

Kõrgem Kunstikool Pallas
Mööbliosakond

3D prinditud geomeetrilise struktuuriga jalgratta iste
Lõputöö

Carl-Eric Uiho
Juhendaja: Meelis Pohlak, PhD
Konsultant: Rasmus Eist

Tartu 2023

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	3
TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	4
1. SADUL JA MÕÕTESADUL	5
1.1 SADUL	5
1.1.1 Funktsioon	9
1.1.2 Tehnilised nõuded	9
1.2 MÕÕTESADUL.....	10
1.2.1 Mõõtepunktid ja nende olulisus.....	10
1.2.2 Mõõtesadula tehnoloogia.....	11
2. MATERJALIDE JA TEHNOLOOGIA KASUTUS.....	13
2.1 LÕPUTÖÖS KASUTATAVAD MATERJALID.....	13
2.2 TEHNOLOOGIA.....	15
2.2.1 Gravitatsioonivalu ja 3D printimise tehnoloogiad.....	15
3. TOOTEARENDUS.....	21
3.1 PROTSESSI KIRJELDUS	21
3.1.1 Sadula modelleerimine	21
3.1.2 Jalgratta sadula vormi modelleerimine CAD programmis.	23
3.1.3 Jalgratta sadula vormi printimine FDM tehnoloogiaga.....	24
3.1.4 Sadula vormi komplekteerimine ja ettevalmistus valamiseks.....	28
3.1.5 Vormi valamine silikooniga	29
3.1.6. Praktilise protsessi kokkuvõte	32
KOKKUVÕTE	33
SUMMARY	34
KASUTATUD MATERJALID	35

SISSEJUHATUS

Tänapäeval näeme jalgratast kui transpordi- või trennivahendit. Jalgratast on oma paarisaja aastase vanuse jooksul arendatud jõudsalt, et parandada jalgratast ja kasutajakogemust. Jalgratta arendamise kõrvalt on unarusse jäänud aga sadula areng. Spordisadula puhul aetakse taga selle kergust ja voolujoonelisust ning transpordivahendi puhul selle praktilisust. Kuigi jalgratta sadulad peaksid oma olemuselt sobima kõigile, siis siiski saab julgelt väita, et paljud inimesed tunnevad end jalgratta sadulal ebamugavalt.

Olukorras, kus keskkonnasäästlikus on olulisem kui kunagi varem, on oluline arendada keskkonnasõbralikke lahendusi. Samuti ajendada inimese ajaloo kõige rohkem istuvat ühiskonda rohkem liikuma. Ka tänapäeva linnapildis on palju kiirem ja efektiivsem liikuda jalgrattaga kui autoga. Lisaks on jalgrattasport populaarsem kui kunagi varem ning aina rohkem inimesi valib enda spordialaks just selle.

Eeltoodud probleemast tulenevalt on käesoleva töö eesmärk arendada ja välja töötada optimeeritava ja kohandatava struktuuriga jalgratta iste, mis arvestab iga inimese eripäradega ning mis vähendab sõitja ebamugavust. Samuti on eesmärk välja töötada mõõtesadula kontseptsioon, mille põhjal on võimalik mõõta inimese istumisasendit ning mis võimaldab saadud andmetega luua inimesele personaalne jalgrattasadul.

Käesoleva bakalaaurusetöö esimene peatükk käsitleb sadula ja mõõtesadula olemust ning nende arendust. Töö teoreetiline osa selgitab, mis on sadula ja mõõtesadula olemus ning mis olulisi faktoreid jalgratta sadula valimisel jälgida. Töö praktilises osas on välja töötatud mõõtesadula kontseptsioon ning toodeti välja sadul prototüüp.

Bakalaaurusetöö teine peatükk keskendub erinevatele sadula tootmisvõimalustele ning mis materjalidega ja tehnoloogiatega on eelmainitud sadulat võimalik toota. Teoreetiline osa selgitab erinevaid tootmismaterjale ja tehnoloogiad ning praktilises osas on välja toodud nende otsene kasutus sadula väljatöötamisel.

TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Lõputöö eesmärk on valmistada optimeeritud ja kohandatava geomeetria struktuuriga jalgratta iste ning teostada kontseptsioon jalgratta mõõtesadulast.

Lõputöö tegemise põhjus on suunata ühiskonnas rohkem inimesi kasutama liikumiseks jalgrattaid ja eelistama neid autodele. Seda mitmel põhjusel, näiteks et inimesed oleksid liikuvamad ja samuti, et vähendada autodest tulenevat saastet meie keskkonnale. Mida aeg edasi, seda rohkem liiklevad inimesed linnaruumis jalgratastega ning seda tihti põhjusel, et jalgrattaga saab tippundidel tihti kiiremini kohale kui autoga.

Püstitatud eesmärgi saavutamiseks tuleb lahendada alljärgnevad ülesanded:

- Jalgratta istmete turuanalüüs
- Kohandatava jalgratta istme kontseptsioonide väljatöötamine
- Mõõtesadula kontseptsioonide väljatöötamine
- Parima kontseptsiooni valik ja sellest prototüübi tegemine

Antud lõputöö teema ajendiks on arendada jalgratta sadule valimise teenust ja kasutada jalgratta sadula tootmises kaasaegseid meetodeid.

Lõputöö raames tuleb teostada jalgratta istmete turuanalüüs, teadmaks mis stiilis jalgratta sadulaid turul on, millised sõidustiilid on olemas ning viimaseks, mis sorti istmeid kasutatakse erinevatel sõidustiilidel. Samuti tuleb luua kontseptsioon kohandatava jalgratta sadula istmest. Lisaks jalgratta istme kontseptsioonile on vaja teostada ka mõõtesadula kontseptsioon. Kontseptsioonide välja töötamiseks tuleb eelnevalt välja uurida, mis on olulised puutepunktid sadulal, mida tuleb selle välja töötamisel jälgida ning mis on selle juures oluline. Uuringute tulemuste järgselt valitakse välja nende seast parimad ning teostatakse nende põhjal sadula esmane prototüüp ja mõõtesadula kontseptsioon.

1. SADUL JA MÕÕTESADUL

1.1 Sadul

Jalgratta sadula valimine on oluline osa mugava ja nauditava sõiduelamuse tagamiseks. Järgnevalt on kirjeldatud, mida tuleb jälgida jalgratta sadula valimisel ning millised on olulised anatoomilised faktoritega tuleks arvestada:

Laius

Sadula laius mõjutab kõige rohkem mugavust. Sadula laius peaks olema piisav, et toetada sõitja istmikuluud, kuid samas mitte liiga lai, et vältida hõõrdumist reie sisekülgede vastu (Denham, 2019). Õige laiuse valimine võib oluliselt vähendada survetundlikkust ja ebamugavustunnet.

Kuju

Sadula kuju mängib samuti olulist rolli mugavusel. Sadula kuju koosneb erinevatest süvenditest, lohkudeset ja lõigetest, mis vähendavad survet inimese vaagnaluule, närvidele ja pehmetele kudede.

Polsterdus

Sadula polsterdus aitab vähendada vibratsiooni ja pakkuda täiendavat mugavust. Liiga pehme polsterdus võib aga põhjustada hõõrdumist ja ebamugavust. Õige polsterduse tase sõltub individuaalsetest eelistustest ja sõidutingimustest. (Moore, 2018).

Reguleeritavus

Mõned sadulad võimaldavad reguleerida nende kallet ja asendit. Reguleeritavus võimaldab kohandada sadulat vastavalt sõitja eelistustele ja kehaanatoomiale.

Isiklik eelistus

Lõpuks on oluline arvestada ka isiklike eelistustega. Iga sõitja võib tunda end erineva sadula mudeli või stiili suhtes mugavalt või vastupidiselt ebamugavalt. Seetõttu on soovitatav proovida erinevaid sadulaid ning konsulteerida spetsialistiga, et leida endale sobivaim sadul.

