



Erik Sven Pärtin

VÄLIHAIGLA VOODI ARENDUS JA TOOTMISTEHNOLLOOGIA

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Õpperühm: ME2019

Juhendaja: Madis Moor

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Erik Sven Pärtin, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja: Madis Moor

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Erik Sven Pärtin

sünnikuupäev: 10.05.1999

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Välihaigla voodi arendus ja tootmistehnoloogia

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas.

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS.....	7
2. VÄLIVOODI MARK IV	8
2.1 Tutvustus	8
2.2 Probleemsed sõlmed	9
2.3 Probleemid tootmisel.....	11
2.4 Turul pakutavad tooted.....	12
3. VOODI ARENDUS	15
3.1 Projekteerimine.....	15
3.1.1 Esimene sõlm	15
3.1.2 Teine sõlm	17
3.1.3 Kolmas sõlm.....	20
3.2 Tugevuserutused.....	21
4. TEHNOLOOGIA	26
4.1 Materjalid.....	26
4.2 Tehnoloogilised protsessid	26
4.2.1 Laserlõikus	27
4.2.2 Painutus	27
4.2.3 Lukksepa tööd	27
4.2.4 Treimine	27
4.2.5 Keevitus.....	28
4.3 Ostutooted.....	28
4.4 Allhange.....	28
5. MAJANDUSLIK OSA	29
5.1 Materjalikulu	29
5.2 Tootmiskulu.....	30
5.3 Allhanke kulu	30
5.4 Ostutoodete kulu.....	30
5.5 Toote omahind.....	31
KOKKUVÕTE.....	32

SUMMARY	33
Kasutatud kirjandus.....	34
LISAD	35
Lisa 1. Käetoet ühendus.	35
Lisa 2. Jalgade ühendus raamiga.....	36
Lisa 3. Ostutoodete kulu.....	37
Lisa 4. Kolmik D31-D26.....	37
Lisa 5. Kandur	37
Lisa 6. MP185.09.00_Käepide_rev2	37

SISSEJUHATUS

Antud lõputöö käsitleb sõjaväelise välihaigla varustusse kuuluva välivoodi Mark IV arendust, keskendudes peamiselt teadaolevatele probleemsetele kohtadele, mis muudavad toote nõrgaks, nõuavad järelteenindust ning raskendavad tootmist.

Sõjaväeline välihaigla on kiirelt püstitav mobiilne raviasutus, kus teostatakse kannatada saanud sõdurile esmane elupäästev esmaabi. Tulenevalt trauma olemusest hinnatakse järgneva ravi vajadust. Kergemate vigastuste puhul, mille ravimise järgselt võib patsient samasse asutusse taastuma jääda, on vaja voodit, kus patsient saaks mugavalt taastuda. Selleks on maailmas välja töötatud kerge, funktsionaalne ja mugav mobiilne välivoodi.

Tulenevalt 2020. aasta märtsis alguse saanud koroonapandeemiast, mille tõttu katkesid ülemaailmsed tarneaahelad, tekkis Eesti välihaigla tootjal raskusi otstarbelise välivoodi saamisega. Kuna tavapärane 1-2 kuu pikkune tarneaeg muutus 6-10 kuu pikkuseks, oli vaja leida alternatiive. Selleks osutus Tartu külje all tegutsev ettevõtte nimega Toci OÜ.

Olles valmistanud esimese partii vajalikke välivooideid, leidis ettevõtte, et samal kujul tooteid ei ole mõistlik edasi teha. Just seetõttu, et tootel tekkisid tootmises ja hilisemalt ka kasutuses probleemsed kohad, millega ei olnud ise rahul ning mille puhul ka klient tegi etteheiteid. Samuti oli toote omahind liiga kõrge, vähendades ettevõtte potentsiaalset saadavat kasumit.

Tulenevalt probleemi suurusest, püstitas ettevõtte diplomitöö autorile eesmärgiks arendada toote probleemseid kohti selliselt, et välivoodi muutuks vastupidavamaks, kergemini toodetavaks ning seejuures väheneks omahind.

Lõputöö on jaotatud erinevateks peatükkideks. Esimeses peatükis antakse ülevaade ettevõttest, tegevusalast ja toodetavatest omatoodetest.

Teises peatükis tutvustatakse töö aluseks olevat välivoodit, tekkinud probleeme nii tootmisel kui ka kasutamisel ning antakse ülevaade turul pakutavatest sarnastest toodetest. Turul pakutavatest võrreldakse kolme eri mudelit. Selgitatakse välja erinevate toodete plussid ja miinused ning infot kasutatakse probleemide arendusel.

Kolmandas peatükis käsitletakse toote arendust ja arendatavate osade tugevusanalüüsi. Projekteeritakse kolme eri sõlme jaoks uued detailid, mille eesmärgiks on vähendada tekkinud probleeme ning lihtsustada tootmist. Samuti on selles peatükis üheks mõjutavaks aspektis projekteeritavate detailide valmistamise hind.

Neljandas peatükis käsitletakse tootmise tehnoloogilist poolt. Antakse ülevaade kasutatavatest materjalidest ning selgitatakse valitud töötlusprotsesside valikut. Seda valikut tehes on lähtutud ettevõtte enda ja koostööpartnerite võimekusest.

Viiendas peatükis käsitletakse majanduslikku poolt, kus arvutatakse kokku toote valmistamisel tekkivad kulud ning leitakse toote omahind. Selle hulka on arvestatud kõik tootmise kulud kui ka ostutoodete ja allhangete kulu.

1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

Lõputöö baasettevõtteks on Toci OÜ. Eesti ettevõtte Toci OÜ on Tartu külje all Kõrvekülas asuv pereettevõtte, mis asutati 2006. aastal ning on tänaseks kasvanud keskmise suurusega tootmisettevõtteks, andes tööd 60 töötajale. [1]

Ettevõtte tegeleb peamiselt erinevate projektipõhiste metallkonstruktsioonide tootmisega. Seejuures on koostöös partneritega võimalik klienditele pakkuda ka „võtmed kätte“ lahendust. Samuti tegeletakse ka tootearendustega.

Ettevõtte portfelli kuulub omatootena maailmas tuntust kogunud relvakinnitused, mis on laialdaselt kasutusel erinevate riikide sõjavägedes.

Ettevõtte masinaparki kuuluvad laser- ja gaasilõikuspingsid, painutuspingid, CNC-treipingid, lihvpingsid, mitmed erinevad keevitusseadmed ja ka enimlevinud lukkseppade kasutatavad masinad.



Sele 1. Toci OÜ

2. VÄLIVOODI MARK IV

2.1 Tutvustus

Mark IV välivoodi on oma 25 kilogrammi juures kerge, kompaktne ja kiiret kasutust võimaldav mobiilne voodi, mida saab paigaldada sise- kui ka välitingimustesse. Toode koosneb kergest alumiiniumraamist, madratsist, lauast ja tilguti statiivist. Voodi kandevõimeks on 150 kilogrammi.

Kasutusvalmis tootena on voodi mõõtmeteks 2010x830x900 mm (pikkus x laius x kõrgus) ilma tilgutistatiivi ja lauata, statiivi ja lauaga 2010x850x1796 mm. Kokku pakituna on mõõtmeteks 1040 x 820 x 332 mm. Toote lamamispinda on mõlemast otsast võimalik reguleerida kuue erineva nurga alla: 0°, 15°, 30°, 45°, 60° ja 80°.

