

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Liisbeth Kesamaa 213639IABB
Delis Pajuri 213663IABB

3D-printimise hinnakalkulaatori veebirakendus Neptune First OÜ-le

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Tarvo Treier
MSc

Tallinn 2025

Autorideklaratsioon

Kinnitame, et oleme koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autorid: Liisbeth Kesamaa, Delis Pajuri

20.05.2025

Annotatsioon

Bakalaureusetöö eesmärk oli luua veebirakendus, mis võimaldaks Neptune First OÜ-l pakkuda oma 3D-printimise teenuseid lõppklientidele ning automatiseerida nii hinnakalkulatsiooni kui ka tellimisprotsessi.

Kuigi 3D-printimise valdkonnas on olemas mitmeid lihtsustatud kalkulaatoreid ja tellimisvorme, puudub Eesti turul terviklik lahendus, mis ühendaks hinnakalkulatsiooni, 3D-mudelite üleslaadimise ja tellimuse esitamise ühtsesse, täielikult automatiseeritud süsteemi. Olemasolevad platvormid eeldavad sageli manuaalset suhtlust teenusepakkujaga ega võimalda kasutajal iseseisvalt kogu tellimisprotsessi ühest keskkonnast läbida.

Töö autorid löid veebirakenduse, mis koondab endasse 3D-printimisega seotud teenused ning võimaldab kliendil tellida nii 3D-mudeli valmistamise kui ka valmisprindi ilma otsese suhtlusega teenusepakkujaga. Rakenduse keskseks funktsionaalsuseks on automaatne 3D-printimise hinnakalkulaator, mis arvutab lõpphinna automaatselt sisestatud parameetrite alusel, võimaldades kliendil iseseisvalt tellimus vormistada ühes keskkonnas. Lahendus aitab Neptune First OÜ-l maksimeerida olemasolevate tootmisressursside kasutust, pakkudes teenuseid ka väljaspool hooajalist tootmistsüklit ning toetades ettevõtte kasvu. Täiendavalt töötati välja administraatori vaade, mis võimaldab teenusepakkujatel hallata tellimusi mugavalt ja paindlikult, toetades agiilset töökorraldust.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 52 leheküljel, 5 peatükki, 48 joonist, 1 tabelit.

Abstract

Web application for 3D printing price calculator for Neptune First OÜ

The goal of this bachelor's thesis was to develop a web application that enables Neptune First OÜ to offer its 3D printing services directly to end customers while automating both the pricing and ordering processes.

While there are various basic calculators and order forms available in the 3D printing industry, the Estonian market lacks a comprehensive solution that seamlessly combines price estimation, 3D model uploading and order placement into a single, fully automated platform. Existing solutions often require manual communication with the service provider and do not allow users to complete the entire ordering process independently within one environment.

In response to this gap, the authors developed a web application that integrates essential 3D printing services, allowing customers to order both the design and production of 3D models without direct contact with the provider. At the heart of the application is an automated pricing calculator, which determines the final cost based on user-defined parameters. This enables customers to complete their orders autonomously and efficiently. This solution supports Neptune First OÜ in optimizing the use of its production capacity, extending its service availability beyond seasonal cycles, and fostering business growth. Additionally, an administrative interface was implemented, allowing service providers to manage orders flexibly and efficiently, in alignment with agile workflows.

The thesis is written in Estonian and consists of 52 pages of text, 5 chapters, 48 figures, 1 table.

Lühendite ja mõistete sõnastik

AI	<i>Artificial Intelligence</i> , masinate võime õppida, otsustada ja ennustada
AM	<i>Additive Manufacturing</i> , lisandtootmine ehk 3D-printimine kihthaaval
API	<i>Application Programming Interface</i> ehk rakendusliides
API endpoint	Rakendusliidese otspunkt
ASP.NET	Microsofti veebiraamistik, mida kasutatakse serveripoolsete rakenduste loomiseks
Axios	JavaScripti teek, mis lihtsustab HTTP-päringute saatmist brauseris või Node.js'is
Backend	Tagarakendus, rakenduse serveri pool
BPM	<i>Business Process Management</i> , äriprotsesside juhtimine
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> , tarkvara 3D-tehniliste jooniste loomiseks
CI/CD	<i>Continuous Integration / Continuous Deployment</i> ehk pidev integratsioon ja pidev juurutus. Automatiseeritud testimine ja tarkvara pidev väljastamine
CLI	<i>Comman Line Interface</i> , käsureapõhine kasutajaliides
CRM	<i>Customer Relationship Management</i> , tarkvara kliendisuhete haldamiseks
ERP	Enterprise Resource Planning, tarkvara ettevõtte ressursside haldamiseks
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> , 3D-printimismeetod sulatatud plastiga
Frontend	Rakenduse kasutajaliides
Full pricing power	Ettevõtte täielik võime hindu kujundada, sageli tänu ainulaadsele pakkumisele
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i> , andmeedastusprotokoll veebis
Infill	3D-prindi sisemine täitestruktuur
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i> , andmevahetusvorming, mida kasutatakse struktuurse info edastamiseks

OAuth 2.0	Turvaline protokoll, mis võimaldab ligipääsu ilma paroole jagamata
<i>Partial pricing power</i>	Ettevõtte osaline võime hindu kujundada, sõltudes konkurentsist
<i>Peer-to-peer</i>	Võrgumudel, kus seadmed suhtlevad omavahel ilma keskserverita
<i>Pinia</i>	Vue.js rakenduste jaoks loodud olekuhaldusraamatukogu
PostgreSQL	Avatud lähtekoodiga relatsiooniline andmebaas
REST	<i>Representational State Transfer</i> , arhitektuuri stiil, mida kasutatakse veebiteenuste loomiseks
<i>Slicer</i>	Viilutustarkvara, jagab 3D-mudeli kihtideks ja genereerib printimiskäsud
UI	<i>User Interface</i> , kasutajaliides
UX	<i>User Experience</i> , kasutajakogemus

Sisukord

1 Sissejuhatus	13
1.1 Üldine taust	13
1.2 Probleem	13
1.3 Eesmärk	14
1.4 Töö edasine struktuur	16
2 Varasema kirjanduse ülevaade	17
2.1 3D-printimise tehnoloogia ja areng.....	17
2.2 3D-printimise ärilised mudelid	18
2.3 3D-hinnakalkulatsiooni meetodikad	19
2.3.1 Hinda mõjutavad komponendid	19
2.3.2 Platvormipõhised hinnastrateegiad.....	19
2.3.3 Järeldus	20
2.4 Automatiseeritud protsessid ettevõtluses.....	20
3 Meetodika.....	21
3.1 Objekti detailne kirjeldus.....	21
3.2 Projektitöö meetodiline alus	21
3.3 Olemasolevate lahenduste analüüs.....	22
3.3.1 Analüüsi implementeerimine	25
3.4 Tööriistad.....	28
3.4.1 Programmeerimiskeeled ja raamistikud.....	29
3.4.2 Tehnoloogiad.....	29
3.4.3 Viilutustarkvara	29
3.4.4 UX/UI Disain	30
3.4.5 Versioonihaldus.....	30
3.4.6 Projektijuhtimine	31
3.4.7 Testimine ja tulemuste valideerimine	33
3.5 Infosüsteemi arendusprotessi kirjeldus.....	33
3.5.1 Skoop	33

3.5.2 Töövoog.....	34
3.5.3 Rollid	36
3.5.4 Strateegia.....	36
3.6 Nõuete analüüs.....	37
3.6.1 Funktsionaalsed nõuded.....	37
3.6.2 Mittefunktsionaalsed nõuded	38
4 Peamised tulemused	39
4.1 Rakenduse arhitektuuri ja tööprotsessi kirjeldus	39
4.1.1 Andmebaas.....	39
4.1.2 Tagaarendus	40
4.1.3 Kasutajaliides	41
4.1.4 PrusaSlicer'i liidestus	43
4.2 Kalkulaatori loogika ja hinnamudeli algoritm	43
4.2.1 Hinnamudeli algoritm.....	44
4.2.2 Kalkulatsiooni täpsustamine ja võimalike probleemide analüüs	44
4.3 Kasutajaliides ja UX lahendus	45
4.3.1 Disainiprotsessi algus	45
4.3.2 Üleminek prototüübist tegelikku kasutajaliidesesse.....	46
4.3.3 Probleemid ja muudatused prototüübi elluviimisel.....	47
4.3.4 Tulemuse hindamine.....	48
4.4 Rakenduse kasutuslood	49
4.4.1 Lõppkasutaja kasutuslood	49
4.4.2 Teenusepakkuja kasutuslood.....	51
5 5. Analüüs ja järeldused	54
5.1 Tulemuste analüüs.....	54
5.2 Kitsendused ja piirangud	56
5.2.1 STL-failide keerukus	57
5.2.2 <i>Slicer</i> 'i piirangud.....	57
5.3 Tuleviku parendused	58
5.4 Äriline mõju ja põhjendatus.....	60
5.4.1 Ärilised eelised.....	61
5.4.2 API lisaväärtus: müügiks valmis tehnoloogia.....	61
5.5 Alternatiivsed lahendused.....	62
5.5.1 Viilutamise mootorite alternatiivid.....	62