Olulised anatoomilised faktorid, mida tuleks igal inimesel sadula valimisel arvestada on tema vaagnaluude laius ja kalle, pehmete kudede ja närvisüsteemi tundlikkus ning istumislauade anatoomia. Õige sadula valik võib aidata vähendada ebamugavustunnet,

hõõrdumist ja võimalikke vigastusi ning samuti tagab parema mugavuse pikematel sõitudel. (REI, 2023).

Jalgratta sadula valikul tuleb ka silmas pidada, et sõidustiilid on mitmekesised ning pakuvad erinevaid kogemusi vastavalt sõitja eelistustele ja eesmärkidele (vt pildid 1.1.1 ja 1.1.2). Järgnevalt on välja toodud näiteid mõndadest levinumatest jalgratta sõidustiilidest, kasutatavatest sadulatest ning sõitjate asenditest ning eesmärkidest:

Maanteeõit

Maanteeõit on suure kiirusega sõidustiil, kus keskendutakse pikematele distantsidele ja siledale teele. Sellisel sõidustiilil kasutatakse kitsaid ja kergeid sadulaid, mis võimaldavad sõitjal saavutada optimaalse jõuülekande ja vähendada hõõrdumist. Sõitjad on tavaliselt kallutatud ettepoole, et vähendada õhutakistust ja saavutada parem aerodünaamika.

Mägirattasõit

Mägirattasõit toimub erinevatel maastikutel, näiteks mägedes ja metsaradadel. Selles sõidustiilis kasutatakse laiemaid sadulaid, mis pakuvad paremat stabiilsust ja mugavust ebastasatel pindadel. Mägiratturid on sageli kergelt kummargil asendis, et paremini kontrollida jalgratast ja tagada parem tasakaal.

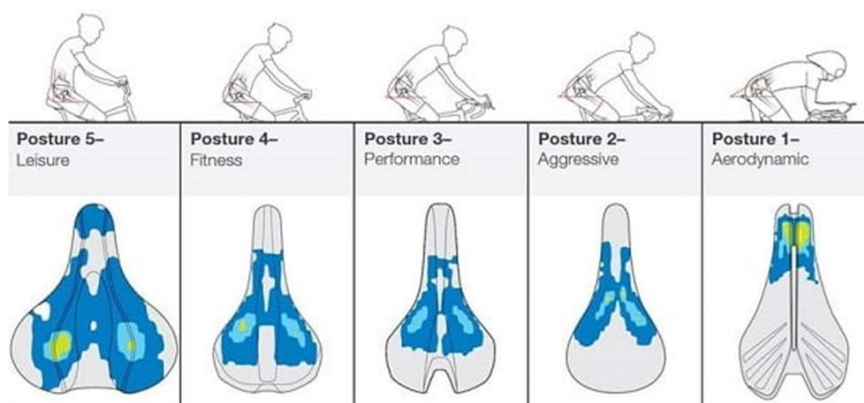
Linnasõit

Linnasõit hõlmab jalgrattaga liiklemist linnakeskkonnas, sealhulgas tänavatel ja jalgratta- ja autoteedel. Sõidustiil võib varieeruda linnasisese liikluse, pendelsõitude või linna avastamise vahel. Linnasõiduks sobivad mugavad sadulad, mis pakuvad piisavalt polsterdust ja toetust. Sõitjad on tavaliselt püstises asendis, et saada paremat ülevaadet liiklusest.

BMX ja trikirattasõit

BMX ja trikirattasõit hõlmavad trikke, hüppeid ja akrobaatikat spetsiaalselt selleks ehitatud rajal. Sellel sõidustiilil kasutatakse vastupidavaid ja kergeid sadulaid, mis taluvad lööke ja maandumisi. Sõitjad on tavaliselt kummargil ja painutatud asendis, et saavutada parem kontroll jalgratta üle õhus ja maapinnal.

Sadulate valik sõltub eelkõige sõitja mugavusest ja toetusest ning võib varieeruda vastavalt eelistustele ja sõidustiilile. On oluline valida õige sadul vastavalt oma individuaalsetele vajadustele, et tagada mugav sõiduelamus ning vähendada ebamugavust ja võimalikke vigastusi.



Pilt 1.1.1 Erinevad sõidustiilid ja nendest tulenevad survepunktid sadulal. (Denham, 2019).



Pilt 1.1.2 Sadula kumerusest tingitud vaagnaluu asetust. (Moore, 2018).

Üldiselt toodavad jalgrataste ja sadulate tootjad ühe mudeli kindla kasutamiskiisi silmas pidades. Näited nende kohta on kaubamärkide *Creme* ja DDK linnasõidu sadulad (vt pilt 1.1.3 ja pilt 1.1.4) ning kaubamärgi *Fizik* maanteeõidu sadulmudelile (vt pilt 1.1.5). Harvemini toodetakse aga ühe mudeli kohta kolme erinevat sorti sadulat. Näiteks kaubamärgi *Syncro* sadulad (vt Pilt 1.1.6).



Pilt 1.1.3 Kaubamärgi *Creme* linnarattasadul, mudel *Speedy*. (Hawaii Express, 2023).



Pilt 1.1.3 Kaubamärgi DDK linnarattasadul, mudel DDK-D8120. (Hawaii Express, 2023).



Pilt 1.1.4 Kaubamärgi Fizik sadul, mudel Antares Versus EVO 00 Adaptive. (Fizik, 2023)



Pilt 1.1.5. Kaubamärgi Syncro sadulad, mudelid Tofino 1.5, Tofino V 1.5 ja Tofino V 1.5 Cut Out. (Hawaii Express, 2023).

Lõputöö käigus arendatakse kaasaegsete tootelahendusega kaheosaline jalgratta iste. Selline jalgratta istme lahendus sai valitud põhjustel, et jalgratta sadul peab olema piisavalt jäik, aga samas piisavalt pehme, et selle kasutus oleks mugav nii lühikesel kui ka pikal distansil. Teine põhjus on, et kasutaja ei pea kasutama lisaks pehmenemusega jalgrattapükse. Jalgratta iste on valmistatud koos mõõtesadula mõõtudega, mõeldes personaalselt kasutajale. Jalgratas ja

selle sadul vajavad oma olemuselt jäikust ning see saavutatakse optimeeritud kohandatava geomeetria struktuuriga, mida teostatakse SLS tootmismeetotiga. SLS meetod sai valitud, sest selle tootmismeetodiga on võimalik prinditada täpsemalt, detailsemalt ja puhtamalt.

1.1.1 Funktsioon

Kaheosaline sadul on valmistatud kahest osast, millest üks on SLS printimismeetodiga prinditud sadula põhi, optimeeritud ja vajadusel kohandatava geomeetriaga struktuur ning teine osa on kahekomponentse silikoonist valatud pehmendava sadula vorm. SLS printimismeetodiga teostatav struktuur annab sadulale jäikuse ning kahekomponentne silikoon annab sadulale pehmuse.

Mugavus ehk sadul on inimese mõõtude järgi võetud ning sobib tema kehaehituse ja sõidustiiliga. Sadula ülesehitus on teostatud nii, et sadula peal istudes ei ole see liigselt liiga pehme ega liiga kõva.

Pehmus ehk sadul suudab anda vetruvust põrutuste tekkmisel.

Toetus ehk sadul peab sellel istumist toetama õigest piirkonnast õige jäikusega ja mitte takistama keha liikumist.

Stiilne väljanägemine ehk inimestel on võimalus disainida endale sobivate toonidega ja mustridega jalrattasadul.

1.1.2 Tehnilised nõuded

Sadulal tehnilised nõuded on esitatud järgnevalt:

- Lihtsasti ja kiiresti toodetav
- Toetab inimest õigesti
- Ilmastikukindel
- Ohutu
- Õigest piirkonnast optimaalse hõõrdeteguriga
- Vastupidav
- Maksumus
- Kergesti hooldatav

1.2 Mõõtesadul

Mõõtesadul on spetsiaalselt loodud vahend, mis võimaldab täpset ja objektiivset mõõtmist istmiku laiuse ja kuju osas. Mõõtesadul mõõdab inimese istmiku, et luua personaalne ja sobiv sadula lahendus. Mõõtesadula kasutamisel peab inimene sellele istuma, seejärel võetakse mõõdud, et teha kindlaks istmiku luustiku kumerus, vaagnaluude laius ja teised anatoomilised omadused.