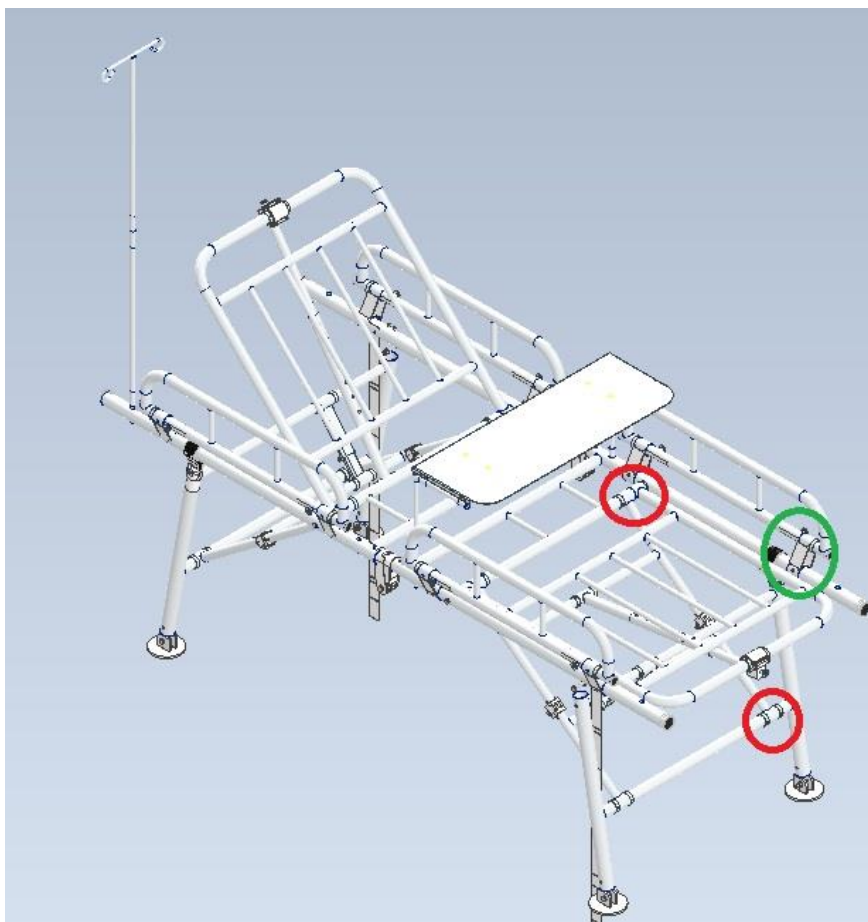
Antud toote põhiliseks kasutuskohaks siiani on Golden Hour MMH välihaigla „Ward Module“ moodulis.



Sele 2. Mark IV voodid WDM-is

2.2 Probleemsed sõlmed

Kuna antud toode oli ettevõtte jaoks uus ning puudusid varasemad kogemused sarnase toote tootmisel, on selle tootmise ja ka kasutamise käigus tulnud ilmsiks nõrgad kohad.



Sele 3. Probleemsed sõlmed

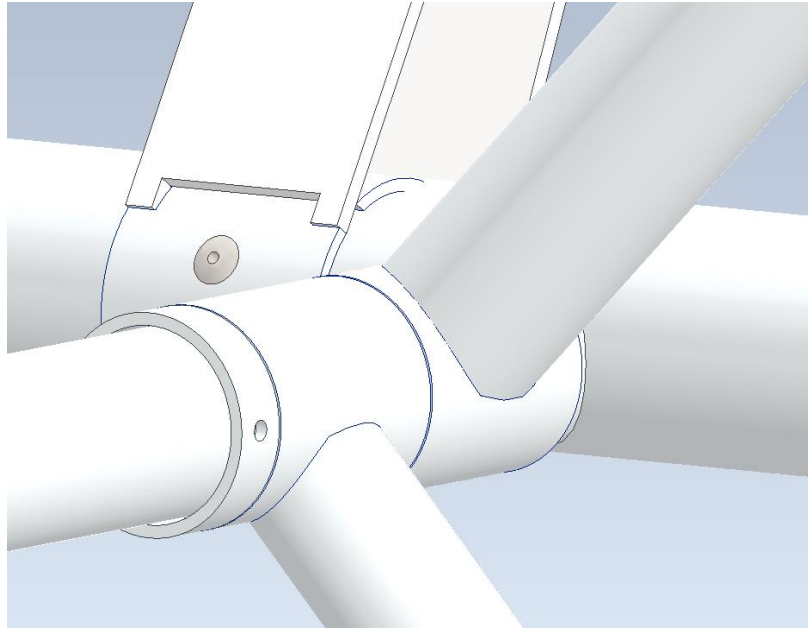
Suureks probleemiks toodetava toote juures on käetuge ja voodi raami ühendav lüli (Sele 3, rohelise ringiga), mis on kokku keevitatud kahest avadega ümartorust ja kahest kolme millimeetri paksusest alumiiniumplaadist ([Lisa 1](#)). Kuna need on valmistatud alumiiniumist, mis on pehme materjal ning deformeerub väiksema surve all kui näiteks teras, on väga tihti ette tulnud olukordi, kus kokkupakitud tootel on ladustamise käigus antud sõlm paindunud (Sele 4) või isegi purunenud.



Sele 4. Paindunud sõlm

Teiseks probleemseks sõlmeks on erinevate poolkoostude ühendused raamiga (Sele 3, punase ringiga) nagu on näha Sele 5. Antud ühendusel on väiksema välisdiameetriga ümartoru peale pandud suurema sisediameetriga ümartoru, mis on keevitatud vastava raami või toe otsa. Selline sõlmede kogum võimaldab välivoodit kokku-lahti pakkida ja vastavalt võimalustele reguleerida.

Nende sõlmede probleemiks on keevisliidete teostamise järgselt tekkiv sisepinna järeltöötamise vajadus, et tagada liite liikuvus. Olenevalt keevituse tulemusest, on selle liite liikuvus varieeruv. Mõnel valmistootel liiguvad need sõlmed kergelt, teisel aga raskelt ning kolmandal vajavad liikumiseks rohkelt füüsilist manipulatsiooni.



Sele 5. Poolkoostude ühendus raamiga

2.3 Probleemid tootmisel

Töös käsitletavat Mark IV välivoodit on toodetud Tocis 60 tükki. Nende tootmisel on registreeritud mitmeid probleeme, mis raskendasid toote valmistamist ning pikendasid tootmisaega.

Üheks suurimaks probleemiks oli ava mõõtmete vähenemine peale värvimist, mille tõttu pidi juba värvitud detailidel asetsevaid avasid üle puurima sobivasse mõõtu ja seejärel värviparandusi tegema. Selle olukorra põhjustas esialgselt projekteeritud avade liiga täpsed mõõdud, mille puhul ei olnud arvestatud lisanduva värvikihi paksusega, mis varieerub 60-100 mikromeetri vahel.

Teiseks probleemiks oli keeviskoostete teostamiseks vajalike rakiste puudumine, mille tõttu suurenes keevituse tööaeg. Kuna kogu raam koosneb erinevas mõõdus ümartorudest, kulus märkimisväärselt palju aega torude rihtimisele, et saada sirged ja ühesugused keeviskoosted.

2.4 Turul pakutavad tooted

Maailmaturul on sarnaseid tooteid pakkumises mitmeid, igaüks oma eripäradega. Seda peamiselt sellepärast, et sõjaväelistes haiglastes on erinevad vajadused. Järgnevalt on ülevaade turul pakutavatest toodetest.



Sele 6. Novum Medical Products välihaigla voodi [2]

Novum Medical Products on Ameerika päritolu ettevõtte, mis tegeleb meditsiinitarvikute ja varustuse tootmisega. Nende pakutav välivoodi kaalub 32 kilogrammi, seejuures võimaldades reguleerida ainult voodi peatsit viie positsiooni vahel. Antud toote puhul on võimalik kokku pakkida ainult voodi jalad, mille tõttu ei ole voodi väga kompaktne. Samuti puudub antul tootel ka laud.

Toode on valmistatud nelikanttorust ning kuna toodet pole võimalik väga kompaktseks pakkida, on erinevaid liigendeid sellel vähe, mis suurendavad toote jäikust.



Sele 7. Golden Season Mark IV [3]

Järgmisena on Singapuris asuva ettevõtte Golden Season-i poolt pakutav välihaigla voodi. Antud toode on praktiliselt samasugune nagu Toci poolt toodetav voodi. Erinevuseks on tootja poolt antud selle voodi kandevõimeks kuni 350 kg staatilist raskust, Toci voodil aga 150 kg. Samuti on ka käetoed valmistatud sirgetest ümartorudes. Voodi on valmistatud 6061 alumiinium ümartorust ning kaalub 24,5 kg.

Toote puhul on näha pöörlevate sõlmede jaoks kasutatud kolmikute lahendust, mis kinnitub ristuva toru külge poltliitega. See lahendus võimaldab vältida keevisliite puhul tekkida võivat juurt, mis saaks takistada sõlme liikuvust.



Sele 8. FSI North America [4]

FSI North America poolt pakutava toote puhul on tegemist kolme jalaga kokkupakitava voodiga, mille peatsit ja jalutsit on võimalik reguleerida. Toote lamamispind on riidest, pakkudes ühtlasemat pinda kasutavale isikule ning võimaldab antud voodit kasutada ka ilma madratsita. Kandevõimeks on 160 kg ning toode ise kaalub 21 kg. Komplektist puudub laud.

Toote ehituses on kasutatud kolme tugijalga, mis pakuvad ühtlasemat toetuspinda, vähendades läbipainde mahtu.

Turul pakutavate välihaigla voodite valik on suur, võimaldades vastavalt enda vajadustele valida sobivaim. Kuna Novum Medicali ja FSI North America pakutavate toodete ehitus on märgatavalt erinev töös käsitletavast voodist, ei ole nende ehituses midagi sellist, mida oleks võimalik eesmärgipäraseks arenduseks ideeks võtta.