5.5.2 Alternatiivsed hinnastamismudelid	63
5.5.3 Turupõhise tellimiskeskonna potentsiaal	63
5.5.4 Logid ja meeskondlik hinnang	64
Kokkuvõte	65
Kasutatud kirjandus	66
Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	69
Lisa 2 – Kasutajaliidese illustratsioonid	70
Lisa 3 – Figma prototüüp	86
Lisa 4 – Pildid alternatiividest	90
Lisa 5 – Liisbeth Kesamaa eneseanalüüs	95
Lisa 6 – Delis Pajuri eneseanalüüs	97

Jooniste loetelu

Joonis 1. Jiras loodud projekti kanban board.	31
Joonis 2. Child issue'de nimekiri koos täitjate ja olekuga.	32
Joonis 3. „Done“ staatuses olevate ülesannete nimekiri.	32
Joonis 4. Registreerimata ja registreeritud kasutaja kasutuslood.	51
Joonis 5 Admini ja teenusepakkuja kasutuslood.	53
Joonis 6. Avalehe vaade.	70
Joonis 7. Hinnakalkulaatori esmane vaade ilma sisendita.	71
Joonis 8. Veateade tühjade hinnakalkulaatori väljade ja/või faili osas.	71
Joonis 9. Hinnakalkulaatori vaade peale esmast vigaste parameetritega kalkulatsiooni.	72
Joonis 10. Hinnakalkulaatori vaade peale sisendit ja edukat kalkulatsiooni.	73
Joonis 11. Teade, kui klient lisab toote edukalt ostukorvi.	74
Joonis 12. „Telli print" vaade.	75
Joonis 13. „Telli mudel" vaade ilma esmase sisendita.	76
Joonis 14. Teade peale mudeli modelleerimise päringu saatmist.	76
Joonis 15. Kasutaja e-postile jõudnud kiri mudeli modelleerimise päringu osas.	77
Joonis 16. „Filamentide kataloog" vaade.	77
Joonis 17. „Kontakt“ vaade.	78
Joonis 18. Kontosse sisse logimise vaade.	78
Joonis 19. Konto registreerimise vaade.	79
Joonis 20. Tühja ostukorvi vaade	79
Joonis 21. Ühte toodet sisaldava ostukorvi vaade.	80
Joonis 22. Tellimuse esitamise vaade ilma esmase sisendita.	80
Joonis 23. Teade, mis kuvatakse peale tellimuse esitamist.	81
Joonis 24. Kasutaja e-postile jõudnud tellimuse kinnitamise kiri koos arvega.	81
Joonis 25. Admin vaate avaleht.	82
Joonis 26. „Mudeli tellimused" vaade, uue tellimuse staatuse määramine „Võta töösse“.	82
Joonis 27. Mudeli tellimuse vaade, staatus „Töös" on määratud „Tehtud“ staatusesse.	83
Joonis 28. Mudeli tellimuse vaade, tellimuse kustutamise kinnituse teade.	83

Joonis 29. Mudeli tellimuse detailse kirjelduse vaade.....	84
Joonis 30. „Prindi tellimused" vaade, uue tellimuse staatuse määramine „Võta töösse".	84
Joonis 31. „Prindi tellimused“ vaade, staatuse määramine „Töös" staatusest „Valmis“ staatusesse.	84
Joonis 32. „Prindi tellimused“ vaade, staatus „Tehtud" peale „Valmis" määramist.	85
Joonis 33. Prindi tellimuse kustutamise kinnituse teade.	85
Joonis 34. Prototüübi „Avaleht“ vaade Figmas.	86
Joonis 35. Prototüübi avalehe alumine osa Figmas.	87
Joonis 36. Prototüübi „Hinnakalkulaatori“ vaade Figmas.	87
Joonis 37. Prototüübi „Telli print" vaade Figmas.....	88
Joonis 38. Prototüübi „Telli mudel" vaade Figmas.	88
Joonis 39. Prototüübi „Filamentide kataloog" vaade Figmas.....	89
Joonis 40. Prototüübi ostukorvi vaade Figmas.	89
Joonis 41. 3DKoda hinnakalkulaator.	90
Joonis 42. Baltal hinnapäringu esitamise informatsioon.....	91
Joonis 43. Voltride hinnapäringu esitamise vorm.	92
Joonis 44. Shapeways hinnakalkulaator.....	93
Joonis 45. Prolab Networks hinnakalkulaator.	93
Joonis 46. Sculpteo hinnakalkulaator.....	94
Joonis 47. Liisbeth Kesamaa ajalogi.....	96
Joonis 48. Delis Pajuri ajalogi.	98

Tabelite loetelu

Tabel 1. Arendatud teenuse eelised ja puudused võrreldes analüüsitud lahendustega. .. 24

1 Sissejuhatus

1.1 Üldine taust

Ressursside säästlik kasutamine ja tootmisprotsesside tõhustamine on muutunud tänapäeva ettevõtluses üha olulisemaks, kuna need mõjutavad otseselt nii keskkonnakoormust kui ka majanduslikku konkurentsivõimet. Üheks tehnoloogiaks, mis toetab neid eesmärke, on 3D-printimine, võimaldades luua füüsilisi objekte kiiresti, paindlikult ja madala materjalikuluga. Tegu on tootmisviisiga, mis soodustab tarneahelast sõltumatut tootmist, lühendab tootmistsüklit ja võimaldab teostada ka keerukaid konstruktsioone. Selles kontekstis on autorid keskendunud veebirakenduse väljatöötamisele, mille eesmärk on pakkuda Neptune First OÜ-le võimalust turustada oma 3D-printimise võimekust laiemale kliendibaasile läbi digitaalse tellimiskeskonna. Arendatud lahendus võimaldab lõppkasutajatel esitada 3D-prinditööde tellimusi ning taotleda individuaalsete mudelite kujundamist ilma otsese suhtlusega teenusepakkujaga. Rakendus suurendab teenuse kättesaadavust, tõstab tööprotsesside efektiivsust ning võimaldab ettevõttel luua uusi äri võimalusi väljaspool oma hooajalist põhitegevust. Süsteem toetab tellimuste haldamist automatiseeritult ja skaleeritavalt, muutes töövoo sujuvamaks nii kliendi kui teenusepakkuja vaates. Käesolevas töös käsitletakse loodud rakendust kui praktilist näidet sellest, kuidas digitaalselt juhitud lahendus võib avada traditsioonilise tootmisressursi jaoks uusi innovaatilisi kasutusvõimalusi.

1.2 Probleem

Tootmisressursside alakasutus ja tööjõu potentsiaali rakendamata jätmine on järjest olulisemaks muutuv küsimus ettevõtetes. Eesti ettevõtte Neptune First OÜ näitel on selgelt märgata, et purjetamistehnoloogiale spetsialiseerunud tootmisüksuse töömaht väheneb märgatavalt väljaspool aktiivset navigatsioonihooaega. Selle tulemusel seisavad ettevõttes kasutusel olevad 3D-printerid kasutuseta ning kvalifitseeritud inseneride tööpotsentsiaal jääb ajutiselt rakendamata, kuigi olemas on nii tehniline pädevus kui ka huvi 3D-printimise valdkonnas edasi areneda. Seadmete passiivne seis mõjutab ka

ettevõtte kulustruktuuri, suurendades amortisatsioonikulusid, mis ei too endaga kaasa vastavat tulu, vähendades seeläbi tegevuse üldist tasuvust.

Hetkel puudub ettevõttel igasugune mehhanism 3D-printimise teenuste pakkumiseks lõppklientidele. Ei eksisteeri ei digitaalselt juhitud tellimiskeskonda ega standardiseeritud töövoogu, mis võimaldaks teenust iseseisvalt ja tõhusalt hallata. Sellise platvormi puudumine tähendab, et isegi potentsiaalset huvi ei ole võimalik äriselt realiseerida. Üha enam liigub aga turg lahenduste suunas, kus kliendid ootavad kiiret, selget ja automaatset tellimiskogemust – võimalust üles laadida mudel, saada kohene hinnakalkulatsioon ja esitada tellimus ilma manuaalse suhtluse ja ooteajata. Selle võimekuse puudumine piirab ettevõtte kasvu, innovatsioonivõimekust ja võimalust genereerida väljaspool hooajalisust stabiilset lisatulu.

1.3 Eesmärk

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on välja töötada veebipõhine 3D-printimise teenuste rakendus ettevõttele Neptune First OÜ, mis looks tehnilised ja funktsionaalsed eeldused ettevõtte sisenemiseks teisele ärivaldkonnale – 3D-printimise teenuste pakkumine lõppklientidele. Arendatav lahendus ei toeta üksnes olemasoleva seadmepargi ja spetsialistide rakendamist väljaspool hooajalist tootmistsükli, vaid loob aluse uue, skaleeritava ning potentsiaalselt tulutoova teenuseosutuse mudeli kujunemiseks. Rakenduse keskmes on automatiseeritud ja kasutajasõbralik tellimiskeskond, mis võimaldab kliendil iseseisvalt 3D-mudeli üles laadida, saada kohene hinnakalkulatsioon ning esitada tellimus ilma vahetu suhtlusega teenusepakkujaga. Lisaks toetab süsteem ka ideepõhiste mudelite tellimist läbi spetsiaalse vormipõhise funktsiooni.