Personaalse jalgratta sadula eeliseks on see, et see aitab vähendada ebamugavustunnet, survet ja võimalikke vigastusi, mis võivad valesadula valikust. Sobiv sadul, mis on kohandatud inimese istmiku mõõtmetele, pakub paremat toetust, jaotab kehakaalu ühtlaselt ja aitab säilitada mugavat sõiduasendit.

Mõõtesadula abil valmistatud personaalne sadul võib olla erinevates kuju- ja polsterdusvariantides, vastavalt inimese individuaalsetele vajadustele ja eelistustele. See võimaldab luua unikaalse sadula, mis tagab optimaalse mugavuse ja jõuülekande sõidu ajal.

1.2.1 Mõõtepunktid ja nende olulisus

Õige sadula valimine vaagnaluude laiuse ja kalde järgi tagab parema mugavuse, toetuse ja jõuülekande sõidu ajal. Vaagnaluude laius määrab, kui laiale sadulale peab istuma, et saavutada parim tasakaal mugavuse ja toetuse vahel. Isegi kõige pehmem sadul ei paku piisavat mugavust, kui see on liiga kitsas või liiga lai vaagnaluude jaoks. Lisaks on oluline arvestada sadula kaldenurgaga. See mõjutab vaagnaluude ja selgroo optimaalset asendit ning võib vähendada survet vaagnaluu ja selgroo piirkonnas. Samuti on oluline jälgida, et sadul ei suruks liigselt pehmete kudede ja närvisüsteemide piirkonda.

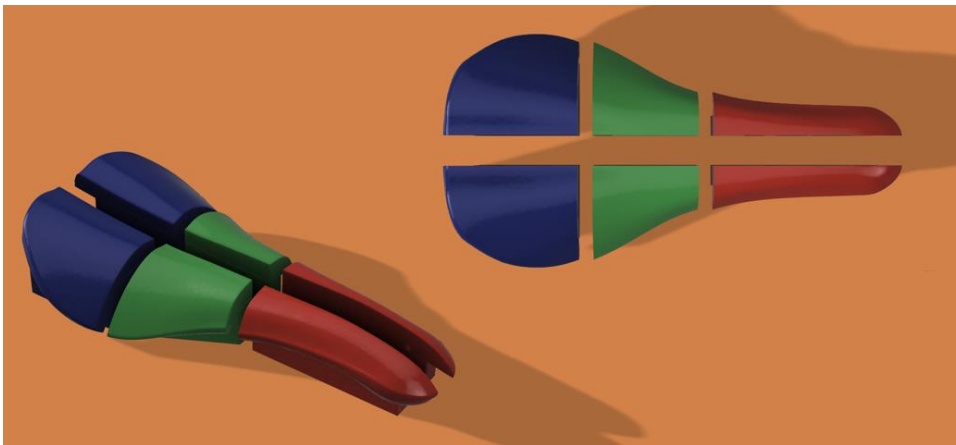
Kui sadul surub pehmete kudede, nagu tuharate ja suguelundite piirkonda, võib see häirida vereringet ja närviimpulsse. Pikaajaline kokkupuude sellise survega võib tekitada ebamugavustunnet, valu, tuimust ja isegi kroonilisi probleeme, nagu näiteks pehmete kudede kahjustused või lausa istmikunärvi põletikku. Sobiv sadul peaks pakkuma piisavat laiust ja

polsterdust, et vähendada survet pehmetele kudedele. Lisaks võib sadula kuju ja profiil mängida olulist rolli, et vältida liigset survet tundlikele aladele.

1.2.2 Mõõtesadula tehnoloogia

Mõõtesadulal on kuus mõõtepunkti ning need on jaotatud kolme sektsiooni (vt pilt 1.2.2.1). Sektsioonid on mõõtesadula renderusel ära märgistatud kolme eri tooniga.

Sinine toon märgistab mõõtesadulal ära selle koha, mille järgi mõõdetakse vaagnaluude laiust ja kallet. Mõõtesadulal väljatoodud roheline ja punane toon ehk vastavalt sadula keskmine ja eesmine osa märgistab ära koha, mille järgi mõõdetakse toetust tuhara alaosa ja suguelundite piirkonnas. Ideaalne on mõõt siis, kui need alad ei suru liialt pehmekudede ja närvisüsteemide peale.



Pilt 1.2.2.1 Mõõtesadula sektsioonid. Autor Carl-Eric Uibo (Fusion360)

Mõõtesadul, nii esmane kui ka lõpplahendus, peab olema valmistatud samadest materjalidest nagu sadul ise. Nii saab välistada võimaluse, et teised materjalid loovad vale ettekujutuse reaalsest sadulast ja siis sadul on ka võimalikult tõetruu. Mõõdistamiseks peab inimene istuma mõõtesadulale, millelt saab informatsiooni, kas ja millist sektsiooni on vaja liigutada, kas siis kokku-lahku või ette-taha.

Mõõtesadula esmane lahendus (vt pilt 1.2.2.3) on inspireeritud nii-öelda rätsepa mannekeenist (vt pilt 1.2.2.2), kus igat sektsiooni on võimalik eraldi vastavalt vajadusele reguleerida. Välja töötatud mõõtesadulal on kolm sektsiooni, mida on võimalik reguleerida.

Sektsioonid liiguvad keermelatil vastavalt vajadusele. Keermelatile on ära märgistatud skaala numbritega 1-10ni, mille järgi on võimalik edasi anda mõõtmed tootmisprotsessi. Järgnevalt saab saadud andmete järgi seadistada sadula ning seejärel on võimalik seda skanneerida CAD programmi, kust edasi saab sadula juba suunata tootmisesse. Peale sadula valmimist saab klient personaalse sadula.



Pilt 1.2.2.2 Rätsepa mannekeen



Pilt 1.2.2.3 Mõõtesadula konsepsioon. Autor Carl-Eric Uibo (Fusion 360).

Mõõtesadula ideaalne lõpplahendus on selline, et mõõtesadul on varustatud anduritega, mis võimaldavad võtta inimese istmiku mõõdud ning mille põhjal on võimalik valmistada personaalne sadul. Andurid võivad olla surveandurid, elektroonilised andurid või ka geelipadjad. Mõõdistamiseks peab inimene istuma mõõtesadulale, mis võimaldab anduritel registreerida istmiku laiuse, pikkuse, luustiku kumeruse ja muud istmiku omadused. Kogutud mõõtmisandmeid saab koheselt arvuti vahendusel analüüsida ning saadud andmete põhjal hinnatakse, millised muudatused sadulas võiksid olla vajalikud, et tagada piisav sobivus ja mugavus.

2. MATERJALIDE JA TEHNOLOOGIA KASUTUS

2.1 Lõputöös kasutatavad materjalid

Lõputöö teostamisel on kasutuses mitmed erinevad materjalid. Esimene testvorm teostati FDM (vt ptk 2.2.1) printeril polüpiimhappe filamendiga ning lõpliku vormi teostamisel kasutati akrüülnitriil-butadieen-stüreen filament. Kaheosalise sadula põhjadetail teostati SLS printimistehnoloogiaga (vt ptk 2.2.1) ning seal kasutati polüamiid 12 pulbrit. Pehmenduse valamisel kasutati kahekomponentset silikooni. Järnevalt on toodud kõikide printimismaterjalide tugevused ja nõrkused (vt tabel 2.1.1).

Materjalid	Tugevused	Nõrkused
Polüpiimhappe (edaspidi PLA)	- Suure 3D printeri kiirus - Printimise ajal ei teki kahjulikke aure - Loodusõbralik - Saab printida külmale pinnale - Säravam ja siledam pind	- Pehme plastik - Niiskus ja hapnik läheb kergesti läbi - Madal sulamis-temperatuur
Akrüülnitriil-butadieen-stüreen (edaspidi ABS)	- Vastupidav ja kõva - Kõrge sulamis-temperatuur - Pikk eluiga	- Kahjustab keskkonda - Keeruline printida - Vajab printides kuuma keskkonda - Eraldab printimisel keemilisi aure
Polüamiid 12 (edasipidi PA12)	- Kõrge mõõtmete stabiilsus - Kõrge kemikaalide kulumiskindlus	- Vett hülgav, kuid mitte veekindel - Halb kuumuskindlus

Tabel 2.1.1 Materjalide tugevused ja nõrkused.