Singapuri ettevõtte pakutava voodi sarnasus Toci poolt toodetava voodiga on suur, aga omab nüansse, mis eristavad seda töös käsitletavast. Konkurendi pakutava voodi juures kasutatud kolmiklahendus tugijalgade vahetoru küljes võimaldab sellel sõlmel liikuda vabalt ning ei vaja liikuvuse tagamiseks lisatöötlust, kuna puuduvad keevisliited.

3. VOODI ARENDUS

Välihaigla voodi arenduse eesmärgiks on leida uusi lahendusi eri sõlmede teostamiseks, et muuta voodi tugevamaks, odavamaks ja kiiremini toodetavaks. Järgnevalt on käsitletud kolme sõlme projekteerimist CAD programmis, kus aluseks on võetud varasemalt teostatud välivoodi 3D mudel.

3.1 Projekteerimine

3.1.1 Esimene sõlm

Esimeseks käsitletavaks sõlmeks on pöörlevate sõlmede ühendused.

Esialgse lahendusena on need ühendused valmistatud ümartorudest, mis on mõõtmetelt niipalju suuremad, et läheksid teisele torule peale ning saaksid ilma takistuseta seal liikuda. Sele 5 on näha ühenduse lahendust, kus 30 mm välisdiameetriga ümartoru peal on kaks 40 mm pikkusega ümartoru, mille sisediameeter on 31 mm. Viimased on keevisliitega ühendatud jalaraami ja seljaraami külge.

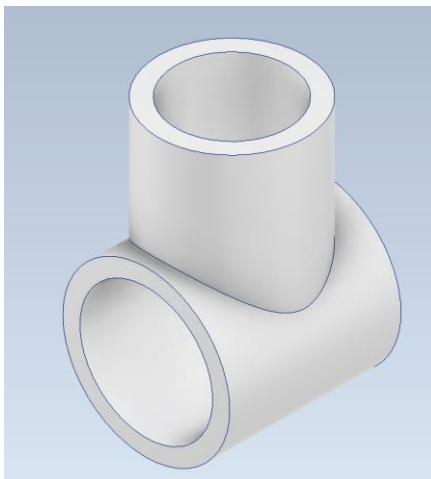
Antud lahenduse probleemiks on kujunenud asjaolu, kus peale keevisliite teostamist on toru sisepinnale tekkinud juur ning sisediameeter on selle tõttu vähenenud, mille tulemusena ei liigu antud liigend selle sees oleva ümartoru peal vabalt ning nõuab lisatöötlust.

Selle probleemi lahendamiseks sai esmalt otsitud võimalikke ostutooteid, mis vähese töötlemisega sobiksid asendama senist keevislahendust. Selleks kõige ligilähedasemaks võimalikuks lahendiks sobis Sele 9 peal nähtav vee- ja kanalisatsiooni süsteemides kasutatav kolmik, mille puhul oleks vaja keermed välja puurida. Kuna see kolmik on valmistatud messingust ning ei saa alumiiniumiga kokku keevitada, tuleks ette puurida ka neediavad, läbi mille saaks sinna mineva toru kinnitada neetidega. Tükihinnaga 8 eurot ja 47 senti, millele lisandub veel lukksepa tööjõu kulu, pole see lahendus majanduslikult otstarbekas.



Sele 9. Conex ahenev kolmik [5]

Kuna turul ei pakuta alumiiniumist sarnaseid sobivaid tooteid, mis ei vajaks lisatöötlust, tuli leida teisi lahendusi, mis ei oleks keevitusega liigselt mõjutatavad. Selleks sai projekteeritud voodile sobiv kolmiku lahendus, mis oleks valmistatav alumiiniumist (Sele 10). Antud lahendus tagab sõlme liikuvuse kuna läbiva ava sisepind ei ole keevisliite koostamisel mõjutatav.



Sele 10. Projekteeritud kolmik

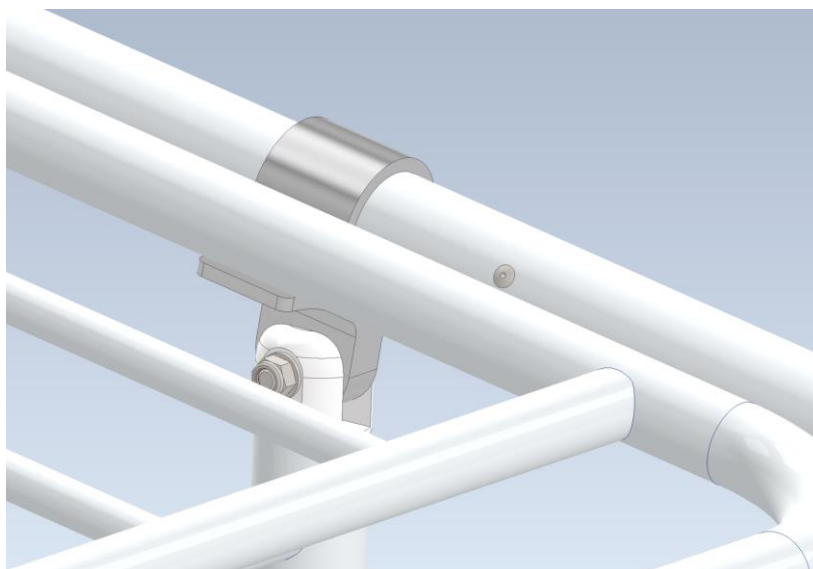
Tulenevalt kolmiku kujust ei ole võimalik ettevõttel ise olemasoleva masinapargiga toota ning allhanke korras tellida selle detaili freesimine oleks majanduslikult kulukas, rääkimata terve voodi omahinnast. Projekteeritud kolmiku võimalikuks valmistamiseks on kõige sobilikum alumiiniumvalu, kasutades liivavormi ja -kärni. Valamiseks kasutatav tehnoloogia tagab sisepinna puhtuse ning ei vaja hilisemat töötlust, võimaldades koostamisel antud detaili vastava ümartoru peale paigaldada.

3.1.2 Teine sõlm

Teisena käsitletavaks sõlmeks on voodi raami ja jalgade ühendus.

Siiani on selle sõlme jaoks kasutatud kahte freesitavat detaili, mis on omavahel ühendatud poltliitega (Sele 11). Voodi külgraaami toru külge kinnituv freesdetail omab kahte ülesannet:

- Kinnitada voodi jalga raami külge;
- Toetada seljaraami nullasendis.

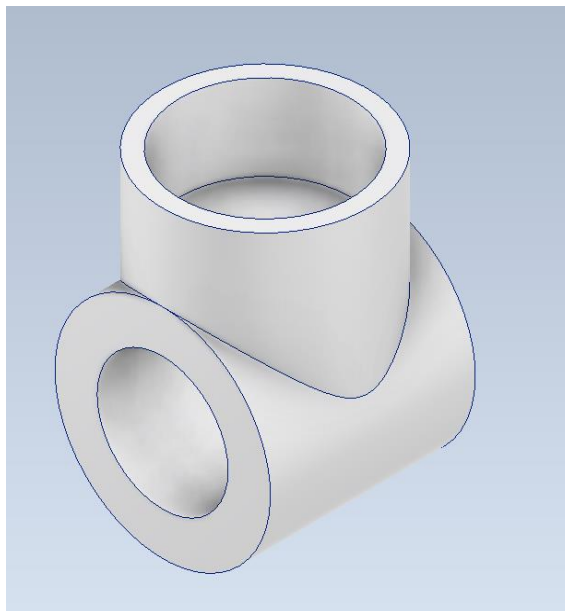


Sele 11. Seljaraam toetumas freesdetailile

Sellist ühendust on voodi küljes neli tükki ning ettevõtte poolne soov oleks need asendada muu lihtsama ja odavama sõlmega, et väheneks toote omahind.

Lähtudes voodi üldkonstruktsioonist ja eelnevalt projekteeritud liigendist, oleks mõistliku variandina kahe külgmise toru vahele lisada üks 30 mm diameetriga ümartoru, mille külge jalad kinnituda saaks, kasutades liigendiks Sele 10 peal näidatud kolmikut ([Lisa 2](#)). See lahendus võimaldaks toote küljest kaotada eelnevalt mainitud freesitavad detailid ning seejuures muudaks toote veel jäigemaks.

Antud lahenduse jaoks oleks vaja teiste mõõtmetega kolmikut, mis sobiks jala jaoks kasutatava 40 mm ümartoriga kokku. Selleks tuleb eelnevalt projekteeritud kolmikut dimensioneerida selliselt, et saaks jalana kasutatava ümartoru selle sisse panna (Sele 12).