Rakendus tugineb terviklikule tehnilisele lahendusele, mis hõlmab tagaarendust (ingl *backend*), kasutajaliidest (ingl *frontend*), viilutustarkvara PrusaSlicer'it [1] ja andmebaasi. Need komponendid tagavad süsteemi funktsionaalsuse, sujuva töövoogu ja andmete struktureeritud halduse. Lahendus peab toetama mitmetasandiliselt nii ettevõtte äristrateegiat kui ka teenuse operatiivset toimimist: see peab olema töökindel, skaleeritav ning võimalikult vähese hooldusvajadusega. Süsteemi ülesehitus peab võimaldama tulevikus ka täiendavat automatiseerimist, näiteks lihtsamate 3D-mudelite genereerimist tehisintellektil põhinevate tööriistade abil, mille kasutuselevõtt aitaks veelgi vähendada tööjõukulu ja tõsta tootlikkust. Samal ajal peab rakendus tagama sujuva tellimuste

haldamise ja jälgimise administreerimisliidese kaudu, et ettevõtte saaks kogu protsessi jälgida ja juhtida minimaalse käsitöö ja maksimaalse läbipaistvusega.

Eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised alamülesanded:

- Sarnaste olemasolevate lahenduste eeliste ja puuduste kriitiline analüüs;
- Neptune First OÜ tehnoloogiliste ja töökorralduslike võimaluste kaardistamine;
- 3D-printimise tellimiskeskonna funktsionaalsuse kavandamine;
- automaatse hinnakalkulatsioonimooduli väljatöötamine, mis arvestab materjalikulu, printimise ajakulu, energiatarbimist, täidetuse (ingl *infill*) protsenti, seadme amortisatsiooni ja kasumimarginaali;
- kasutajaliidese disainimine lõppkasutaja jaoks, tagamaks intuitiivne ja kiire tellimisprotsess;
- 3D-mudelite eritellimuste vormi loomine;
- admin vaate loomine teenusepakkujale tellimuste haldamiseks ja monitoorimiseks;
- süsteemi arhitektuuri kavandamine vastavalt põhimõtetele, mis tagavad selle laiendatavuse ja hooldatavuse;
- rakenduse testimine, et tagada funktsionaalne terviklikkus ja kvaliteet.

Need alamülesanded on koordineeritud eesmärgiga pakkuda Neptune First OÜ-le terviklik ja äriselt rakendatav digitaalne tööriist, mis võimaldab ettevõttel siseneda uuele turule, tugevdada oma konkurentsipositsiooni ning rakendada maksimaalselt oma olemasolevaid tehnilisi resursse ja inimressursse ka väljaspool hooajalist tootmistsükli. Samal ajal on loodav süsteem üles ehitatud selliselt, et see suudab toetada teenuse jätkusuutlikku toimimist ka olukorras, kus ettevõtte põhitegevusmahud kasvavad. Automatiseeritud hinnakalkulatsioon ja tellimusprotsess vähendavad vajadust klienditoe või eraldi teenindaja järele 3D-printimise tellimuste käsitlemisel, võimaldades teenust pakkuda suuremale kliendibaasile ilma suurema tööjõukulu kasvuta.

1.4 Töö edasine struktuur

Käesolev lõputöö on üles ehitatud loogiliselt järjestatud peatükkidena, mis toetavad seatud uurimis- ja arenduseesmärgi ning sellele vastavate alamülesannete süsteemset käsitlemist.

Töö algab varasema kirjanduse ülevaatega, mille keskmes on 3D-printimise tehnoloogia areng, selle rakendusvaldkonnad ja ärilised mudelid. Lisaks käsitletakse 3D-hinnakalkulatsiooni meetodikaid ja automatiseeritud protsesside rolli kaasaegses ettevõtluses. See loob vajaliku teoreetilise tausta, millele tugineb kogu töö edasine praktiline osa.

Kolmandas peatükis käsitletakse meetodikat, mille raames esitatakse arendatava süsteemi lähteülesanne, tööprotsessi korraldus, kasutatud tehnoloogiaid ning valitud projektijuhtimise lähenemine. Samuti määratletakse funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded, mis kujundavad arendustöö ulatuse ja sisulise fookuse.

Neljandas peatükis kirjeldatakse arendustöö käigus saavutatud tulemusi. Fookuses on loodud veebirakenduse arhitektuur, hinnakalkulatsiooni algoritm, kasutajaliidese ülesehitus ning viilutustarkvara integreerimine. Samuti tuuakse esile kasutajakogemuse disainilahendused ning rakenduse rollipõhine toimimine, toetades sellega seatud tehniliste ja funktsionaalsete eesmärkide täitmist.

Viiendas peatükis viiakse läbi tulemuste analüüs ja järelduste tegemine. Hinnatakse arendatud süsteemi toimivust, kasutajate tagasisidet ja selle vastavust algselt püstitatud eesmärgile. Lisaks tuuakse välja piirangud, arendusprotsessi jooksul ilmnunud kitsaskohad ning esitatakse soovitusel rakenduse edasiseks täiendamiseks ja võimalikeks laiendusvõimalusteks.

2 Varasema kirjanduse ülevaade

Antud peatükk annab ülevaate teemaga seotud varasematest teaduslikest käsitlestest ja rakenduslikest uuringutest, keskendudes 3D-printimise tehnoloogia arengule, ärilistele rakendusmodelitele, hinnakalkulatsiooni meetodikatele ning automatiseeritud protsesside rollile kaasaegses ettevõtluses.

2.1 3D-printimise tehnoloogia ja areng

3D-printimine ehk aditiivne tootmine (ingl *Additive Manufacturing*, AM) on kaasaegne tootmismeetod, mis võimaldab füüsiliste objektide loomist kihthaaval, digitaalse mudeli alusel. Erinevalt traditsioonilistest meetoditest lisab see materjali ainult vajaminevatesse kohtadesse, võimaldades vähendada tootmisjääke ja materjalikulu [2]. Samuti võimaldab 3D-printimine kiiret ja kuluefektiivset tootedisaini katsetamist juba arenduse varases etapis.

3D tehnoloogia areng on viimastel kümnenditel oluliselt kiirenenud – algselt prototüüpimise tööriistana kasutusele võetud 3D-printimist kasutatakse tänapäeval ulatuslikult mitmes tööstusharus, sh meditsiinis, lennunduses, autotööstuses, hariduses ja tarbekaupade tootmises. Materjalide valik on laienenud termoplastidest ja fotopolümeeridest kuni metallide ja biokomposiitideni, võimaldades toota nii funktsionaalseid osi kui ka individuaalseid lahendusi nagu tootenäidised [3]. Uuringud toovad esile, et 3D-printimine soodustab innovatsiooni – võimaldades personaalseid lahendusi, väikeseeriate tootmist ja jätkusuutlikkust, kuna energia- ja materjalikulu on väiksem.

3D-printimise tõhus kasutamine eeldab erialaseid teadmisi ja sobivat juhtimiskeskkonda. Üks levinumaid lähenemisi on sulatava plastsöötmega modelleerimine (ingl *Fused Deposition Modeling*, FDM), mis on aditiivse tootmise meetod, mille puhul sulatatakse termoplastiline filament ning kantakse see kihthaaval alusplaadile vastavalt digitaalsele mudelile. FDM-tehnoloogiat iseloomustab täpselt juhitud tootmisprotsess, mis hõlmab digitaalse mudeli loomist, tükeldamist (ingl *slicing*), printimist ja järeltöötlust. Selline arendusprotsess võimaldab kiiret iteratsiooni ja paindlikku disainimuudatuste tegemist kogu arendustsükli vältel [4].

Kokkuvõttes on 3D-printimine kujunenud tootearenduse lahutamatuks osaks, pakkudes ettevõtetele võimalust suurendada oma kohanemisvõimet, tõsta tootmise paindlikkust ja vähendada kulusid. Just see tehnoloogia loob eelduse tarkade, automatiseeritud ja kliendikesksete lahenduste arendamiseks – mille poole püüdleb ka käesolevas töös loodav veebipõhine tellimisplatvorm.

2.2 3D-printimise ärilised mudelid

3D-printimise tööstus on viimastel aastatel kujunenud oluliseks tehnoloogiliseks platvormiks, mis toetab uute tootmisvormide, tarneahelate ja teenusmodelite arengut. Siiski on ärimodelite kujundamine selles sektoris veel arenemisjärgus – puudub selge arusaam püsivalt kasumlikest ärivormidest ning sageli eksisteerib ebakõla ettevõtte väärtuspakkumise ja klientide ootuste vahel [5]. Just seetõttu on vajadus paindlike, skaleeritavate ja hästi sihitletud äriliste lahenduste järele aktuaalsem kui kunagi varem.

Ärimudel toimib vahendina, mille kaudu ettevõtted määratlevad ja kommunikeerivad oma väärtuspakkumise, loovad ja edastavad väärtust ning haaravad osa loodud väärtusest. 3D-printimise sektoris on ärimudeli keskseteks komponentideks väärtuspakkumine, väärtuse loomine ja haaramine, mille tasakaalustamine määrab teenuse edukuse. Uuringute kohaselt kasutavad ettevõtted neid komponente ühtaegu turupotentsiaali hindamiseks ja konkurentsieeliste loomiseks, sh teenuste isikupärastamine, hinnastamine ja tootmisprotsesside korraldus [6].