PLA filament

Testvormi printimisel kasutatud PLA on toodetud maisitärklistest või suhkruroost, mis tähendab, et materjal on biolagunev ja keskkonnasõbralikuks. Hoolimata PLA tootmismaterjalist, on see siiski hea printimisvõimekusega. Tegemist on madala sulamistemperatuuriga materjaliga, mis vähendab 3D-printeri kasutamisel vajalikku kuumutusaega. PLA-filamenti on lihtne printida, sest see kleepub hästi printimisalusele ja prinditud esemed jahutavad kiiresti, mis vähendab deformatsiooni riski. (Sculpteo).

Siiski on PLA-l ka mõningad piirangud. Üks olulisemaid piiranguid on selle madalam tugevus võrreldes mõne teise printimismaterjaliga. PLA ei ole sama vastupidav mehaanilisele stressile ega löökidele kui mõned teised materjalid, mistõttu seda ei soovitata kasutada rakendustes, kus on vaja suuremat vastupidavust. (Sculpteo).

ABS filament

Lõpliku vormi printimisel kasutatud akrüülnitriil-butadieen-stüreen on tugev ja vastupidav termoplastiline polümeer. ABS-filament on enim tuntud oma kõrge tugevuse ja vastupidavuse poolest. See suudab taluda mehaanilist stressi, lööke ja kulumist, mistõttu on see ideaalne valik rakendustes, kus on vaja vastupidavust. ABS on samuti termoplastiline, mis tähendab, et seda saab korduvalt sulatada ja vormida. Lisaks oma vastupidavusele on ABS-il ka hea keemiline vastupidavus, taludes muuhulgas happeid, leeliseid ja lahusteid. See omadus muudab ABS-i kasulikuks mitmesugustes tööstuslikes rakendustes, nagu kemikaalikindlad osad, torud ja paagid. (Team Xometry, 2022).

Siiski on ka ABS-il ka mõned negatiivsed omadused. Selle töötlemisel võib tekkida ebameeldiv lõhn ja suits, mistõttu on oluline tagada hea ventilatsioon töökeskkonnas. ABS on veidi keerulisem, kui teised printimismaterjalid ning selle kleepumisprobleemid võivad tekkida printimise ajal. Selliste probleemide vältimiseks on soovitatav kasutada soojendatud printimisalust ja/või kasutada spetsiaalseid alusplaate või liimispreiseid. Lisaks vajab ABS filament kõrgemat alusplaadi temperatuuri, kui näiteks PLA filament. (Team Xometry, 2022).

PA12 filament

Sadula põhja ja kärestiku printimisel kasutatud SLS tehnoloogiaga kasutades PA12 pulbrit. PA12 on tugev ja vastupidav termoplastiline polümeer. Materjalil on suurepärane mehaaniline tugevus ja vastupidavus, mis võimaldab prinditud esemetele kõrge vastupidavuse ja funktsionaalsuse. See talub suurt mehaanilist stressi, painutusi ja lööke, mistõttu on see ideaalne valik tööstuslike osade, masinaosade, tööriistade ja funktsionaalsete prototüüpide printimiseks. Lisaks vastupidavusele on PA12-l ka hea keemiline vastupidavus. See talub mitmesuguseid kemikaale, sealhulgas õlisid, määrdeaineid ja lahusteid, mis muudab selle sobivaks rakendusteks, kus on vajalik vastupidavus keemilisele mõjule. PA12 omab ka head termilist vastupidavust. See talub kõrgeid temperatuure, säilitades samal ajal oma tugevusomadused. See võimaldab PA12-l olla kasutatav kõrgemate temperatuuridega seotud rakendustes. (Fast Radius, 2018).

Siiski on PA12-l mõned piirangud. Üks neist on selle võrdlemisi kõrge hind võrreldes mõne teise materjaliga. Lisaks võib PA12 olla suhteliselt tundlik niiskuse suhtes, mis võib mõjutada printimisprotsessi ja tulemusi. (Fast Radius, 2018).

2.2 Tehnoloogia

2.2.1 Gravitatsioonivalu ja 3D printimise tehnoloogiad

Järgnevalt on välja toodud vormi tehnoloogia lahendused (vt tabel 2.2.1.1), mida on sadula välja töötamisel kasutatud.

Tehnoloogia	Tugevused	Nõrkused
Gravitatsioonivalu	- Laiadlaselt levinud tootmismeetod - Soodne hind masstootmise puhul - Kiire tootmisaeg - Siledad pinnad ja ülimalt täpne	- Vormi enda tootmine on kulukas - Pole sobilik eritellimuseks

	- Võimaldab teha keerulisi kujusid	
3D printimine (SLS)	- Võimalus toota väiksemahuliselt - Puudub vormi ja rakiste vajadus - Puuduvad geomeetrilised piirangud - Minimaalsed tootmisjärgid - Võimalus eritellimuseks - Vähendab tootearenduse aega - Üks kiiremaid 3D printimise meetodeid	- Limiteeriutd materjalide valik - Limiteeritud detaili suurus - Uus tehnoloogia - Pikaajaline tootmine - Tootmine on kallis
3D printimine (FDM)	- Võimalus toota väiksemahuliselt - Võimalus eritellimuseks - Minimaalsed tootmisjärgid - Vähendab tootearenduse aega	- Limiteeritud materjali valik - Uus tehnoloogia - Pikaajaline tootmine

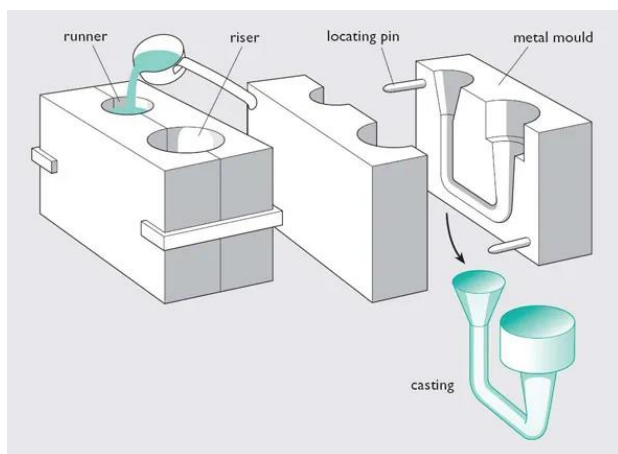
Tabel 2.2.1.1 Printimise tehnoloogiate tugevused ja nõrkused.

Gravitatsioonivalu

Gravitatsioonivalu on valamisprotsess, mis kasutab raskusjõudu vedeliku metalli või muu materjali voolamiseks valuvormi. Gravitatsioonivalu protsess hõlmab endas mitmeid samme (vt pilt 2.2.1.2). Esiteks valmistatakse valuvorm, mis võib olla valmistatud metallist, keraamikast või muust vastupidavast materjalist. Vormi sees on õõnes õõnsus, mis määrab lõpliku toote kuju. Järgmisena valatakse kas siis metallisulam või mõni teine vedelik vormi, kus omaenda raskusjõul voolab vedelik mööda õõnsuseid alla ning nende täitumisel saavutab soovitud kujundi. Pärast sulami või vedeliku tardumist eemaldatakse valmis toode valuvormist.

Gravitatsiooni valu meetodi eelised on mitmed. See võimaldab toota detaile erinevates suurustes ja keerukates kujudes. Meetod võimaldab saavutada sujuvad pinnad ja täpsed mõõtmed. Gravitatsiooni valu on ühtlasi ka suhteliselt lihtne ja kulutõhus meetod, mis võimaldab suuremahulist tootmist. (Butler, W.A., 2001).