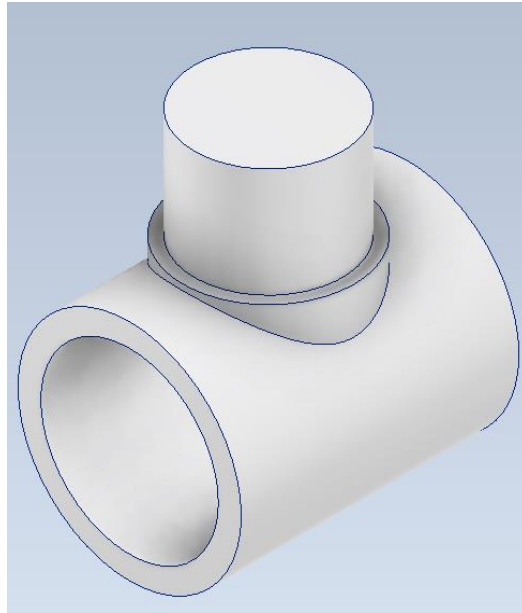


Sele 12. Kolmik jalgade jaoks.

Kuna sellisel kujul detail kaalub 222 grammi ning annab tervele voodile juurde 888 grammi, ei ole see hea lahendus. Samuti tuleks alumiiniumvalu jaoks läbiva ava pikkust suurendada, et saaks tagada vormi korrektse täituvuse ja sellest tulenevalt ka detaili kvaliteeti, mis omakorda suurendab veel selle kaalu.

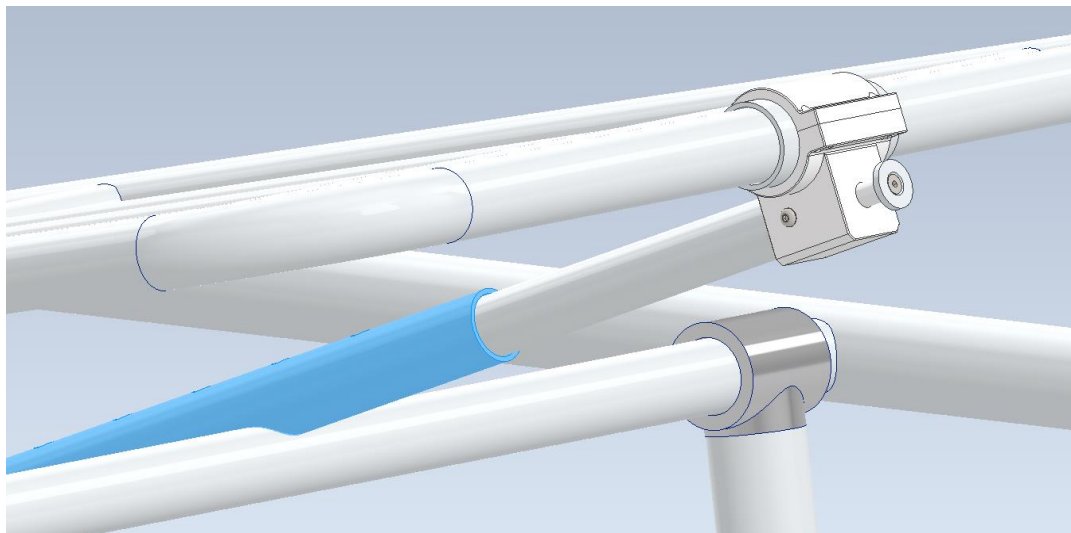
Tulenevalt nendest potentsiaalsetest probleemidest tuli optimeerida kolmik selliselt, et oleks kasutatav 40 mm välisdiameetriga ümartorul ning ei lisaks tootele umbes ühe kilogrammi jagu kaalu juurde. 40 x 2 mõõdus ümartoru sisediameetriks on 36 mm ning selle sisse saaks antud kolmiku otsa sisestada, et moodustada liide.

Optimeeritud kolmik (Sele 13) võimaldab valmistada liigendi, mis kinnitub 40 mm ümartoru sisse ning liigub 30 mm ümartoru peal. Seejuures kaaludes kõigest 97 grammi. Projekteeritud kolmiku ühendust jalaga saab teostada keevisliitega või vajadusel läbiva ava puurimisel nii kolmikusse kui ka jalga poltliitega.



Sele 13. Optimeeritud kolmik

Kuna voodil on ette nähtud nii selja- kui ka jalutsiraami reguleerimine erinevate nurkade vahel, tekib sellise lahenduse juures probleemiks toote reguleeritavus. Sele 14 on näha olukorda, kus seljaraami positsioneerimis lüli liikuvus on piiratud projekteeritud jalakinnituse sõlmega. Analüüsisdes tekkinud probleemi ja kogu Mark IV-i konstruktsiooni ilmneb tõdemus, et sellist jalgade ühendust raamiga ei ole võimalik kasutada kui just ei muuda kogu toote ehitust, mis ei ole antud töö eesmärk.



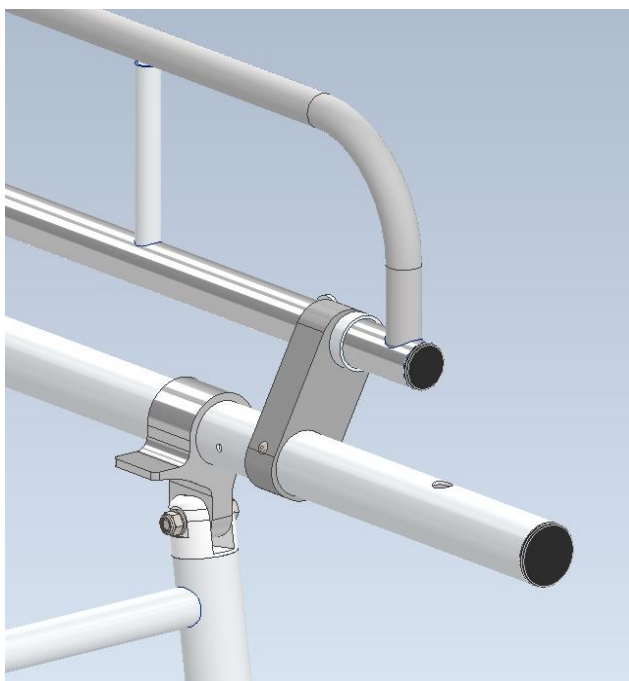
Sele 14. Projekteeritud jalakinnituse ja reguleerimislüli kokkupuude

3.1.3 Kolmas sõlm

Kolmandana käsitletavaks sõlmeks on käetoe ja voodi raami ühenduslüli ([Lisa 1](#)).

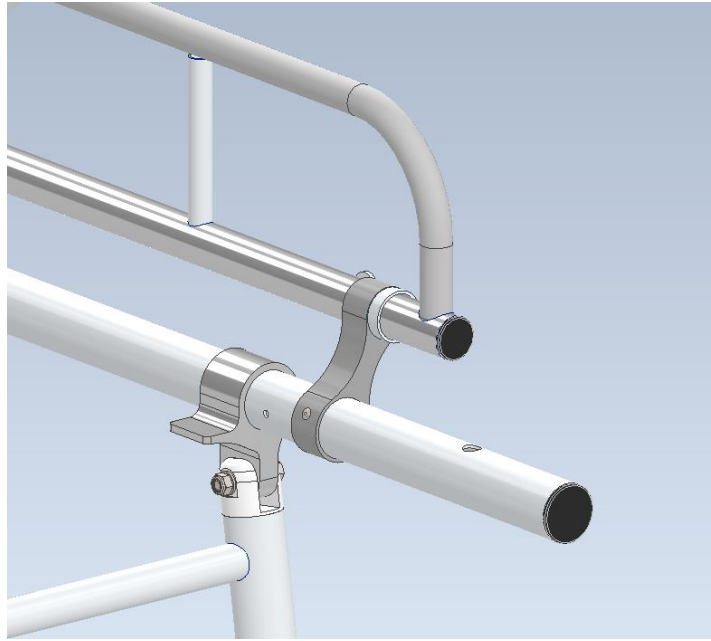
Senini kasutatud lahenduse puhul on esinenud mitmeid probleeme. Suurim nendest on asjaolu, kus valmistoote ladustamisel on antud sõlm deformeerunud (Sele 4). See on tingitud sõlme ülesehitusest ja kasutatavatest materjalidest, mis on sellele avalduva jõu jaoks liiga nõrgad. Probleemiks on olnud ka keevisliidete teostamisel tekkivad läbisulamised ja deformatsioonid.

Selle probleemi lahendamiseks projekteeriti detail, mis on ühes tükis (ei koosne erinevatest detailidest), et oleks lihtsam koostada ning ei peaks keevitama (Sele 15).