Tüüpilised ärimudelid 3D-printimise valdkonnas hõlmavad viit erinevat mustrit: digitaalsed turuplatsid, ühe tehnoloogia spetsialistid, lokaalsed teeninduskeskused, mitme tehnoloogia meistrid ning universaalsed teenusepakkujad. Need mudelid erinevad üksteisest näiteks selles, kuidas nad loovad ja toimetavad väärtust – kas läbi täielikult digitaalse kasutajate vahelise platvormi, või füüsilise poe kaudu, kus klient saab kohapeal teenust kasutada. Ka tulumudelid varieeruvad: mõnes teenitakse peamiselt müügilt, teises lepingulistelt töödest või näiteks rendi ja tellimustasude kaudu [7].

2.3 3D-hinnakalkulatsiooni metoodikad

3D-printimise teenuste hinnakujundus on kompleksne protsess, mida mõjutavad mitmed tehnilised ja majanduslikud tegurid. Nende tegurite analüüs on oluline mitte ainult teenusepakkujate kasumlikkuse tagamiseks, vaid ka tarbijate usalduse ja rahulolu suurendamiseks. Käesolevas peatükis käsitletakse 3D-printimise hinnakalkulatsiooni aluseid, lähtudes olemasolevatest teaduslikest mudelitest ja empiirilistest uuringutest.

2.3.1 Hinda mõjutavad komponendid

Hinna määramisel on võtmetegurid järgmised: kasutatav materjal, printimisele kuluv aeg, toote geomeetiline keerukus, seadme amortisatsioon energiakulu ning seadme omadused (nagu printimiskiirus ja töökindlus). Need tegurid ei mõjuta hinda mitte ainult otseste kulude kaudu, vaid ka läbi süsteemse mõju nõudlusele ja pakkumisele.

Näiteks hinnamudelid, mida on kasutatud võrdõiguslikel 3D-printimise platvormide analüüsis, modelleeritakse hinnakujunemist nii seadme omaniku kui ka teenuse tellija vaatenurgast (ingl *peer-to-peer*). Omanik peab arvestama oma printeri fikseeritud kuludega, potentsiaalse tuluga vaba tootmisvõimsuse pealt ning isiklike kasutusvajadustega. Rentija ehk klient hindab hinna kõrval ka ooteaega ning võimalikke viivitusi, mis võivad vähendada projekti tõhusust või kasumlikkust [8].

Lisaks näitab statistiline analüüs, et kiiremad printerid, kuigi sageli kallimad, suudavad lühendada tarneaega ning vähendada kogukulusid. Samuti on leitud, et materjalikulu võib olla positiivses seoses hinnaefektiivsusega – paremad materjalid võivad esialgu olla kallimad, kuid viivad väiksema vigade arvu ja parema tootekvaliteedini [9].

2.3.2 Platvormipõhised hinnastrateegiad

Uuringud näitavad, et standardtoode läheb kallimaks, kui selle kvaliteet paraneb. Kui aga pakutakse kõrgkvaliteedilist kohandatud toodet, võib standardtoote hind hoopis langeda. Kohandatud toode võib ise kallineda, kui see on kvaliteetne ja tööjõukulud on madalad. Lisaks mängib rolli see, kas platvorm lubab disaineril lisada oma hinnalisa (ingl *partial pricing power*) või määrab kogu hinna ise ja võtab komisjonitasu (ingl *full pricing power*). Näiteks kui standard- ja kohandatud toote kvaliteedivahe on suur, on platvormile kasulikum rakendada komisjonipõhist hinnastrateegiat, mis tagab suurema kontrolli ja kasumi [10].

2.3.3 Järeldus

Kokkuvõttes ei saa 3D-printimise hinna kujunemist taandada ainult materjali-, tööaja- ja tööjõukuludele. Täpne hinnastamine eeldab mitmetasandilist ja läbimõeldud lähenemist, mis võtab arvesse tehnoloogilisi, majanduslikke ja turunduslikke ning operatiivseid tegureid. Automatiseeritud hinnakalkulatsioonisüsteemid, mis arvestavad seadme omadusi, tootmise koormust ja klientide vajadusi, muutuvad järjest olulisemaks tööriistaks, mis aitavad tasakaalustada kuluefektiivsust ja kliendirahulolu.

2.4 Automatiseeritud protsessid ettevõtluses

Automatiseerimine mängib kaasaegses ettevõtluses järjest kesksemat rolli, aidates suurendada tõhusust, vähendada vigade hulka ning võimaldades paremat protsesside jälgitavust ja juhtimist. Uuringud näitavad, et ettevõtted, kes rakendavad kõrgtasemel äriprotsesside juhtimist (ingl *Business Process Management*, BPM), on paremini valmis automatiseeritud lahenduste kasutuselevõtuks. Näiteks tööstusettevõtetes, kus protsessijuhtimine on strateegiliselt integreeritud ja mõõdetav, on täheldatud kõrgemat valmidust Industry 4.0 tehnoloogiate, nagu sensorid ja tööstusrobotid, juurutamiseks [11].

Samas ei piisa automatiseerimise mõjususe tagamiseks ainult tehnoloogiate kasutuselevõttust. Automatiseerimine mõjutab lisaks tehnilistele protsessidele ka töötajate motivatsiooni, oskuste arendamist ja juhtimisotsuseid. Edukaks ja jätkusuutlikuks rakendamiseks on vajalik ühine arusaam automatiseerimise tähendusest organisatsiooni eri tasanditel ning kooskõlastatud lähenemine äriprotsessidele, tehnoloogiale, oskustele ja töötajate kaasamisele [12].

Automatiseerimine ei ole ettevõtetele enam pelgalt konkurentsieelis, vaid muutunud ellujäämise tingimuseks kiiresti arenevas majanduskeskkonnas. Tõendusmaterjal näitab, et kõrgel tasemel äriprotsesside juhtimine loob soodsad eeldused automatiseerimise edukaks rakendamiseks. Samal ajal ei tohi tähelepanuta jätta inimfaktorit – töötajate valmisolekut, motivatsiooni ning oskuste sobivust uute lahendustega. Seetõttu peab automatiseerimine olema integreeritud ettevõtte üldisesse juhtimis- ja arendusstrateegiasse, kaasates nii tehnoloogilised kui ka organisatsioonilised tegurid terviklikku lähenemisse.

3 Metoodika

Selles peatükis antakse ülevaade objekti olemusest, projekti metoodilisest alusest, olemasolevate lahenduste võrdlustabelist ning arenduses kasutatud tööriistadest, tehnoloogiatest ja raamistikest. Seejärel selgitatakse, kuidas rakendati teoreetilisi arhitektuuripõhimõtteid ja agiilset arendusprotsessi Kanban-metoodika alusel. Lisaks käsitletakse, kuidas toomis meeskonnasise koostöö, testimine ja versioonihaldus kogu arendustsükli jooksul.

3.1 Objekti detailne kirjeldus

Bakalaureusetöö raames töötasid autorid välja veebipõhise 3D-teenuste rakenduse, mis koondab Neptune First OÜ poolt pakutavad 3D-printimise teenused ühtsele platvormile ning kus fookuseks on automaatne hinnakalkulatsioon. Rakendus kasutab hinnamudelit, mis põhineb tootmiskuludel ja kliendi määratud sisendväärtustel. Veebirakendus projekteeriti vastavalt tellijaks olnud idufirma ettevõtte konkreetsetele vajadustele, kuid selle funktsionaalsust laiendati autorite initsiatiivil täiendavate võimalustega.

Lõplik lahendus koosneb neljast põhikomponendist: serveripoolne loogika ehk tagaarendus, PrusaSlicer-moodul, kasutajaliides ning andmebaas, mis on kontaineriseeritud Docker-keskkonnas. Arenduses kasutatud tehnoloogiaid ja raamistikke valiti lähtudes autorite varasematest teadmistest ja praktilistest kogemustest infosüsteemide arendamise kursustel.

Tööriistade ja tehnoloogiate valikul eelistati lahendusi, mis toetasid tõhusat arendusprotsessi, süsteemi visualiseerimist ning tootejuhtimise struktureeritud korraldamist.

3.2 Projektitöö metoodiline alus

Projekt algas olemasolevate lahenduste analüüsiga, et mõista turul pakutavate 3D-printimiste funktsionaalsusi, automatiseerituse taset ja kasutusmugavust. Selle põhjal sai

selgeks, milliseid lahendusi võiks arendatavas rakenduses kasutusele võtta ja milliseid kitsaskohti vältida. Järgmise sammuna kaardistati kliendi olemasolevad tehnoloogilised võimalused ning muud töökorraldust mõjutavad aspektid nagu töögraafik ja ressursid. Kohtumiste käigus analüüsiti süvitsemalt ettevõtte käsutuses olevaid töövahendeid: 3D-printerid, filamendid ning printimiseks ja modelleerimiseks kasutatavad rakendused. Seejärel koguti kokku funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded, mille põhjal loodi Jira keskkonnas projekt. Projekti juhtimisel kasutati iteratiivset arendust, täpsemalt Kanbani meetodit, mis hoidis struktuuri ja tagas töö järjepidevuse, kuid võimaldas samal ajal individuaalset ajaplaneerimist. Kanban on osutunud tõhusaks lähenemiseks ka tootmisprotsessides, aidates vähendada ressursside raiskamist, lühendada töötsükleid ja tõsta süsteemi paindlikkust [13]. Igakuiselt esitleti kliendile vaheversioone, et rakenduse täiendamine oleks efektiivne. Veebirakenduse loomiseks alustati kasutajaliidese prototüübi koostamise ja hinnakalkulaatori implementeerimisega, kuna see võimaldas varakult koos kliendiga valideerida nii rakenduse tuumikfunktsionaalsust kui ka kasutajakogemust.

