63 cm
- opseg zdrave noge: 23 cm.

7.4 Izrađena proteza

Na slici 7.8. i 7.9 prikazana je usporedba virtualnog modela gotove izrađene proteze koja je umetnuta u specijalno izrađeni prsluk koji će omogućiti lakše nošenje i korištenje proizvoda. izrađena proteza.



Slika 7.8 Proces izrade gornjeg dijela proteze i gotov proizvod s EVAC oblogom

U postupku izrade gornji prihvatni dio rastavljen je u dva zasebna komada posebno odabranom ravninom rezanja kako bi se smanjila ukopna količina potpornog materijala i vrijeme izrade. Obzirom na razdvajanje bilo je potrebno na spojnoj plohi napraviti elemente za pozicioniranje i valjano spajanje koje se izvelo industrijskim lijepljenjem.



Slika 7.9 Gotova i sastavljena proteza



Slika 7.10 Prikaz proteze pričvršćene na tijelo psa

8 RASPRAVA

Konstruiranje i izrada proizvoda vrlo je zahtijevan posao, pogotovo kad je riječ o kompliciranim geometrijama. Moderni pristup, od 3D skeniranja do izrade aditivnom proizvodnjom, omogućuje personalizirane proizvode bez primjene skupih kalupa.

U ovom radu postavljena je hipoteza da je moguće izraditi personaliziranu protezu za pomoć psu prilikom hodanja koji je ostao bez prednje lijeve noge. Nakon detaljne analize i konzultacija s raznim strukama, modelirana je i izrađena proteza prema opisanim ciljevima.

Potrebno je istaknuti da ovakva proteza ima varijabilnost u podešavanju visine koja će se u postupku prilagodbe moći regulirati.

Negativan aspekt rada očituje se u nedostatku dugotrajnog ispitivanja udobnosti i funkcionalnosti proteze koji bi mogli ukazati na nedostatke u točnosti izrade unutarnje površine prihvatnog dijela. U slučaju nesavršenosti izrade, protezu bi bilo moguće doraditi konvencionalnim metodama odvajanja čestica npr. brušenjem ili, u slučaju velikih dilatacija, ponovno izraditi problematičan dio aditivnim postupcima.

9 ZAKLJUČAK

Pas nije samo ljubimac već i čovjekov najbolji prijatelj. Nažalost, mnogo vlasnika suočava se s time da njihov ljubimac oboli ili ga zadesi nesreća te je jedina opcija za spas životinje amputacija jednog ili više udova. Upravo u takvim okolnostima na nama ljudima je da životinji olakšamo ostatak života kako bi mogla biti što bezbrižnija i nastaviti svoj život u igri i druženju.

Ideja protezom koja je obrađena u ovom radu jest omogućiti vlasnicima pasa u Hrvatskoj i šire da svojim ljubimcima osiguraju normalan i funkcionalan nastavak života nakon amputacija. Izradom ove proteze pokazano je kako su aditivne tehnologije i povratno inženjerstvo spretni i učinkoviti alati kojima se vrlo efikasno mogu izrađivati specijalizirana protetska i ortopedska pomagala za životinje. Proteza je napravljena tako da je pogodna za skidanje i namještanje po potrebi što ne komplicira svakodnevnu uporabu. Ovakav način konstruiranja i izrade može se primijeniti na svakog psa, naravno ovisno o tome koja je noga amputirana. Mogućnosti su razne zato što model izrađen aditivnim postupcima pruža brojne mogućnosti i veliku varijabilnost (izbor materijala, kratko vrijeme izrade, mogućnost izrade komplicirane geometrije, bez skupih kalupa, itd.), ali i onu najbitniju, a to je vratiti ljubimcima mogućnost lagodnog nastavka života.

Važno je osvijestiti da, nakon izvršene proteze, pas treba proći rehabilitaciju s redovnim vježbama kako bi se naučio koristiti protezu te kako bi saživio s njenom svakodnevnom uporabom.

Ovim putem želimo zahvaliti izv. prof. dr. sc. Damiru Godecu na pruženoj prilici i inicijalnoj ideji rada, potom doc. dr. sc. Ani Pilipović na mentoriranju, sugestijama i svojoj pomoći prilikom pisanja rada. Također se želimo zahvaliti Miodragu Kataleniću za pomoć pri izradi dijelova, gospodinu Hrvoju Dumančiću za pomoć pri izradi gipsanog odljeva, tvrtki Topomatika na izradi trodimenzionalne snimke odljevka i tvrtki PaSOS na izradi personaliziranog prsluka za prihvat proteze.