Sele 15. Käetoe ühendus raamiga

Projekteeritud detaili eeliseks on tema suurem vastupidavus survele ja deformatsioonile, kuna pole kahe toru vahel tühja ruumi, mis võimaldaks seintel läbi painduda. Kaaluga 211 grammi on antud detail üledimensioneeritud oma mõõtudel ning nõuab optimeerimist.



Sele 16. Optimeeritud sõlm

Optimeeritud detaili (Sele 16) kaaluks on 92 grammi. See vähenes keskosa õhendamisel. Sellisel kujul detail tagab sõlme vastupidavuse paindele ja muudele deformatsioonidele, viies varasema probleemi neetühendustele. Selline üleminek on aktsepteeritav, sest käetoet ülesandeks on hoida patsiendi jäsemeid voodis ning takistada teki ja teatud piirini ka patsiendi voodist välja kukkumist.

Tulenevalt detaili kujust ja funktsioonist, kus käepide peab ülemises avas pöörlema, esitades sellele avale üsnagi väikse pinnakareduse tingimuse, on otstarbekas see freesida. Freesimisel saab detailile vajalikud avad ka juba ära teha, võimaldades koostamisel selle ilma ühegi lisatöötluseta külge panna.

3.2 Tugevusarvutused

Tugevusarvutused tehakse eelnevalt projekteeritud sõlmedele Autodesk Inventor Professional 2023 Stress Analysis keskkonnas. Sele 10 osas analüüsitakse projekteeritud kolmiku käitumist süsteemis, Sele 16 osas aga projekteeritud detaili üksikult kui ka süsteemi osana. Kuna voodi koosneb kahest identsest pooltootest, tehakse arvutused ühele poolele. Arvutuste aluseks on võetud nõutud kandevõime ehk 150 kilogrammi. Saadud tulemuste adekvaatsuse hindamiseks on küsitud nõu inimestelt, kellel on pikaajalisem kogemus vastavate analüüside tegemisel.

Esimesena leitakse voodile mõjuv maksimum jõud, seda tehakse jõu valemiga (1) [6, p. 34].

$$F_w = m \times g \quad (1)$$

$$F_w = 150 \times 9,81 = 1471,5 \text{ N}$$

kus F_w – jõud

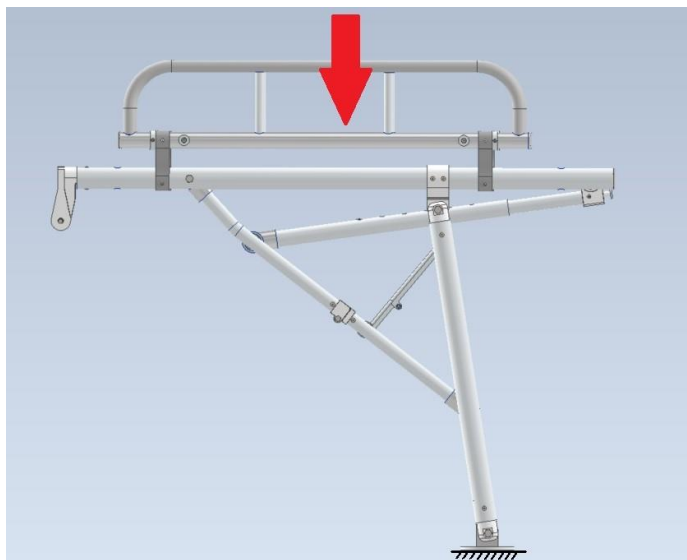
m – mass

g – raskuskiirendus

Vastus ümardatakse üles ja saadakse väärtuseks 1472 N. Kuna arvutused tehakse ühele poolele, tuleb saadud tulemus jagada pooleks.

$$F_s = F/2 = 1472/2 = 736 \text{ N}$$

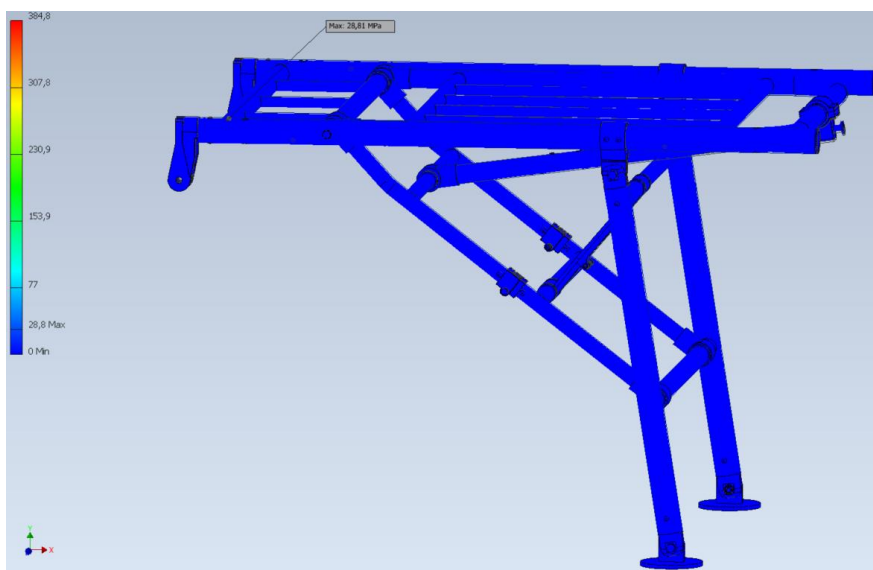
Olles leidnud ühele poolkoostele mõjuva jõud, tuleb paika panna rajatingimused, mis on nähtaval Sele 17. Punase noolega on märgitud jõu F_s rakendumissuund, mis on risti voodi kasutatava pinnaga, imiteerides 75 kg staatilise raskuse peale asetamist. Tugipunktiks on jalgade tallaplaadid, mis on kontaktis maapinnaga.



Sele 17. Rajatingimused

Konstruktsioonis tekib maksimaalne pinge 28,8 MPa voodi kesklülist järgneva ristitoru otstes (Sele 18). Varasemate toodete kasutuskogemuse põhjal on teada, et patsiendi keha keskosa asub seal alas

ning antud näit on usaldusväärne. Kuna saadud väärtus on materjali voolavuspiirist, 150 MPa, väiksem, ei teki plastset deformatsiooni.

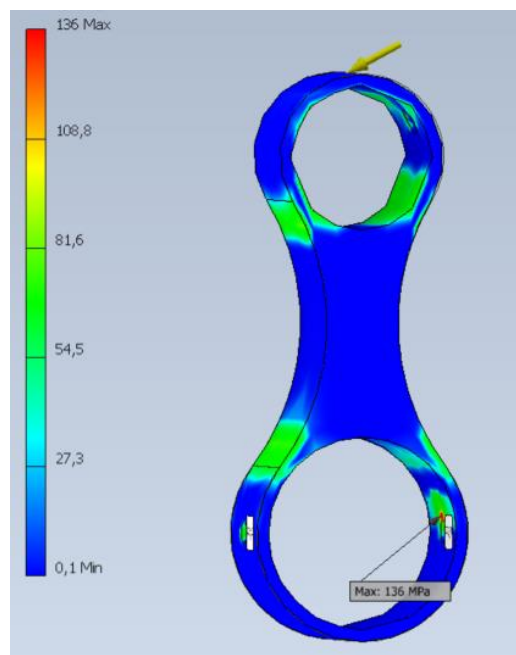


Sele 18. Tekkiv pinget 736 N rakendumisel

Antud tingimustel ei teki projekteeritud kolmikutele erilist pinget, mis mõjutaks nende kuju või eesmärgipärast kasutust, tagades nende liikuvuse.

Kanduri (Sele 16) analüüsi eesmärgiks on leida vastupidavus sellele langeva jõu korral, milleks on ekstreemolukorra simuleerimiseks määratud 150 kg.

Kuna detail kinnitatakse 40 mm välisdiameetriga ümartoru külge roostevabast tõmbeneetidega mõlemalt poolt (Sele 19, alumised kaks ava), on analüüsi teostamiseks need avad määratud kinnitusteks.