3.3 Olemasolevate lahenduste analüüs

Enne uue 3D-printimise hinnakalkulaatori arendamist oli vajalik kriitiliselt analüüsida olemasolevaid lahendusi nii Eestis kui ka rahvusvahelisel turul, keskendudes eelkõige sellele, kuivõrd automatiseeritud need on. Vaatamata sellele, et kõik teenused kuuluvad 3D-valdkonda, puudub mitmetel neist igasugune reaajas kalkulatsioon või automatiseeritud tellimisprotsess. Alljärgnev võrdlus toob täpsemalt esile nende süsteemide eelised ja puudused ning põhjendab, miks on vajadus uue, tõeliselt automatiseeritud lahenduse järele (vt Tabel 1). Kui veebirakendus täidab funktsionaalsust, on lahtrisse märgitud „✓” ning kui ei täida, on lahter jäetud tühjaks. Lahtrisse on märgitud „?”, kui töö autorid ei suutnud kindlaks määrata, kas antud funktsionaalsus on täidetud.

Hinnatati järgnevaid veebirakenduste omadusi:

1. Kasutajaliides - Intuiitiivne ja kiire kasutajaliides, et tagada sujuv kasutajakogemus.
2. Materjalide ja tehnoloogiate valik - Toetab laia materjalide ja tehnoloogiate valikut.

3. Visualiseerimine - Toetab mudeli visualiseerimist.
4. Geomeetria analüüs - Võimaldab geomeetria analüüsi.
5. Manuaalne mõõtmete määramine - Võimaldab manuaalselt mudeli mõõtmeid muuta või määrata.
6. Viimistlusvõimalus - Ettevõtte pakub viimistlusvõimalusi.
7. Ühe detaili hinnakalkulatsioon - Reaalajas hinnakalkulatsioon ühe detaili kohta.
8. Mitme detaili hinnakalkulatsioon - Reaalajas hinnakalkulatsioon mitme detaili kohta, kusjuures hind ei kasva ega kahane lineaarselt.
9. Hinnakalkulatsioon ja tellimine - Reaalajas hinnakalkulatsioon ja tellimine ilma hinnapäringut esitamata.
10. Kindlate koguste lõpphinna kuvamine - Lõpphind kuvatakse automaatselt erinevate koguste kohta (näiteks 1, 10, 20, 100 detaili hind).
11. Hinna vorm – Esimese hinnapäringu või -kalkulatsiooni tegemiseks tuleb täita vastav vorm.
12. Hinnapäring ettevõttele - Lõpliku hinnapakumise saamiseks tuleb ettevõttele esitada hinnapäring.
13. Automatiseerimata hinnakalkulatsioon - Hinnakalkulatsiooni protsess ei ole automatiseeritud, hinnapäringu saab esitada e-maili, telefoni või kodulehel oleva vormi kaudu.
14. Rahvusvaheline turg - Teenus on suunatud rahvusvahelisele turule, kus võivad kaasneda kõrged transpordi- ja ajakulud, impordimaksud jms kulud.

Kriteeriumid valiti lähtudes eesmärgist arendada 3D-printimise teenuse rakendus, mis võimaldab teenuse pakkumist ilma otsese ettevõtte ning kliendi vahelise suhtluseta, olles samas efektiivne ja kasutajasõbralik. Kõik valitud tegurid, nagu intuitiivne kasutajaliides, materjalide ja tehnoloogiate valiku toetus, geomeetria analüüsi ja visualiseerimise võimalus, automatiseeritud hinnakalkulatsioon ja tellimisprotsess, on oluliseks osaks rakenduse funktsionaalsuse tagamisel.

Tabel 1. Arendatud teenuse eelised ja puudused võrreldes analüüsitud lahendustega.

	3DKoda	Voltr ide	Baltal	Shape ways	Protolabs Network	Sculpteo	Autorite arendatud rakendus
1.	✓			✓	✓	✓	✓
2.	✓	✓	?	✓	✓	✓	✓
3.	✓			✓	✓	✓	✓
4.	?			✓	✓	✓	✓
5.	✓			✓	✓	✓	
6.				✓	✓	✓	
7.	✓			✓	✓	✓	✓
8.					✓	✓	✓
9.				✓	✓	✓	✓
10.						✓	
11.	✓	✓		✓	✓	✓	✓
12.	✓	✓	✓				
13.		✓	✓				
14.				✓	✓	✓	

.

Analüüsi käigus selgus, et olemasolevad lahendused, nii kohalikud kui ka rahvusvahelised, pakuvad erinevaid funktsioone ja teenuseid, kuid neil on omad piirangud:

- Kalkulaatsioonis ei arvestata koguse muutmist ega pakuta täpset lõplikku hinda ilma manuaalse suhtluseta;
- Hinnapäringu esitamiseks tuleb see saata e-posti teel (või helistada teenusepakkujale), mis võib olla aeganõudev ja ebamugav;
- Välismaised platvormid võivad pakkuda laia valikut teenuseid, kuid Eesti klientidele võivad need olla vähem ligipääsetavad keelebarjääri, pikemate tarneaegade ja saاتمiskuludest või maksudest tulenevate kõrgete hindade tõttu.

Kõiki analüüsitud eestimaiseid teenusepakkujaid ühendab ühine joon - lõpliku printimise maksumuseks peab kasutaja saatma ettevõttele hinnapakumise.

3.3.1 Analüüsi implementeerimine

Ülevõetud ideed:

1. Automaatne hinnakalkulatsioon

Üks olulisemaid teenusekvaliteedi elemente, mida autorid teiste teenusepakkujate puhul hindasid, oli reaajas kalkulatsiooni olemasolu. See lahendus pakub kasutajale kohest tagasisidet hinna osas, vähendab vajadust manuaalse suhtluse järele ning muudab tellimise mugavamaks. Autorite esmane analüüs keskendus Eesti turule, mille raames hinnati kõigepealt 3DKoda [14] veebiplatvormi funktsionaalsust ja kasutajakogemust. Positiivse aspektina toodi välja, et 3DKoda kalkulaator võimaldab kiiresti määrata hinna, sisaldades seejuures kõiki vajalikke sisendparameetreid, mis on hinnastamise aluseks (Joonis 41, Lisa 4).

Järgmisena uuriti rahvusvahelisi teenusepakkujaid nagu Shapeways [15], Protolabs Network [16] ja Sculpteo [17] (Joonis 44-46, Lisa 4). Võrreldes 3DKoda lahendusega osutusid need platvormid kavandatavale rakendusele funktsionaalselt lähedasemaks, võimaldades kasutajal saada automaatne ülevaade lõplikust teenuse maksumusest. Autorite jaoks oli oluline, et lõpliku hinna arvutamisel säiliks maksimaalne täpsus, seda ka olukordades, kus printitavate detailide kogus suureneb või väheneb. Hinnakujundus ei tohiks sel juhul põhineda lineaararvutusel, vaid peaks arvestama ka tootmismahu optimeerimisega.

Seega peeti Protolabs Network'i ja Sculpteo lahendusi kõige sobivamateks võrdlusmodeliteks. Nendes veebirakendustes kasutatav hinnakalkulatsiooni loogika vastas autorite hinnangul kõige paremini projekti seatud eesmärkidele ning toetas soovitud automatiseerituse ja hinnatäpsuse saavutamist.

2. Hinnakalkulaatori disain ja kasutajakogemus

Hinnakalkulaatori kujundamisel võeti eeskujuks 3DKoda veebirakendus, sest autorite eesmärk oli luua kasutajasõbralik keskkond. Samal ajal peeti oluliseks tagada, et kasutaja poolt sisestatav informatsioon oleks teenusepakkujale edastamiseks terviklik.

3DKoda eelis välismaisete teenusepakkujate ees seisnes hinnakalkulaatori lihtsuses – see küll eeldas vähem sisendparameetreid ja pakkus piiratumalt modifitseerimisvõimalusi võrreldes näiteks Protolabs Network-i või Sculpteo-ga, kuid võimaldas sellegipoolest kliendil saada piisava hulga informatsiooni teenuse umbkaudse maksumuse arvutamiseks.

Välditud ideed:

1. Hinnapäringu saatmine hinna saamiseks

Läbi viidud analüüs tõi esile Eesti turul olevate teenusepakkujate (3DKoda, Baltal [18] ja Voltride [19]) olulise puuduse – hinnakalkulatsiooni täieliku automatiseerituse puudumise. Lõpliku teenuse maksumuse saamiseks on klientidel reeglina vajalik esitada teenusepakkujale hinnapäring. Kuigi 3DKoda veebilehel on võimalik sisestada detaili parameetrid ja saada esialgne hind ühe ühiku kohta, ei arvesta kalkulaator koguste, materjalide või tehnoloogia muutmise mõjuga lõpphinnale piisavalt täpselt. Selle tulemusel erineb lõpphind päringu esitamisel. Baltal ja Voltride veebiplatvormidel puudub aga igasugunegi hinnakalkulaatori lahendus, mistõttu peavad kasutajad hinna saamiseks võtma teenusepakkujatega (Baltal) ühendust e-posti, telefoni teel (Joonis 42, Lisa 4) või täitma veebilehel oleva hinnapäringu vormi, sarnaselt Voltride lahendusele (Joonis 43, Lisa 4).