10 POPIS LITERATURE

- [1] M. Bernat, "Protetski nadomjestci za pse, diplomski rad," Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [2] V. M. Dickerson *et al.*, "Outcomes of dogs undergoing limb amputation, owner satisfaction with limb amputation procedures, and owner perceptions regarding postsurgical adaptation: 64 cases," *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, vol. 247, no. 7, 2015.
- [3] "Limb Amputation," *Michigan Animal Hospital*. [Online]. Available: <http://www.michigananimalhospital.com/leg-amputation>. [Accessed: 11-Apr-2019].
- [4] "Limb Amputation: Can My Pet Survive?," *Animal medical Center*. [Online]. Available: <https://www.amcny.org/blog/2017/05/24/limb-amputation-can-my-pet-survive>. [Accessed: 11-Apr-2019].
- [5] F. Di Dona, G. Della Valle, L. Meomartino, F. Lamagna, and G. Fatone, "Congenital deformity of the distal extremities in three dogs," *Open Vet. J.*, vol. 6, no. 3, p. 228, 2016.
- [6] "Dog Derby." [Online]. Available: Congenital deformity of the distal extremities in three dogs. [Accessed: 14-Apr-2019].
- [7] S. L. Jarvis, D. R. Worley, S. M. Hogy, A. E. Hill, K. K. Haussler, and R. F. Reiser, "Kinematic and kinetic analysis of dogs during trotting after amputation of a thoracic limb," *Am. J. Vet. Res.*, vol. 74, no. 9, pp. 1155–1163, 2013.
- [8] L. M. Rasmussen, "Limb Amputation," *Direc Veterinary Surgery*, 2017. [Online]. Available: <https://directvetsurg.com/limb-amputation/>. [Accessed: 11-Apr-2019].
- [9] J. Palačić, "Kolica za kućne ljubimce, završni rad," Sveučilište u Zagrebu, 2018.
- [10] C. D. Newton and D. M. Nunamaker, "Normal And Abnormal Gait," *Textb. Small Anim. Orthop.*, pp. 1–12, 1985.
- [11] T. Kern, "Veterinary orthotics and prosthetics," 2018. [Online]. Available: [https://www.michvma.org/resources/Documents/MVC/2018 Proceedings/kern_02.pdf](https://www.michvma.org/resources/Documents/MVC/2018%20Proceedings/kern_02.pdf).
- [12] A. Mota, "Materials of Prosthetic Limbs," 2017.
- [13] B. J. Carr, D. L. Dycus, D. Acvs, and S. Animal, "Canine orthopedic devices," no. February, 2016.
- [14] N. Bachman *et al.*, "Design of a Prosthesis for Canines with Front Limb Deformities," 2017.
- [15] I. Vukušić, "Materijali za izradu anatomskih uložaka stopala, završni rad," Sveučilište u Zdagrebu, 2013.

- [16] D. Godec and M. Šercer, *Aditivna proizvodnja*. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [17] A. Pilipović, “Utjecaj parametara izrade na svojstva polimernoga prototipa, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.,” Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [18] “Prednja nosiljka za pomoć pri hodanju.” [Online]. Available: <http://pasos.com.hr/proizvodi/prednja-nosaljka-za-pomoc-pri-hodanju/>. [Accessed: 15-Apr-2019].

11 Sažetak

Autori: Jelena Špehar i Domagoj Uremović

Naslov: Razvoj i izrada protetskog pomagala za invalidnog psa

U ovom radu prikazani su najčešći razlozi koji dovode do invaliditeta pasa i amputacije jednog ili više udova te način na koji to utječe na anatomiju psa i njegovo kretanje.

Praktični dio ovog rada čini osmišljanje i izrada prototipa protetskog pomagala za prednju lijevu nogu mješanke haskija. U procesu razmatranja najboljeg rješenja generirana su dvije izvedbe proteze od kojih je odabrana lakša i funkcionalno prihvatljivija izvedba. U drugom dijelu rada prikazan je postupak izrade personalizirane proteze i način korištenja uz pomoć adaptiranog prsluka.

Ključne riječi: invaliditet, pas, protetsko pomagalo, aditivna tehnologija, razvoj proizvoda

12 Summary

Author: Jelena Špehar and Domagoj Uremović

Title: Design and manufacturing of a prosthetic aid for a disabled dog

This work summarises the most common reasons which lead to dog disability and amputation of one or more limbs. Furthermore, the work investigates the influence of those disabilities on the movement and the anatomy of the dog.

The practical part of this work consists of the design process and the actual manufacturing of the front left leg prosthetics for the female husky mutt. The conceptualisation and design phase resulted in two concepts of the leg prosthetics. The lighter and the functionally better one was chosen for manufacturing. Moreover, the work also presents the manufacturing procedure, followed by the description of the mounting procedure using the custom-made dog vest.

Key words: disabled dog, prosthetic, additive manufacturing, product design

Jelena Špehar

Rođena 4.10.1994. godine u Karlovcu. Maturirala u II. gimnaziji u Zagrebu te po završetku upisala Studij Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, smjer proizvodno inženjerstvo, usmjerenje zavarene konstrukcije. Prvu stručnu praksu odradila u Hidroelektrani Velebit. Uz redovan kurikulum fakultativno odslušala tečaj Centra za aditivne tehnologije na temu stručnog osposobljavanja za rad s aditivnim tehnologijama .

Domagoj Uremović

Apsolvent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Rođen 10.10.1994., V. gimnaziju završio u Zagrebu 2013. nakon čega je upisao preddiplomski studij na FSB-u smjer Računalno inženjerstvo koji je završio obranom rada na temu: “Razvoj virtualnog modela elektrohidrauličkog robotskog manipulatora”. Stručne prakse odradio u tvrtkama IZIT d.o.o i PLIVA d.o.o. nakon čega je stekao 4 mj. radnog iskustva u području razvoju proizvoda u austrijskoj tvrtki Smart Lift GmbH.