Siiski on oluline märkida, et gravitatsioonivalu on mõningad piirangud. Näiteks võib protsess olla aeglane, kuna sõltub raskusjõust. Lisaks võib tundlikumate ja keerukamate detailide valamisel tekkida raskusi, mis nõuavad täpsemat kontrolli ja täiendavat töötlemist. (Butler, W.A., 2001).



Pilt 2.2.1.2 Gravitatsiooni valuvormi skeem

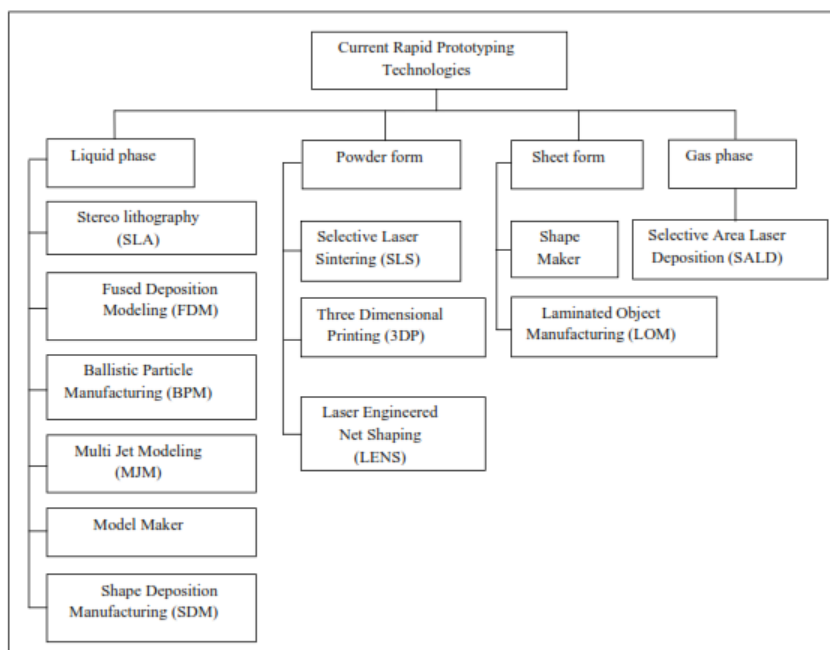
Rapid Prototyping (otsetõlkes kiire prototüüp)

Rapid prototyping on protsess, mis võimaldab kiiret ja efektiivset tootearendust, kus ideedest ja kontseptsioonidest saab kiiresti luua füüsilised prototüübid. See meetod võimaldab disaineritel ja inseneridel kiiresti testida ja hinnata toote ideid, funktsionaalsust ja disainilahendusi enne nende tootmisse viimist. *Rapid prototyping* kasutab mitmesuguseid tehnikaid (vt pilt 2.2.1.3), sealhulgas 3D-printimist, CNC (arvuti numbrilise kontrolliga) freesimist, laserlõikust ja vormivalamist. Kõik need meetodid võimaldavad kujundajatel muuta digitaalsed 3D-mudelid reaalseks füüsiliseks objektiks. (Davis, 2021).

Protsess algab tavaliselt digitaalse 3D-mudeli loomisega CAD (*Computer-Aided Design*) tarkvara abil. Seejärel valitakse vastav prototüüpimismeetod (SLS, FDM, DLP), mis sobib

kõige paremini prototüübi loomiseks, olenevalt soovitud prototüübi otstarbest, materjalist ja detailide täpsusest. Sellist meetodit kasutades loob arvutikontrollitud masin füüsilise prototüübi kihtide kaupa vastavalt 3D-mudelile. (Davis, 2021).

Rapid prototyping on oluline tööriist tootearenduses, aidates kiirendada innovatsiooni ja lühendada tootearenduse tsükleid. See võimaldab ideede kiiret realiseerimist ja võimaldab ettevõtetel konkurentsipüüdis püsida, pakkudes klientidele kiiresti paremaid ja täiustatud tooteid. (Davis, 2021).



Pilt 2.2.1.3 Kasutuses olevad rapid prototyping meetodid.

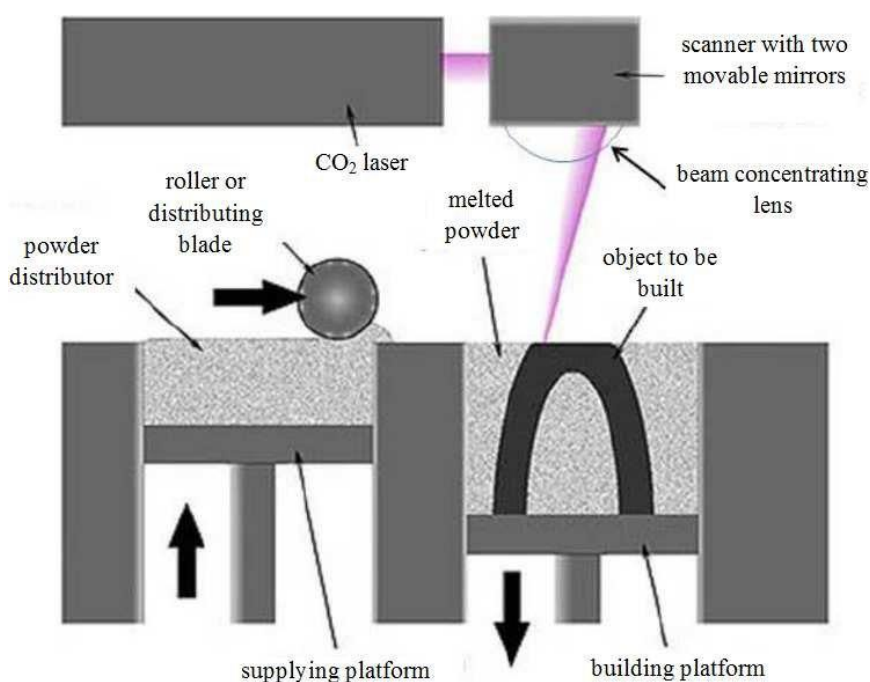
SLS tehnoloogia

SLS (ing. k. *Selective Laser Sintering*) on 3D-printimise tehnoloogia, mis võimaldab luua keerukaid ja funktsionaalseid objekte otse digitaalsetest 3D-mudelitest. SLS kasutab polümeeripulbreid või muud sarnast materjali, mida kuumutatakse laseriga, et see sulanduks ja moodustuks kihtidena soovitud objekt (vt pilt 2.2.1.4). (Formlabs).

SLS-tehnoloogia põhineb laseri suunamisel pulberi kihile, kus laseri energia sulatab pulbri osakesed kokku, moodustades tugeva kihi. Seejärel langetatakse printimisplatvorm ja uus pulbrikiht puistatakse eelmise peale. Protsess kordub mitu korda, kuni soovitud objekt on

täielikult vormitud. Lisatud pulber toetab trükitavat objekti ja võimaldab keerukate kujundite loomist. (Formlabs).

SLS eelised teiste ees on see, et selline tehnoloogia prindi prinditavale tootele tugesid, kuna pulber toimib ise tugi- ja tugistruktuurina. See võimaldab trükkida väga keerukaid ja hõlpsalt kokkupandavaid objekte ilma vajaduseta toetavate struktuuride järele. Lisaks võimaldab SLS kasutada erinevaid materjale, sealhulgas erinevaid polümeere ja komposiitmaterjale. (Formlabs).