Võrreldes automatiseeritud hinnakalkulatsiooni lahendustega, muudab selline hinnapäringu protsess teenuse kasutamise oluliselt aeganõudvamaks ja vähem mugavaks ning läbipaistmatuks. Seetõttu ei peetud otstarbekaks antud veebilehtede lahendusi käesoleva rakenduse arendamisel eeskujuks võtta.

2. Kohalik teenus

Teenuse sihiks on Eesti turg, eesmärgiga pakkuda kohalikele klientidele kiiret, mugavat ja kuluefektiivset lahendust. Arendatava rakenduse üheks oluliseks eeliseks on just kohaliku turu spetsiifika arvestamine, sealhulgas rahvusvahelistele teenustele omaste lisakulude vältimine. Välismaiste platvormide puhul võivad lõpphinda märgatavalt suurendada transporditasud, impordimaksud ning lisatasud täiendavate teenuste eest.

Analüüsitud rahvusvahelised teenusepakkujad – Shapeways, Protolabs Network ja Sculpteo – toovad selle probleemi hästi esile. Näiteks lisab Shapeways tellimusele 25,40 USA dollari suuruse saatmiskulu ning võimaldab lisatasu eest printimise kiirendamist; samuti lisandub hinnale käibemaks. Protolabs Networkis algab saatmiskulu 15 eurost, millele lisandub kohustuslik valik kolme tootmiskiiruse vahel, millest igaüks kaasneb erineva maksumusega. Lisaks rakendatakse minimaalset tellimuse väärtust. Sculpteo puhul arvestatakse samuti käsitlustasu, saatmiskulu ja käibemaksu.

Sellises kontekstis võimaldab kohalik teenus pakkuda oluliselt konkurentsivõimelisemat hinda, välistades tarbetud logistikakulud ja vältides tellimustele lisanduvaid maksusid. Seetõttu tugevdab arendatav lahendus oma positsiooni Eesti turul just tänu madalamale hinnatasemele ja suuremale läbipaistvusele.

Arendatud veebirakenduse eeliseks on täielik automatiseeritus. Kasutaja saab üles laadida STL faili, valida materjali, printimise tehnoloogia, koguse ja muud olulised parameetrid, ilma et oleks vajalik ettevõtte poolse töötaja sekkumine. Kalkulatsioon toimub automaatselt, põhinedes mudeli geomeetrilistel omadustel, valitud materjali ja tehnoloogia hinnal, kogusel ning printimise keerukusel.

Oluline eelis on, et koguse muutmisel ei muutu hind lineaarselt – hind arvutatakse valemi abil, mis arvestab mudeli geomeetrilisi omadusi ja keerukust, printeri omadusi ning muid olulisi tegureid, mis mõjutavad lõpphinda. Selle tulemusena saab klient koheselt täpse lõpphinna ning soovikorral esitada tellimuse. Selline lahendus muudab teenuse turul olevate pakkujatega tunduvalt kiiremaks ja mugavamaks, sest puudub hinnapakkumise ootamisele kuluv aeg - hind kuvatakse kasutajale koheselt peale kalkulatsiooni lõppemist (Joonis 10, Lisa 2).

Rakenduse lahendus rõhub ka mugavale ja intuitiivsele kasutajakogemusele ning samuti ettevõtte poolse inimressursi vähendamisele - puudub hinna kinnitamise komponent teenusepakkuja poolt.

Vaatamata paljudele täidetud eelistele ja mõningatele puudustele on arendatud rakendusel ka funktsioone, mis on hetkel täitmata või vajavad täiendavat arendamist. Üks nendest on võimalus määrata või muuta mudeli mõõtmeid (Joonis 41, Lisa 4). See funktsioon jäi täitmata keerukuse tõttu, kuna manuaalne mõõtmete määramine eeldab suuremat kasutaja oskuste arvestamist ning arenduse ja testimise täiendavat panust. Välja arendati geomeetria analüüsi funktsionaalsus, mis võimaldab kontrollida mudeli täpsust ning tuvastada võimalikke vigu. Siiski võib manuaalne andmesisestus viia mõõtmisvigadeni, kuna iga detail tuleb kasutajal eraldi läbi mõelda ja käsitsi sisestada. Funktsioon on autoritel plaanis lisada esmajärjekorras.

Rakenduses puudub hetkel ka viimistlusvõimaluse tellimusele lisamise funktsioon, kuna teenusepakkuja, kellele süsteem loodi, ei paku hetkel viimistlusteenuseid (Joonis 44, Lisa 4). Viimistlus tähendab 3D-prinditud detaili mehaanilist või keemilist töötlemist pärast printimist, et parandada selle pindade siledust, tugevust või esteetilist väljanägemist. Tavapäraseks viimistlusviisideks on lihvimine, poleerimine, värvimine, kuumtöötlus või katmine spetsiaalsete kihtidega. Kuigi see funktsioon jäi esialgsest arendusetapist välja, saab selle vajaduse korral hiljem lisada kalkulatsioonimoodulisse – eeldusel, et ettevõtte otsustab teenust pakkuma hakata.

Lisaks jäi rakendusest välja ka funktsionaalsus, mis võimaldaks automaatset lõpphindade kuvamist erinevate koguste puhul. Eesmärk oleks arendada hinnakalkulaatorit selliselt edasi, et kasutaja saaks ühe päringuga ülevaate, milline oleks lõpphind näiteks 1, 5, 10 või 20 ühiku tellimisel (Joonis 46, Lisa 4). See võimaldaks kasutajal võrrelda ühikuhindu eri mahtude juures, hinnata koguse mõju hinnale ning teha kuluefektiivsemaid tellimisotsuseid. Tegemist on tehniliselt lihtsasti lisatava funktsiooniga, mille implementeerimine on kavandatud edasise arendusetapi prioriteetide hulka.

3.4 Tööriistad

Selles peatükis esitletakse töö käigus kasutatud tööriistu ja tehnoloogiaid ning selgitatakse nende rolli arendusprotsessi eri etappides.

Tarkvaraarendusprojektide edukus sõltub suures osas valitud tööriistadest ja tehnoloogiast, mis toetavad meeskonna töövoogu, võimaldavad süsteemset koostööd

ning tagavad arenduse tõhususe ja kvaliteedi. Käesolevas töös rakendati mitmeid kaasaegseid arendus-, testimis-, disaini- ja projektijuhtimise tööriistu, mis võimaldasid meeskonnal luua toimiva, skaleeritava ning kasutajasõbraliku veebirakenduse. Järgnevalt kirjeldatakse kasutatud tehnoloogilisi vahendeid ning nende rolli süsteemi erinevates arendusetappides, alates koodikirjutamisest ja liidesedisainist kuni testimise ja versioonihalduseni.

3.4.1 Programmeerimiskeeled ja raamistikud

Antud töö autorid kasutasid veebirakenduse arendamiseks Microsoft Visual Studio Code'i. Üks meeskonnaliige lõi projekti ning teine kloonis selle endale. Nii tagarakendus kui ka kasutajaliides loodi ühe projektina. Tagarakendus arendati C# programmeerimiskeeles ning .NET raamistikus. Kasutajaliides ehitati üles TypeScript programmeerimiskeeles ja Vue.js raamistikus. Andmebaasiks valiti PostgreSQL andmebaas.

3.4.2 Tehnoloogiad

Tagarakenduse ja kasutajaliidese vahel kasutati HTTP protokoll ja REST-i liideseid. Liideste dokumentatsiooni puhul kasutati OpenApi ja SwaggerUI tööriistu. Kuigi andmebaasi kohe alguses ei kasutatud, võeti hilisemas arendusfaasis kasutusele PostgreSQL, mille haldamiseks kasutati PgAdmini.

3.4.3 Viilutustarkvara

Käesolevas töös oli hinnakalkulaatori rakendamiseks vajalik viilutustarkvara (*sliceri*) liidestamine serveripoolsesse töövoogu, et võimaldada automaatne G-koodi genereerimine sisendmudelite põhjal. Arendusprotsessi alguses katsetati viilutustarkvarana OrcaSlicer'it [20], kuna see pakkus kaasaegset kasutajaliidest ning mitmeid täiustatud funktsioone. Siiski selgus, et OrcaSlicer ei olnud sobiv, kuna selle CLI-liides (ingl *Command Line Interface*) oli piiratud ning ei võimaldanud sujuvat integreerimist serveripoolse töövooga, mis oli vajalik automaatseks hinnakalkulatsiooniks.

Lõplikuks valikuks osutus PrusaSlicer, eelkõige kahel põhjusel: esiteks sisaldas see valmis konfiguratsioonifaile just sellele printerimudelile, mida ettevõtte igapäevaselt kasutab; teiseks toetas PrusaSlicer täielikult käsurea kaudu juhtimist, võimaldades

automatiseeritud G-koodi genereerimist ilma kasutajapoolse sekkumiseta. Just see funktsionaalsus oli võtmetähtsusega, et lõplik hinnakalkulatsioon toimiks iseseisvalt taustateenuses.