Sele 19. Kanduri külgjõud

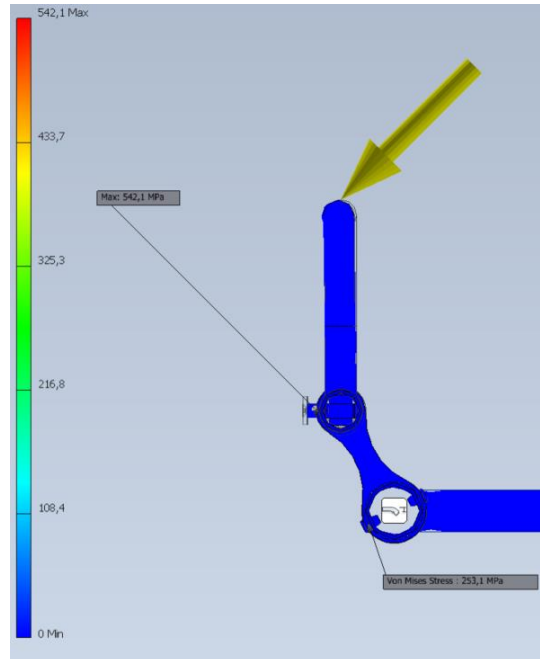
Analüüsi tulemusena selgub, et külgpinnale rakenduva 736 N suuruse jõu korral tekib suurim pinge (136 MPa) kinnitusava sisemise ülemise serva peale. Olles valmistatud 25 mm paksusest AW-6061 T6 lehtmaterjalist, mille voolepiiriks on 240 MPa, ei teki antud juhul plastset deformatsiooni. Võrreldes eelnevalt kasutatud ühendusele (Lisa 1. Käetoe ühendus.), kus samadel tingimustel tekib suurimaks pingeks 396 MPa, ületades kasutatava alumiiniumi AW-5754-H22 voolepiiri rohkem kui kahekordselt, on projekteeritud kandur tugevam ja vastupidavam. See annab eelduse, et enam ei teki plastset deformatsioon nagu on näha Sele 4.

Järgmisena on analüüsitud olukorda, kus detailile rakendub sama jõud ülevalt otse alla.

Antud analüüsis selgub, et nagu ka eelnevas analüüsis, tekib suurim pinge alumise kinnitusava siseservale, aga antud jõu suuna puhul on selle maksimaalseks väärtuseks 48 MPa, mille järgselt ei teki deformatsiooni. Võrreldes eelneva sõlme ühendusega, kus samadel tingimustel tekib suurimaks pingeks 169 MPa, on kandur taaskord tugevam ja vastupidavam.

Viimase analüüsina vaadeldakse olukorda, kus käetoe ülemisele servale rakendub 45-kraadise nurga all jõud 736 N. Selleks on kandur fikseeritud 4,8 mm diameetriga roostevabast tõmbeneetidega vastava ümartoru külge (Sele 20). Varasemalt probleemi esinemisel tehtud analüüsides on teada, et 150 kg

raskuse rakendamisel tekkis suurim pinge 657 MPa fiksaatortihvtile, mille hajuvusel konstruktsioonis deformeerusid ühendussõlme vaheplaadid, olles kõige madalama voolepiiriga materjalist.



Sele 20. Käeraam kinnitatult toru külge

Antud tingimustel rakenduva jõu puhul tekib suurim pinge samuti käeraami fiksaatortihvtile, milleks on 542 MPa. Uue lahenduse puhul tekib uus olukord, kus pinge hajuvusest konstruktsioonis tekib kasutatavatele tõmbeneetidele pinge 253 MPa. Tõmbeneetidele tekkiv pinge ei ole kriitiline, lähtudes müüja lubatud vastupidavusest lõikejõu korral kuni 4230 N ning tõmbejõu korral kuni 5340 N [7, p. 261]. See tekitab olukorra, kus mingi aja vältel sellise jõu pideval rakendumisel antud osale deformeervad tõmbeneetide jaoks kasutatavad avad. Selle situatsiooni tulemusena tekib kanduri ja raami ühendusse lõtk, mis liigse kulumise korral võib kaotada oma kinnitusomadused, tuues endaga kaasa kasutuskõlbmatu käetoe.

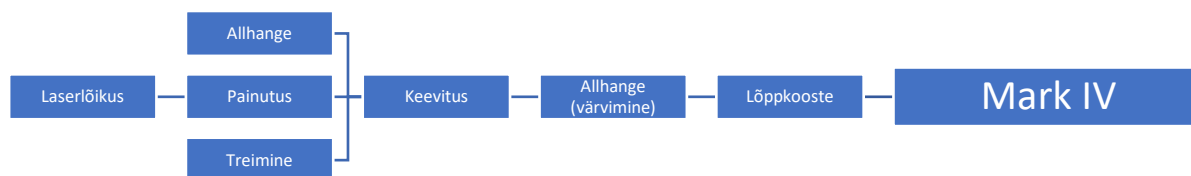
4. TEHNOLOOGIA

4.1 Materjalid

Mark IV voodi valmistamiseks kasutatakse erinevaid alumiiniumi sulameid, mis on olemuselt kerged ja vastupidavad. See võimaldab tagada vastavust omakaalu ja kandevõime nõuetele. Ümartorude materjaliks on alumiinium 6060 T6 ning alumiiniumvalu detailid on tehtud EN AB-43100 sulamist. Lehtmetallist lõigatud detailide materjaliks on EN AW-5754 ja freesitud detailide materjaliks on 6061 T6 alumiiniumsulam.

4.2 Tehnoloogilised protsessid

Mark IV voodi valmistamiseks on vaja detailid erinevate seadmete ja töötluste abil vajalikesse mõõtmetesse ja vormi töödelda. Selleks kasutatakse laserlõikust, painutamist, keevitust, treimist, freesimist ja alumiiniumi valamist. Joonis 1-e peal on näha voodi tootmise marsruutkaarti, kus on näidatud protsesside järjestus.



Joonis 1. Mark IV tootmistehnoloogia

4.2.1 Laserlõikus

Laserlõikusel lõigatakse lehtmetaili ja ümardust vajalikud detailid. Selleks kasutatakse Bystronic Bystar 4020 laserlõikuspinki, mis võimaldab lõigata nii lehtmetaili kui ka torusid täpsusega $\pm 0,1$ mm. Laserlõikuse eeliseks on selle protsessi kiirus ja kvaliteet. Näiteks 40 mm välisdiameetriga alumiiniumist ümardust, millel on 14 erinevat ava, töötleb laserlõikuspink ära ühe minutiga, tehes sellesse kõik vajalikud avad ning lõigates ka õigesse mõõtu. Võrdluseks samat tööd tehes kulub lukksepal 15 minutit, kasutades selleks lintsaagi ja puurpink, kus puurimiseks on kasutusel ka abirakis. Seejuures on oht saada praakdetaili lukksepal suurem, kuna inimene eksib rohkem kui masin.

Sellest tulenevalt on otstarbekam vajalikud ümardused lõigata laserlõikusel, kus ühe voodi tarbeks vajaminevate torude töötlemiseks kulub koos ettevalmistusega 2 tundi.

4.2.2 Painutus

Käsitleva toote konstruktsiooni kuuluvate kumerate 90-kraadise nurgaga ümarduste saamiseks kasutatakse torupainutust. See tehnoloogia võimaldab deformeerida materjali kontrollitult, andes lõpptulemusena kumerad, siledad ja voltide vabad pinnad.

Kuna ühe toote kohta on painutust vajavate detailide arv väike, kokku 10 kolmes eri mõõdus ümardust, kulub selle töötlemise tegemiseks koos ettevalmistuse ja ümberseadistamisega 20 minutit.

4.2.3 Lukksepa tööd

Lukksepa tööks on toote lõplik koostamine, tehes selleks vajalikke neet- ja poltühendusi ning reguleerimisi, et tagada sõlmede liikuvus. Tulenevalt toote keerukusest ja tehtavatest tööstustest võib tööülesanneteks lisanduda veel kõik teised üldlevinud lukksepa tööd. Selleks on ettenähtud varasemate kogemuste põhjal 2 tundi ja 30 minutit, mis on määratud varuga just nende võimalike lisanduvate tööde pärast, mida pole ette teada.

4.2.4 Treimine

Treitoluses valmistatakse seljatoe ja käeraami fiksaatorlukustite liigutamiseks vajalikud alumiiniumist nupud, et saaks vastavalt vajadusele nende asendeid võimaluste piires reguleerida. Samuti toodetakse antud üksuses ka roostevabast metallist fiksaatorihvitiid ja lukustite vabastamist

võimaldavad koonuselised tornid. Kuna nupud on väiksed ning neil on keskel koonuse kujuline süvend poldipea peitmiseks ja roostevabast detailide puhul on olulisel kohal pinnapuhtus, on nende valmistamiseks otstarbekas kasutada käsitletavat töötlust. Nende detailide valmistamiseks koostatud optimaalsed töötlusprogrammid võimaldavad neid toota ühe tunni ja 41 minutiga.

4.2.5 Keevitus

Mark IV välivoodi raami koostamisel kasutatakse suuremal määral keevisliiteid, mille teostamiseks kasutatakse Kemppi WFX 300 poolautomaat keevitusseadet. Keevisliidete koostamiseks kasutatakse keevitustraadina 1,2 mm diameetriga Safra AlMg5 – 5356 keevistraati.