Pilt 2.2.1.4 SLS tehnoloogia skeem

FDM tehnoloogia

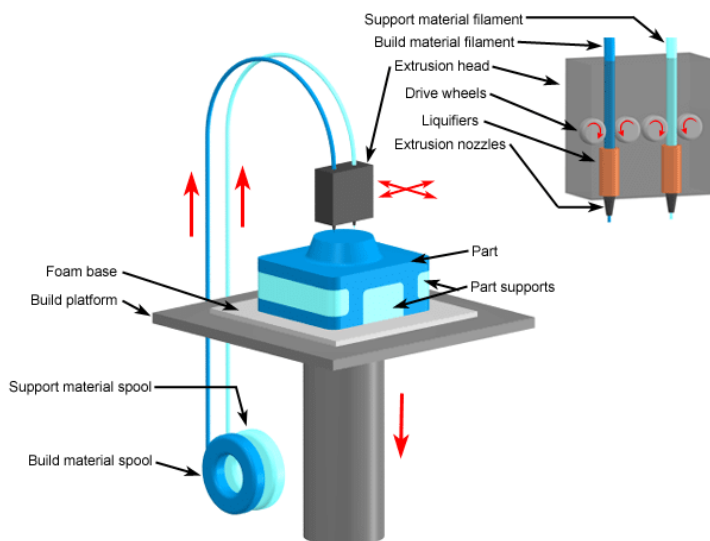
FDM (*Fused Deposition Modeling*) on 3D-printimise tehnoloogia, mis võimaldab luua füüsilisi objekte kiht-kihilt, kasutades sulatatud plastikust või muust sarnasest materjalist lõnga. See on üks levinumaid ja taskukohasemaid 3D-printimise meetodeid.

FDM-tehnoloogia põhineb materjali sulatamisel ja kihtide kihilisel ladestamisel vastavalt 3D-mudelile (vt pilt 2.2.1.5). Protsess algab sarnaselt SLS printimisele digitaalse 3D-mudeli loomisega CAD tarkvara abil. Seejärel ettevalmistatakse mudel spetsiaalse tarkvaraga, mis lõikab mudeli kihtideks ja genereerib teekonna, mida printer järgib. (Caralo, Lucas. 2023).

FDM-printeri düüs sulatab plastikust lõnga kuumutuse abil, mis seejärel kantakse kiht-kihilt objekti ehitusalusele või eelnevalt trükitud kihtidele. Kui üks kiht on valmis, tõuseb printimisalus või printeri pea vastavalt programmeeritud teekonnale, et alustada järgmist kihti. Protsess kordub kuni kogu objekt on trükitud. (Caralo, Lucas. 2023).

FDM-tehnoloogia pakub mitmeid eeliseid. See on suhteliselt odav ja laialdaselt kättesaadav, mis muudab selle populaarseks hobikasutajate, disainerite ja inseneride seas. FDM-printerid on suhteliselt lihtsad kasutada ja nende seadistamine on lihtne. FDM-printimine võimaldab trükkida erinevaid materjale, sealhulgas erineva tugevuse, painduvuse ja termilise vastupidavusega plastiku. See võimaldab luua funktsionaalseid prototüüpe, kohandatud osi ja mudeleid. (Caralo, Lucas. 2023).

Kuigi FDM-trükkimine on kulutõhus ja pakub mitmeid eeliseid, on oluline märkida, et trükitud objektide pind võib olla karedam võrreldes mõne teise tehnoloogiaga, nagu näiteks stereolitograafia (SLA). Lisaks võib FDM-trükitud objektidel olla kihtide vahel nähtavad kihistumise märgid. (Caralo, Lucas. 2023).



Pilt 2.2.1.5 FDM tehnoloogia skeem

3. TOOTEARENDUS

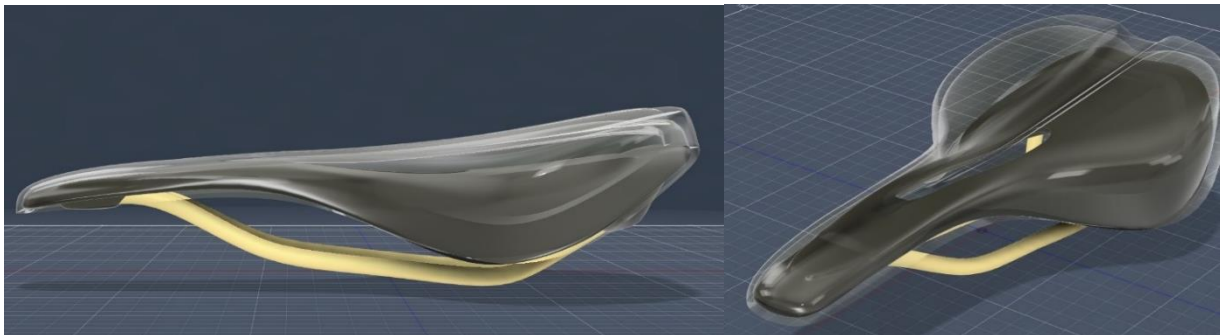
3.1 Protsessi kirjeldus

Järgnevalt on toodud jalgratta sadula protsesside järjestus:

- jalgratta sadula modelleerimine
- jalgratta sadula vormi modelleerimine
- jalgratta sadula põhja printimine SLS tehnoloogiaga
- jalgratta sadula vormi printimine FDM tehnoloogiaga
- sadula vormi komplekteerimine (detailide puhastamine, vormipoolte liimimine, atsetooni kambri valmistamine vormi jaoks)
- vormi ettevalmistused valamiseks (detaili kinnitamine vormikülge, servade kinnikattmine, silikooni ettevalmistamine)
- vormi valamine silikooniga

3.1.1 Sadula modelleerimine

Jalgratta sadula vormi printimiseks tuli modelleerida CAD programmis Fusion 360 mudel, mida saab kasutada põhja ja kärestiku vormi printimisel ning millelt on võimalik võtta vorm, kuhu sisse silikooni valada. CAD programmis modelleeriti kaks jalgratta sadula mudelit (Versioon 1 ja Versioon 2). Modelleerimise käigus leiti Versioon 1 mudelil (vt pilt 3.1.1.1) tehtud olulised vead, mille tõttu ka kärestiku modelleerimine sadulal ei oleks toiminud ning vormi kuju teostati valede nurkade all. Parandused tehti ja nii valmist Versioon 2 (vt pilt 3.1.1.2). Kogu jalgratta sadula töö liikus edasi Versioon 2 mudeli järgi (vt pilt 3.1.1.3).



Pilt 3.1.1.1 Sadula vorm (versioon 1). Autor Carl-Eric Uiibo (Fusion360)



Pilt 3.1.1.2 Sadula vorm (Versioon 2). Autor Carl-Eric Uibo (Fusion360)



Pilt 3.1.1.3 SLS printimiseks vajaminev mudel. Autor Carl-Eric Uibo (Fusion360)



Pilt 3.1.1.4 SLS prinditud detail. Autor Carl-Eric Uibo

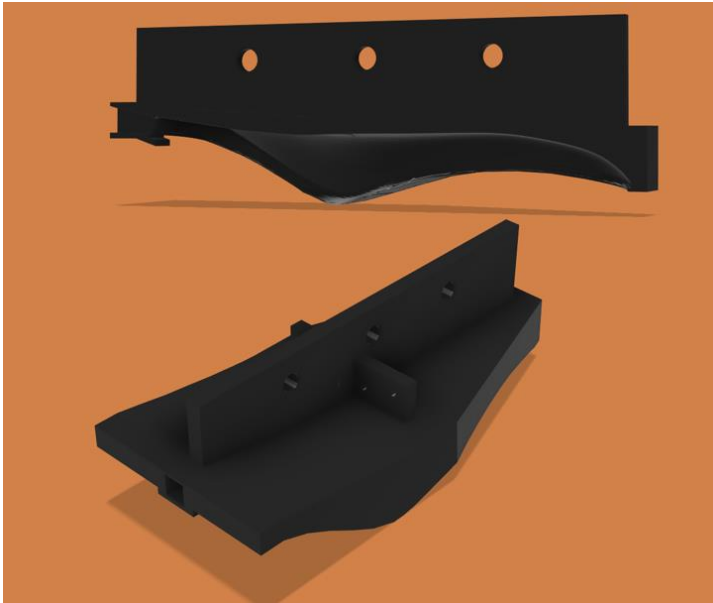
3.1.2 Jalgratta sadula vormi modelleerimine CAD programmis.