Lisaks praktilisele sobivusele toetab PrusaSlicer'i kasutamist ka teaduslik uurimus, milles võrreldi mitme viilutustarkvara mõju 3D-printimise tootmisomadustele, sealhulgas printimisaja ennustuse täpsust, mõõtmelist täpsust ja pinna kvaliteeti. Uuringus leiti, et PrusaSlicer saavutab parima tulemuse, kui prioriteediks on väikeste mõõtmetäpsuse hälvete vältimine just detaili paksuse puhul, samas kui teised tarkvarad, nagu Ultimaker Cura, olid täpsemad pikkuse või laiuse osas [21]. Seega sobib PrusaSlicer ideaalselt olukordadesse, kus hinnakalkulatsioon peab tuginema täpselt prognoositavale materjalipaksusele ja mahule, mille alusel arvutatakse kulupõhine lõpphind.

3.4.4 UX/UI Disain

Projekti meeskonna esimesi ülesandeid oli kujundada kasutajaliides, et saada varakult tagasisidet kliendilt. Hästi kujundatud kasutajaliides (ingl *User Interface, UI*) muudab digitaalse toote visuaalselt atraktiivseks, intuitiivseks ja lihtsasti navigeeritavaks, samas kui hästi läbimõeldud kasutajakogemus (ingl *User Experience, UX*) tagab, et kasutaja kogeb positiivset elamust kogu oma teekonna vältel – alates toote avastamisest kuni selle kasutamise ja toe saamiseni. Hästi disainitud veebirakendus võib suurendada kasutaja rahulolu ning kasvatada lojaalsust [22]. Disainimiseks kasutati Figma keskkonda, mis on UX/UI disainerite põhiline tööriist.

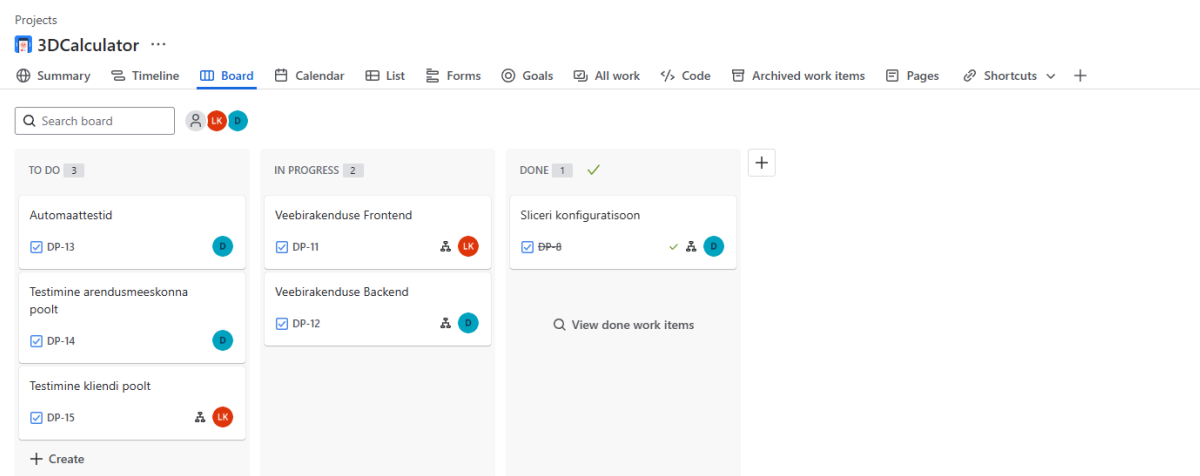
3.4.5 Versioonihaldus

Versioonikontrollsüsteemiks valiti GitLab, kus hallati projekti repositooriumi ning kasutati CI/CD funktsionaalsust tarkvara testimise ja koodikontrolli automatiseerimiseks enne muudatuste liitmist põhiharuga. Selleks loodi GitLabis *pipeline*, mis koosnes kolmest etapist – build, unit-test ja test. Iga kord, kui muudatus prooviti ühendada põhiharusse, ehitati rakendus konteinerkeskkonnas, käivitati ühiktestid ning Postmani abil integratsioonitestid. Kui mõni etapp ebaõnnestus, takistas GitLab'i seadistus muudatuse liitmist põhiharuga, kuni probleem oli lahendatud ja *pipeline* edukalt läbitud.

3.4.6 Projektijuhtimine

Toote edukaks valmimiseks antud ajaraamistikus kasutati projektijuhtimise tööriistana Jira-t. Jira on tarkvaraarenduses laialdaselt levinud tööriist, mida hinnatakse selle funktsionaalsuse ja kasutusmugavuse poolest. Projekti autorid leidsid, et Jira varasem kasutuskogemus ning selle võimalused pakuvad olulist tuge meeskonnatöö ja projekti haldamisel.

Projekt struktureeriti ülesanneteks (ingl *issues*) millest igaüks esindas suuremat töövaldkonda või süsteemi komponenti (Joonis 1).



Joonis 1. Jiras loodud projekti kanban board.

Iga osa alla loodi alamülesanded (ingl *child issues*), mis võimaldasid töö veelgi täpsemateks ülesanneteks lahti lüüa. Selline ülesannete hierarhiline jaotus tagas detailse ülevaate projekti hetkeseisust, lihtsustas ülesannete delegeerimist ning suurendas läbipaistvust meeskonnaliikmete vahel (Joonis 2).

✎ Add epic / ☒ DP-12

Veebirakenduse Backend

+ Add @ Apps

Description
Veebirakenduse backend tuleks luua eelisjärjekorras. Sellele sisu omab tähtsamat väärtust.

Child work items 70% Done

T...	Key	Summary	P...	A...	Status
	DP-28	Kalkulaatori ülesehitus	=		DONE
	DP-29	Faali üleslaadimine	=		DONE
	DP-30	Filamentide valik	=		DONE
	DP-31	Hinna tagastamine valemi järgi	=		DONE
	DP-32	Printimine	=		TO DO
	DP-33	Admin vaate loomine	=		DONE
	DP-34	Tellimuse salvestamine	=		DONE
	DP-35	Tellimuse edastamine teenusepakkujale (Admin vaade)	=		IN PROGRESS
	DP-40	Sisse logimine	=		DONE
	DP-41	Registreerimine	=		TO DO

Details

Assignee: delis.pajuri
[Assign to me](#)

Labels: None

Parent: None

Team: None

Development: [Create branch](#) [Create commit](#)

Reporter: liisbeth kesamaa

Automation ⚡ Rule executions

Created 3 April 2025 at 13:03
Updated 3 April 2025 at 13:03 [Configure](#)

Joonis 2. Child issue'de nimekiri koos täitjate ja olekuga.

Jira töövoog võimaldas kõigil osapooltel jälgida projekti arengut reaalajas, näha ülevaadet realiseeritud ülesannetest ja teha vajadusel paindlikke muudatusi tööülesannete jaotuses ning ajakavas (Joonis 3).

Projects

3DCalculator ...

Summary Timeline Board Calendar List Forms Goals **All work** % Code Archived work items Pages Shortcuts +

Basic JQL Search work Project = 3DCalculator Assignee Type Status Status Category = Done X More filters Clear filters Save filter

Created Filamentide kataloog DP-28 Tell print DP-29 Tell mudel DP-30 Hinnakalkulaator DP-31 Avalaht DP-36 Veebirakenduse prototüüp DP-9 Slicer konfiguratsioon DP-8

DP-12 / DP-40

Sisse logimine

+ Add @ Apps

Description
Add a description...

Activity All Comments History Work log

Add a comment...

Looks good! Need help? This is blocked... Can you clarify...? This is on track

Pro tip: press **M** to comment

Details

Assignee: liisbeth kesamaa

Labels: None

Parent: ☒ DP-12 Veebirakenduse Backend

Development: [Create branch](#) [Create commit](#)

Reporter: liisbeth kesamaa

Automation ⚡ Rule executions

Created last week
Updated last week
Resolved last week [Configure](#)

Joonis 3. „Done“ staatuses olevate ülesannete nimekiri.

3.4.7 Testimine ja tulemuste valideerimine

Tehnilise töökindluse tagamiseks testiti veebirakendust mitmel tasandil. Arendusprotsessi algfaasis kasutati API-liideste testimiseks Swaggeri keskkonda, kus teostati manuaalseid teste, kontrollides lõpp-punktide toimimist erinevates olukordades. Projekti edenedes ja uute komponentide lisandumisel kasvas lõpp-punktide hulk märkimisväärselt, muutes manuaalse testimise ajamahukaks ja ebaefektiivseks. Selleks täiendati testimisprotsessi Postman'i automaattestidega, mis võimaldas süstemaatiliselt valideerida rakendusliidese lõpp-punkte ning nende vastuseid erinevates stsenaariumites.