Kasutatavad seade ja keevitustraad võimaldavad keevitajal valmistada kiirelt vajalikud keevisliited, kuna puudub vajadus käsitsi täitematerjali lisada. Samuti on liited kvaliteetsemad ja ühtlasemad, sest täitematerjali kogus on ühtlane. See võimaldab keevitajal valmistada vajaminevad ühendused kolme töötunniga.

4.3 Ostutooted

Ostutoodete alla liigituvad poldid, seibid, mutrid ja tõmbeneedid ostetakse Würthist. Kokkupakitud voodi kinni tõmbamiseks kasutatav standarttootena rihm ostetakse kiireimat tarneaega pakkuva ettevõtete seast.

4.4 Allhange

Kuna ettevõttel endal puuduvad tänapäevased CNC freespingid, ostetakse freesimine koostööpartnerilt sisse. Uudse lahendusena kasutusele võetava kolmiku puhul ostetakse alumiiniumi valamise teenus sisse. Seda just sellepärast, et see pole ettevõtte tegevusala ning selle teostamiseks puuduvad vajalikud seadmed ja vahendid.

Kliendile tarnitavatele toodetele on kindlaks määratud värv, mille peale kandmiseks kasutatakse pulbervärvimise meetodit. See tagab värvikihi pikaajalise vastupidavuse ja kestvuse. Kuna ettevõttel pole värvimiseks vajalikke kambreid ja kuivatusahjusid, tellitakse see allhanke korras vastava tegevussuunaga ettevõttelt.

5. MAJANDUSLIK OSA

Majandusliku osa ülesanne on anda ülevaade välihaigla voodi Mark IV tootmiseks tekkivate kulutuste suurusest ning välja selgitada toote omahind. Omahind koosneb materjali, tööjõu ja sisse ostetavate teenuste kulust. Alljärgnevalt on ülevaade ühe voodi tootmise kuludest ja omahinna kujunemisest.

5.1 Materjalikulu

Järgnevates tabelites on välja toodud ühe voodi jaoks vajamineva ümartoru ja lehtmaterjali kogus ning selle maksumus.

Tabel 1. Ümartoru kulu

Jrk nr	Nimetus	Materjal	Kogus, m	Hind, €/m	Hind ühe voodi kohta, eur
1	Ümartoru 16x1	AW6060 T6	2,63	3,1	8,15
2	Ümartoru 22x1,5	AW6060 T6	3,62	3,8	13,76
3	Ümartoru 25x2	AW6060 T6	9,32	5,83	54,34
4	Ümartoru 30x2	AW6060 T6	12,39	7,12	88,22
5	Ümartoru 35x2	AW6060 T6	0,27	9,73	2,63
6	Ümartoru 40x2	AW6060 T6	6,24	9,84	61,40
				KOKKU:	228,49

Tabel 2. Lehtmaterjali kulu

Jrk nr	Nimetus	Materjal	Kogus, kg	Hind, €/kg	Hind ühe voodi kohta, eur
1	Leht, 2mm	AW5754	1,21	6,8	8,23
2	Leht, 4mm	AW5754	0,6	6,8	4,08
				KOKKU:	12,31

5.2 Tootmiskulu

Tabelis on välja toodud ühe voodi tootmiseks kulunud tööjõu maksumusest.

Tabel 3. Tootmise kulu

Jrk nr	Osakond	Aeg, h	Tunnihind, eur	Maksumus, eur
1	Laserlõikus	2,00	90	180,00
2	Painutus	0,33	27	8,91
3	Trei	1,68	52	87,36
4	Keevitus	3	35	105,00
5	Lukksepp	2,5	31	77,50
			KOKKU:	458,77

5.3 Allhanke kulu

Allhankest tellitavate teenuste maksumus on välja toodud allolevas tabelis.

Tabel 4. Allhanke kulu.

Jrk nr	Teenus	Hind
1	Freesimine	404,46
2	Alumiiniumvalu	63
3	Värvimine	40
KOKKU:		507,46

5.4 Ostutoodete kulu

Vajaminevate ostukomponentide jaoks tekkiv kulu on välja toodud tabelis 5 (Lisa 3. Ostutoodete kulu), kus on ühe voodi tootmiseks vajalikud kogused ja tükihinnad.

5.5 Toote omahind

Mark IV omahinna leidmiseks liidetakse kõik eelnevalt leitud kulud kokku.

Tabel 6. Toote omahind.

Kululiik	Maksumus, €
Materjalikulu	240,80
Tootmiskulu	458,77
Allhanke kulu	507,46
Ostutoodete kulu	47,54
Kokku:	1254,57

Võrreldes eelmise voodi versiooniga, on sisse viidud uute projekteeritud lahenduste ja tootmistehnoloogia muudatustega vähenenud toote omahind 10,6 %.

KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus arendati baasettevõtte poolt fikseeritud välihaigla voodi Mark IV probleemseid kohti, et suurendada toote vastupidavust, lihtsustada tootmist ja vähendada omahinda.

Toote arendamiseks tutvuti kõigepealt voodi ehituse ja nõutud tingimustega, misjärel süveneti probleemsetele kohtadele. Uuriti täpsemalt probleemide olemusi ning tutvuti turul pakutavate toodetega. Saadud info põhjal alustati projekteerimist.

Projekteerimisel CAD programmis keskenduti kolmele sõlmele, millest kaks olid fikseeritud probleemid ning kolmas oli ettevõtte poolne soov kaotada freesdetailid toote küljest. Viimase puhul selgus tõdemus, et ilma suurte konstruktsiooni muudatusteta pole projekteeritud lahendust võimalik rakendada ning jäeti tulevikku edasiseks arendusplaaniks. Kahe probleemse sõlme projekteerimisel saadi kaks uut detaili, millest ühe valmistamiseks, tulenevalt detaili funktsioonist ja nõuetest, leiti sobivaimaks alumiiniumvalu ning teise detaili valmistamiseks freesimine.

Uutele detailidele tehti projekteerimiseks kasutatud CAD programmi sisseehitatud funktsiooniga tugevusarvutused. Saadud tulemuste põhjal saadi kinnitust, et arenduse käigus projekteeritud detailid suurendavad toote vastupidavust ja lihtsustavad tootmist.

Tehnoloogia peatükis toodi välja voodi valmistamiseks kasutatavad tehnoloogiad, mis on antud toote valmistamiseks ettevõtte ja koostööpartnerite masinaparkide põhine. Tehnoloogia määramisel on lähtutud optimaalseimast valmistamisviisist, mis võimaldaks toote võimalikult lühikese ajaga toota.

Majanduslikus osas leiti voodi tootmiseks tekkivad kulud ja saadi toote omahind. Voodi omahind koosneb materjali hinnast, tootmis- ja allhanke kulust ning ka ostetavate toodete kulust.

Lõputöös püstitatud eesmärgid said täidetud: toode sai vastupidavamaks, kergemini toodetavaks ja omahind vähenes 10,6%.

SUMMARY

The aim on this thesis was to develop problematic points on field hospital bed Mark IV, which were registered by the company, to make the product more durable, simplify production and to lower its net value.

To begin the development process of problematic points, construction of the bed and its terms were examined firstly. After that, the problematic points and other products on the market were examined.

For designing in CAD program, the focus was on three joints from which two of them were registered problems and third was company's wish to get rid of the milled parts on product. Last of them was left for future developments because of the finding, that to use the designed solution, the construction must be modified a lot. For the problematic points, two new details were developed. To produce one of them, aluminium casting was found to be most suitable because of its function and terms and milling to produce the second detail.

Strength analysis for new details were done with the same CAD program that was used for design, which has built-in function for strength analysis. Results confirmed that designed parts, which were made during development process, increase durability and simplify the production of the bed.

In the technology chapter, used technology was given out to produce this bed. It is based on the company's and its partners machinery. The technology was set with aspect to be able to produce the bed in most optimal way which wouldn't take too much time.