Töö eesmärk oli modelleerida olemasolevast sadula mudelist negatiivne vorm, mida oleks võimalik koos sadulaga välja printida. Vormi valmistamisel oli oluline, et valamiskanal asub kõige kõrgemas punktis ning mille kaudu saavad väljuda tardumisel tekkivad õhumullid. Vormi saab kinnitada pealtpoolt poltidega ning külgedel on tehtud lisapinnad, mis võimaldavad kinnitada pitskruve. Negatiivsel vormil peab olema hammas, mille taha sadula põhi kinni ei jää ning silikoon välja ei voolaks.

Modelleerimise käigus sai teostatud kaks vormimudelt, millest esimesel (vt pilt 3.1.2.1) olid suured puudused ning antud vormi ei oleks olnud võimalik printida ega kasutada. Teisel vormil (vt pilt 3.1.2.2) sai tehtud olulised muutused, nimelt sai viidud valamiskanal teisele poole, lisati juurde pitskruvide kinnituskohad, et vormi oli võimalik toetada püstisesse asendisse ning, et silikoon saaks gravitatsiooni jõul kõigjale vajuda.



Renderus 3.1.2.1 Esimene katkine vorm. Autor Carl-Eric Uibo (Fusion360)



Renderus 3.1.2.2 Teine kasutusel olev vorm. Autor Carl-Eric Uiibo (Fusion360)

3.1.3 Jalgratta sadula vormi printimine FDM tehnoloogiaga.

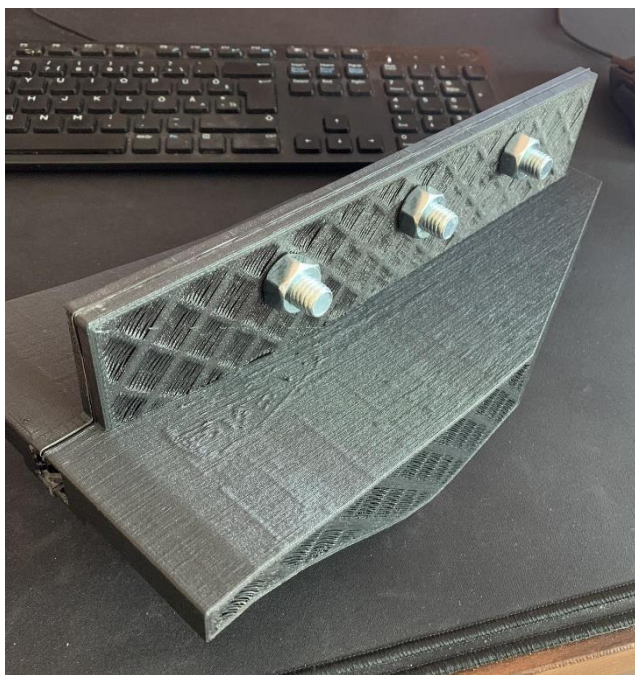
Esialgu teostatati testvormi printimine, et veenduda mudeli on toimivuses ning kas pooled üldse lähevad omavahel kokku. Testvorm prinditi FDM printeril klassikalise PLA filamendiga. Printimine võttis aega 13h ning kulutas 449g PLA filamenti. Jalgratta lõpliku vormi printimine teostatati FDM masinga ning printimisel kasutatakse ABS filamenti.

FDM printer, kus teostati ABS filamentiga printimine sai kinni kaetud pakkepappiga, kuna ruumitemperatuur ei olnud piisavalt soe ega ka stabiilne printimise jaoks. Printeri kinnikatmist sai proovida kolmel korral, kuna esialgsel kinnikatmise versioonil pääses printimise ajal piisavalt palju külma õhku ligi ja detail tuli ehitusplaadilt lahti.

Järgnevals pildiseeria printimise protsessidest (vt pildid 3.1.3.1 kuni 3.1.3.8).



Pilt 3.1.3.1 Testvorm peale printimist. Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.3.2. Vormi poolte omavahel kinnitamine poltidega Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.3.3 Kinnitatud vormi pooled. Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.3.4 Detail eraldub ehitusplaadilt, jahtumisel jahedas keskkonnas. Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.3.5. FDM printeri kinni katmine (esimene kord). Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.3.6 FDM printeri kinnikatmine (teine kord). Autor Carl-Eric Uibo

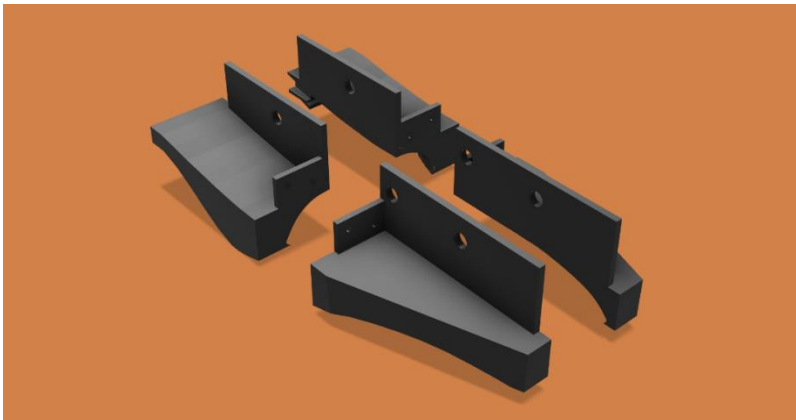


Pilt 3.1.3.7 FDM printeri kinnitamine (kolmas ja lõplik kord). Autor Carl-Eric Uibo

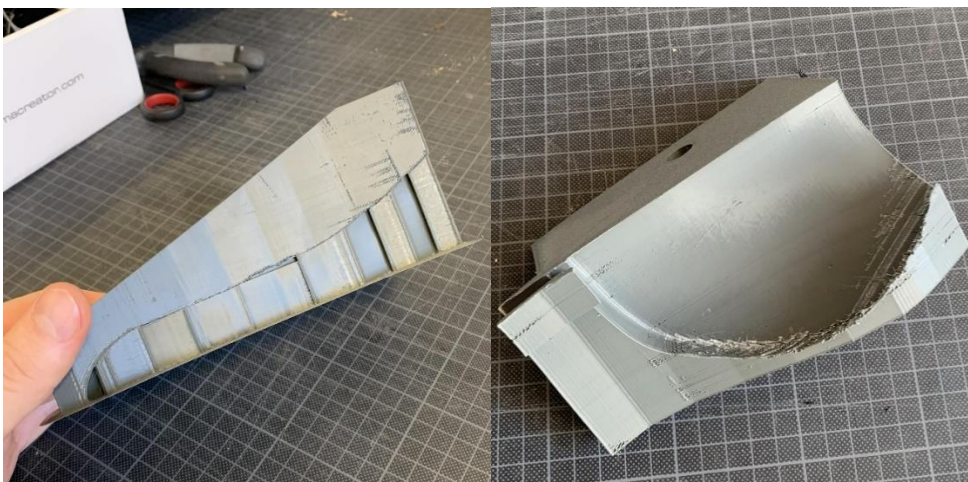
Lõpliku sadula vormi printimisel riskide vähendamiseks sai vorm jaotatud neljaks osaks (vt pilt 3.1.3.8). See sai tehtud selleks, et vältida olukorda, kus suure detaili printimise käigus tuleb detail jahtumisel ehitusplaadilt lahti.

3.1.4 Sadula vormi komplekteerimine ja ettevalmistus valamiseks

Valmis printitud detailid (V.V.E, V.V.T, V.P.E ja V.P.T - vt pilt 3.1.4.1 ja 3.1.4.2) tuli peale printimist puhastada toedest, mis printimise käigus tekkisid ning, kui detailid said puhastatud, tuli kaks vormipoolt V.V.E+ V.V.T ja V.P.E + V.P.T omavahel üksteisekülge liimida (vt pilt 3.1.4.2), et tekiks ainult kaks vormipoolt. Pärast vormipoolte omavahel kokkupanemist asetatati detailid karpi, kus töödeltakse vormi detaile atsetoon aurudega, et vormi pinnad muutuks ühtlaseks ning vormi valamisel, et valatav vormi tasapinnale ei tekiks ebatasasusi.