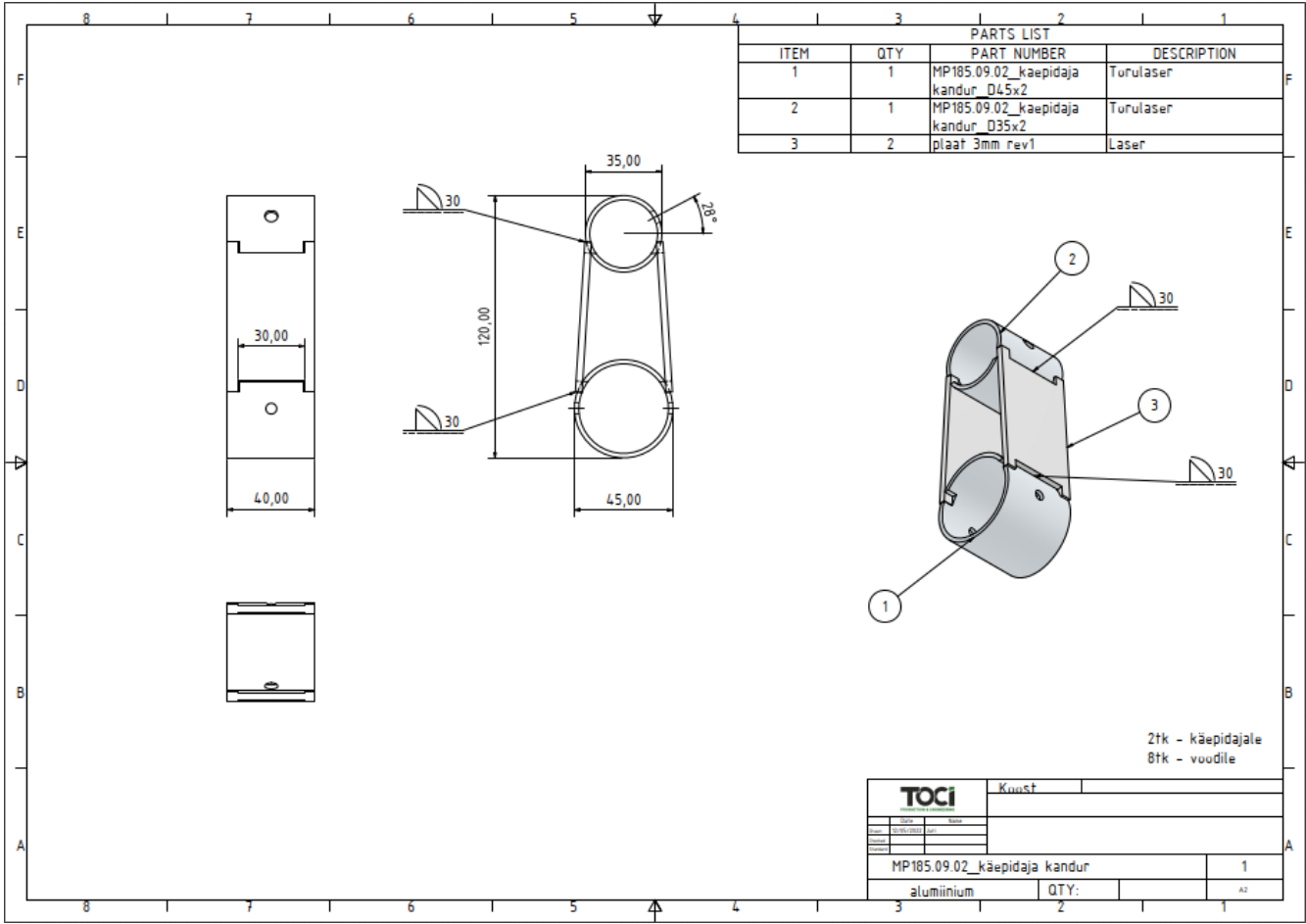
The requirements of this thesis were achieved: the product got more durable, it simpler to produce and its net value decreased 10,6%.

Kasutatud kirjandus

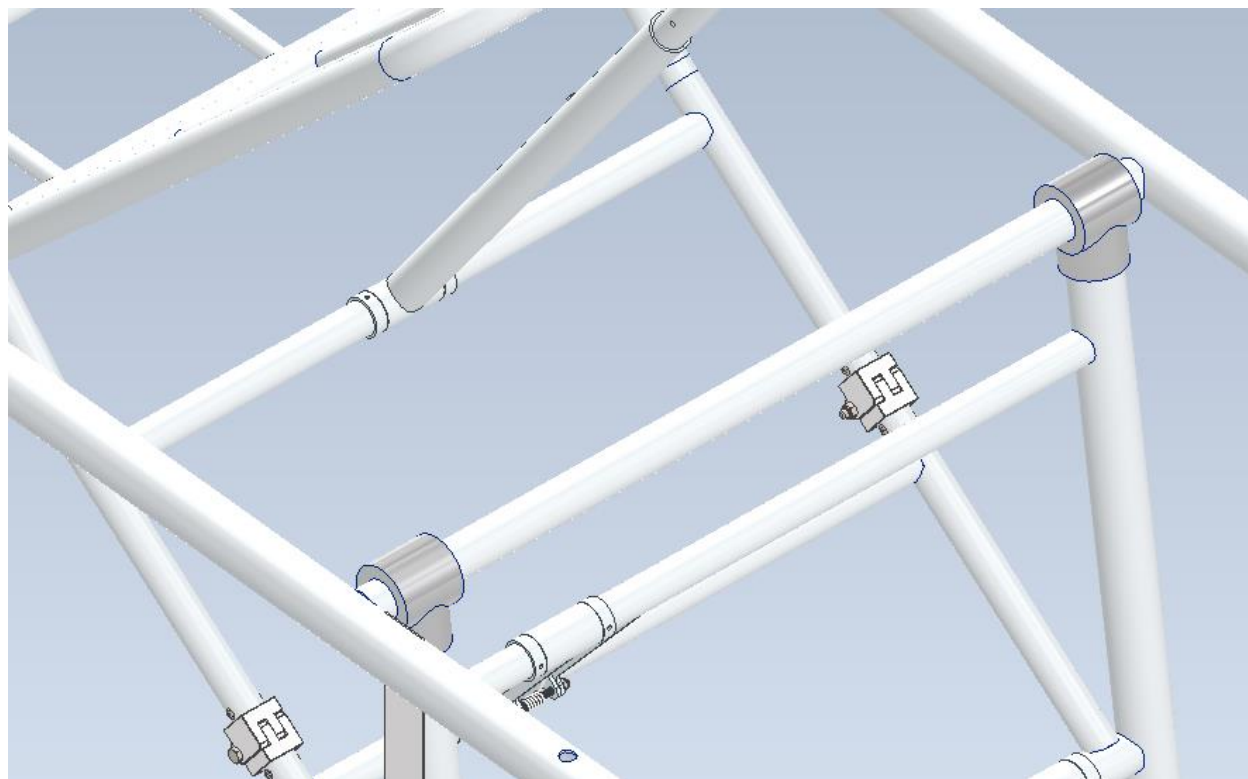
- [1] Toci OÜ, „Ettevõtte“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.toci.ee/et/ettevotte/> . [Kasutatud 14 märts 2023].
- [2] Novum Medical Products, [Võrgumaterjal]. Available: <https://novummed.com/product/field-hospital-bed/>. [Kasutatud 15 märts 2023].
- [3] Golden Season Pte Ltd, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.gseason.com/products/medical-and-rescue/military/mark-iv-field-hospital-bed>. [Kasutatud 28 veebruar 2023].
- [4] FSI North America, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fsinorth.com/product-p/fsi-f-em-262a-hbsr100.htm>. [Kasutatud 20 veebruar 2023].
- [5] Onninen, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.onninen.ee/conex-ahenev-kolmik-messing-1-x-3-4-x-1-/p/AGD571>. [Kasutatud 27 märts 2023].
- [6] „Mehaanikainseneri käsiraamat“, Tallinn, Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus, 2022, p. 482.
- [7] Würth, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.wuerth.ee/kataloog/>.

LISAD

Lisa 1. Käeto e ühendus.



Lisa 2. Jalgade ühendus raamiga.



Lisa 3. Ostutoodete kulu

Tabel 5. Ostutoodete kulu.

Jrk nr	Nimetus	Kogus	Hind, €/tk	Hind ühe voodi kohta
1	Tihvt_d4	2	0,15	0,3
2	Tihvt_d3	2	0,15	0,3
3	Ümmargune torukork_40x2	4	0,26	1,04
4	Ümmargune torukork_30x2	8	0,15	1,2
5	Kinnitusrihm	2	2,5	5
6	Toruklamber	4	1,5	6
7	Vedru	8	1,5	12
8	vedru	2	6,25	12,5
9	Vedru	2	3,2	6,4
10	Polt M8	12	0,1	1,2
11	Seib M8	20	0,02	0,4
12	Polt M6	4	0,06	0,24
13	Seib M6	4	0,01	0,04
14	Mutter M6	4	0,04	0,16
15	Tõmbeneet 4,8	16	0,03	0,48
16	Tõmbeneet 3,2	28	0,01	0,28
			KOKKU:	47,54

Lisa 4. Kolmik D31-D26

Lisa 5. Kandur

Lisa 6. MP185.09.00_Käepide_rev2