Pilt 3.1.4.1 Vormi detailid. Autor Carl-Eric Uiibo (Fusion360)



Pilt 3.1.4.2 Tugedega detail V.V.E (vasakul) ja tugedest puhastatud detail V.V.T. (paremal)
Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.4.3 Liimitud V.V.E ja V.V.T detailid. Autor Carl-Eric Uibo

Peale vormipoolte töötlemist atstool aurudega olid vormipoolte tasapinnad valmis valamiseks. Enne valmist tuli ette valmistada vorm , et valamistööd oleks võimalik edukalt sooritada. Vormipooled kinnitatakse omavahel poltidega, vormi sisse paigutatakse valmis printitud jalgratta sadula põhi. Lisaks sellele, et kaeti vormi ja sadula liiteservad plastiliiniga, et vältida silikooni lekkimist.

3.1.5 Vormi valamine silikooniga

Valamiseks kasutati läbipaistvat kahekomponentset silikooni, mis segati kõvendiga vahekorras 1:1le. Lisaks lisatakse kõvendile juurde aeglustit (5% ühest komponendist), mis aitab kaasa silikoonil aeglasemalt tardumisele ja välistab õhumullide tekkimist valatud vormi.

Järgnevalt pildiseeria vormi valamise protsessidest (pildid 3.1.5.1 kuni 3.1.5.6).



Pilt 3.1.5.1 Vormi kinnitamine PLA vormi külge. Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.5.2 Vormi ja sadulapõhja servade kinni katmine. Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.5.3 Valmis sadul vormis. Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.5.4 Valmis sadul, üks vormipool eemaldatud. Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.5.5 Äsja vormist välja tulnud sadul. Autor Carl-Eric Uibo



Pilt 3.1.5.6 Töödeldud sadul. Autor Carl-Eric Uiibo

3.1.6. Praktilise protsessi kokkuvõte

Üldiselt läks töö praktiline osa hästi, olid vaid mõningad tagasilöögid. Näiteks oli algselt plaanis koos printida sadula vorm ja põhi SLS tehnoloogiaga, kuid need koos kambrisse ei mahtunud. Seega sai vorm üldse printitud FDM tehnoloogiaga ja ABS filamendiga. Vorm tuli omakorda üldse jagada neljaks, et vähendada printimise riske ja detaili pindala oleks väiksem. ABS filamendiga printides said esimesed kolm detaili välja prinditud ilusti ilma eriliste probleemideta. Küll aga tekkisid probleemid viimase detaili printimisega, mille probleemile lõpliku lahendust teada ei saanudki ja detaili tuli uuesti printida kuuel korral. Vormi valamisel silikooniga ei tekkinud erilisi probleeme, valamise käigus tekkis pisikene leke, mis sai lihtsa vaevaga ära likvideeritud ning see lõpptulemust ei mõjutanud. Rohkem tagasilööke töös ei olnud ning kokkuvõttes sai praktiline osa valmis.

KOKKUVÕTE

Sadul on lahutamatu jalgratta osa, kuid see ei tähenda, et selle kasutamine peaks kasutajale olema ebamugav. Personaalselt sobiv jalgratta sadul peaks olema lahutamatu osa jalgrattasõidust. Sadul ei tohiks sõitjat häirida, tekitada ebamugavust või lausa vigastusi. Tänapäeval on sadul jalgratta arendusest jäänud pigem kõrvale ja selle ebamugavusega üritatakse harjuda või lahendada seda muude viisidega.

Käesoleva bakalaaurusetöö raames sai välja töötatud innovaatilise struktuuriga sadul, mis on optimeeritav ja kohandatav vastavalt vajadusele. Lisaks sai välja töötatud mõõtesadula kontseptsioon, mis võimaldab mõõta ja registreerida sõitja survepunktid, mille põhjal on võimalik teha personaalne sadul.

Bakalaauruse töö esimeses osas räägiti sadula ja mõõtesadula tehnoloogilisest poolest ning kontseptsioonide ideest. Töö teises osas on välja toodud 3D printimise materjalid ja tehnoloogiad, millega sadul valmis töötati.

Eelmainitud sadul töötati välja arvutiprogrammiga Fusion 360. Sadula esialgne vorm toodeti PLA filamendist ja sadula lõplik vorm ABS filamendiga. Sadul ise toodeti PA12 pulbriga ja täideti silikooniga.

SUMMARY

Bicycle saddle is an inseparable part of a bicycle, but that does not mean it should be uncomfortable for the user. Personally adapted bicycle saddle should be the new inseparable part of bicycle riding. The saddle should not bother the cyclist, make them uncomfortable or even cause them any injuries. Nowadays the saddle has been the least developed part of the bicycle and people have been trying to get used to the uncomfortableness of it in many ways.

In part of this thesis a innovative structural saddle has been worked out, that is optimizable and adaptable according to use. Additionally as a part of this thesis, there has been worked out a conception of measuring saddle, what allows to measure and register cyclist pressure points which can be the base of personalized saddle.

The first part of this thesis focuses on saddle's and measuring saddle's technological part and the ideas of theirs conception. The second part focuses on production materials and technologies with what the saddle was produced.

The said saddle has been worked out in CAD software Fusion 360. The saddles essential form was made with PLA filament and the final form with ABS filament. The saddle itself was made with PA12 powder and was filled with silicone.

KASUTATUD MATERJALID

1. Benson, Cory. (2020). *Review: Pressure map saddle fitting to join the GebioMized Secret Saddle Club*. [WWW] <https://bikerumor.com/review-pressure-map-saddle-fitting-to-join-the-gebiomized-secret-saddle-club/> (24.05.2023).
2. Butler, W.A. (2001) *Encyclopedia of Materials: Science and Tehcnology*. Teine väljaanne. USA: Pergamon.
3. Caralo, Lucas. (2023). *What Is FDM 3D Printing? – Simply Explained*. . [WWW] <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/> (11.05.2023).
4. Davis, Richard. (2021). *What is Rapid Prototyping? Techniques, Software, Examples and Advantages*. [WWW] <https://www.theengineeringprojects.com/2021/05/what-is-rapid-prototyping-techniques-software-examples-and-advantages.html> (10.05.2023)
5. Denham, Alee. (2019). *Saddle Comfort for Cyclist: The Best Bicycle Touring Seats*. [WWW] <https://www.cyclingabout.com/saddle-comfort-for-cyclists-the-best-bicycle-touring-seats/> (25.03.2023)
6. Fast Radius. (2018). *Know your plastic materials: PA 12 (Nylon 12)*. [WWW] <https://www.fastradius.com/resources/polyamide-12/> (28.05.2023)
7. Formlabs. *Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing*. [WWW] <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/> (11.05.2023)
8. Hawaii Express. (2023). *Speedy*. [WWW] <https://www.hawaii.ee/et/speedy-110842honey> (28.05.2023)
9. Hawaii Express. (2023). *DDK-D8120*. [WWW] <https://www.hawaii.ee/et/ddk-d8120-ddk-d8120> (28.05.2023)
10. Hawaii Express. (2023). *Tofino V 1.5 Cut Out*. [WWW] <https://www.hawaii.ee/et/tofino-v-15-cut-out-270210-0001?manufacturer=86> (28.05.2023)
11. Hawaii Express. (2023). *Tofino V 1.5*. [WWW] <https://www.hawaii.ee/et/tofino-v-15-270208-0001?manufacturer=86> (28.05.2023)
12. Hawaii Express. (2023). *Tofino 1.5*. [WWW] <https://www.hawaii.ee/et/tofino-15-270207-0001?manufacturer=86> (28.05.2023)

13. Moore, Kathrine. (2018). *How to choose the right bike saddle for you*. [WWW] <https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/how-to-choose-the-best-saddle/#whysaddlefitmatters> (17.05.2023)
14. Team Xometry. (2022). *All About ABD 3D Printing Filament: Materials, Properties, Definition*. [WWW] <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/abs-3d-printing-filament/> (25.05.2023)
15. Sculpteo. *PLA 3D printing plastic filament*. [WWW] <https://www.sculpteo.com/en/materials/fdm-material/pla-material/> (21.05.2023)