3.5 Infosüsteemi arendusprotsessi kirjeldus

Projekti arendati kaheliikmelises meeskonnas, mis tõi kaasa teatud piirangud nii arendustöö ulatuse kui ka agiilsete praktikate rakendatavuse osas. Kuna Scrum-metoodika eeldab tavaliselt vähemalt viieliikmelist meeskonda [23], osutus selle metoodika täielik järgimine antud kontekstis ebapraktiliseks. Seetõttu valiti arenduse juhtimiseks Kanban meetod, mis võimaldas hoida selget ülevaadet tööülesannetest ja arendusetappidest, pakkudes samal ajal paindlikkust ajaplaneerimisel. Kuna projekt valmis konkreetse klienditellimuse alusel, rakendati ka tootejuhtimise põhimõtteid, et tagada arendustööde ajakohane ja sihipärane teostus [24]. Meeskonnatöö tõhusust toetasid autorite varasemad kogemused paarisprogrammeerimisest bakalaureuseõpingute käigus, mille tulemusel oli välja kujunenud sujuv ja tasakaalustatud tööülesannete jaotamise praktika.

3.5.1 Skoop

Projektijuhtimismetoodika valikul on oluline arvestada meeskonna suurust, töö ulatust ja arenduskeskkonna muutlikkust. Käesolevas töös otsustati rakendada Kanban meetodit, kuna selle voopõhine ja paindlik iseloom sobis paremini väikese, kaheliikmelise arendustiimi vajadustega ning vastas kliendikeskse projekti dünaamilisele olemusele. Erinevalt Scrumist, mis eeldab kindlaksmääratud iteratsioone ja piiratud muudatusvõimalusi sprint'ide vältel, võimaldab Kanban integreerida tööprotsessi jooksvaid muudatusi ja ümberprioriseerimisi [25]. Kuna veebirakendus tuli luua täiesti nullist ning klient esitas uusi nõudeid kogu arenduse vältel, võimaldas Kanban metoodika

arendusmeeskonnal efektiivselt reageerida muutustele. Tööprotsessis keskenduti esmalt kõrge prioriteediga ülesannetele, mis võimaldas tagada lahenduse stabiilsuse ja kvaliteedi, samal ajal säilitades paindlikkuse täiendavate funktsionaalsuste arendamiseks vastavalt olemasolevatele ressurssidele.

3.5.2 Töövoog

Veebirakenduse arenduse töövoog koosnes järgnevatest punktidest:

1. **Analüüs ja nõuete kogumine** - projekti algfaasis keskendus arendusmeeskond koostöös juhendajaga arendustegevuse põhieesmärkide ning võtmeetappide määratlemisele. Selle raames viidi läbi esmane tehnoloogiline analüüs, mille tulemuseks oli sobivate tarkvaraplatvormide, raamistike ja programmeerimiskeelte valik, lähtudes nii projekti sisust kui ka meeskonnaliikmete olemasolevast kompetentsist. Järgnenud faasis koguti tellija, Neptune First OÜ poolt esitatud nõuded ning viidi läbi arendusmahu täpsustus. Selles protsessis määratleti süsteemi funktsionaalne ulatus, piiritleti skoop ning välistati mittevajalikud funktsionaalsused. Kogutud nõuded struktureeriti dokumenteeritult ning kooskõlastati tellijaga.
2. **Ülesannete jagamine** - tööjaotus toimus vastavalt autorite tehnilistele eelistustele ja pädevustele, eesmärgiga tagada võrdselt sisuline panus. Mõlemale arendajale anti võimalus töötada nende jaoks huvipakkuvate valdkondadega. Lisaks individuaalsele panusele tehti tihedat koostööd ülesannete puhul, mis olid mahukad või tehniliselt keerukad. See võimaldas tugevdada meeskonnasisest sünergiat ja tõhustada probleemide lahendamist.
3. **Arendus** - arendusprotsess algas hinnakalkulaatori mooduli väljatöötamisega, kuna see moodustas projekti tuumiku ning oli tehnoloogiliselt üks uuenduslikumaid komponente. Arendustöös rakendati iteratiivset lähenemist, mis võimaldas lahendusi arendada ja täiustada järk-järgult, tuginedes pidevale tagasisidele. Selline lähenemine vähendas riski, et suuremahulised probleemid ilmneksid alles lõppfaasis. Iteratiivide puhul ei viidud läbi väga tihedaid koosolekuid, kuna meeskonnaliikmete vaheline suhtlus toimus jooksvalt Microsoft Teams'i ja Facebook Messenger'i kaudu, tagades kiire info liikumise.

- a. **Testimine** - arenduse käigus viidi testimine läbi paralleelselt arendustööga, et tuvastada ja lahendada probleemid varajases faasis. Iga olulisema funktsionaalsuse valmimisel kontrolliti selle töötavust lokaalselt ning seejärel integreeriti see ühisesse koodibaasi. Muudatuste liitmine oli seotud CI/CD protsessiga, mis käivitas automaatselt testid ja valideeris muudatuse tehnilise korrektuse. Lisaks sellele kontrolliti funktsionaalsust manuaalselt arenduskeskkonnas ning kaasati testimisse ka sihtkasutajad, et hinnata lahenduse sobivust reaalses äristenaariumides.
4. **Koodi ülevaatus** - koodi ülevaatus kujunes arendusprotsessi lahutamatuks osaks, mängides olulist rolli arendatava tarkvara tehnilise kvaliteedi tagamisel. Iga arendusülesande valmimisel teavitasid projekti liikmed teineteist koodi valmimisest ning laadisid vastava muudatuse üles Git'i repositooriumisse. Lisaks toimus pidev infovahetus arenduse edenemise ja väiksemate muudatuste osas. Igapäevane tehniline suhtlus toimus peamiselt Facebook Messenger'i vahendusel, samas kui põhjalikumad koodikatsed, tööetappide ülevaated ja visuaalsed demonstratsioonid viidi läbi Microsoft Teams'i keskkonnas. Tagasiside andmine oli tihe ja struktureeritud, mis võimaldas arendusprotsessi dünaamiliselt kohandada. Tõrgete või tehniliste probleemide ilmnemisel toimus nende kohene jagamine, et tagada meeskonnasisene tugi keerukamate ülesannete lahendamisel. Arenduse käigus järgiti põhimõtet, et kõik repositooriumisse lisatavad muudatused on loogiliselt struktureeritud ja selgitavate kommentaaridega.
5. **Retrospektiiv** - arendusprotsessi jooksul rakendati töövoo juhtimiseks Kanban metoodikat, mis võimaldas ülesannete visuaalset jälgimist ja nende prioriseerimist vastavalt arenduse hetkeseisule. Kuigi klassikalisi iteratsioone (ingl *sprint*) ei defineeritud, toimusid regulaarsed meeskonnakoosolekud retrospektiivi põhimõtteid järgides iganädalaselt või vahel üle nädala. Nendel aruteludel hinnati tehtud tööde kulgu, analüüsiti kasutatud arendusvõtteid ja otsiti parenduskohti, keskendudes lahenduste toimivusele ja meeskonnasisesele koostööle. Lisaks määratleti uued arendusprioriteedid ning vajadusel kohandati lähenemisviise vastavalt senistele kogemustele. Selline pidev tagasisidestamine ja metoodiline enesehindamine võimaldas hoida arendusprotsessi paindlikuna, ennetada

võimalikke probleeme ning toetada meeskonna ühtset arusaama projektieesmärkidest kogu arendusperioodi vältel.

3.5.3 Rollid

Veel üheks Kanbani metoodika praktiliseks eeliseks antud projekti kontekstis oli rollide paindlik käsitlemine. Kuna metoodika ei eelda fikseeritud rollijaotust, võimaldas see meeskonnal dünaamiliselt jaotada ülesanded vastavalt hetkeseisule, individuaalsetele huvidele ja oskustele. Selline lähenemine tagas autorite tasakaalustatud panuse ning lõi võimaluse rakendada ja arendada varasemaid tehnilisi teadmisi erinevates funktsionaalsetes valdkondades. Tööülesannete keerukusest tulenevalt toimus mitmel juhul tihe koostöö, mis võimaldas komplekssemate probleemide lahendamisel kasutada mõlema meeskonnaliikme teadmisi. Samuti katsetasid autorid arenduse käigus teadlikult rolle, mis ei olnud neile varem tuttavad, et laiendada oma pädevusvaldkonda ja suurendada projektis omandatud kogemuste mitmekesisust.

3.5.4 Strateegia

Töö autorid otsustasid ühiselt arenduse strateegiana rakendada Kanban metoodikat [26], mis optimeerib töövooge ja suurendab tõhusust reaalajas jälgimise ja koostöö kaudu, kasutades just neid põhimõtteid:

1. Alusta olemasolevatest teadmistest - projekti planeerimise ajendil käidi üle ettevõttele kasumlikkust toovad aspektid ja seejärel keskenduti komistuskohtadele ja tulevikus vajaminevatele parendustele. Oluline rõhk oli ka kliendikogemusel, mis just paneks antud rakendust eelisjärjekorda.
2. Järkjärgulised muudatused on olulised - kuna fookuse hoidmine ning ajaplaneerimine on keerukad faktorid, samastusid töö autorid projekti alguses, et muudatused tuleb ükshaaval ja väikeste tükkidena ette võtta. Selline järkjärguline lähenemine vähendab ka riskide teket.
3. Toeta juhtimist kaasates kõiki - Kanban metoodika lubas autoritel lihtsasti jooksvalt muudatusi teha ja tööülesandeid vahetada. See on oluline protsessis, mil kogu ressurss pole vaba ning vahel on vaja ülesandeid ümber paigutada, et efektiivsus siiski püsiks.

3.6 Nõuete analüüs

Käesolevas peatükis esitatakse ülevaade projekti algfaasis koostatud funktsionaalsetest ja mittefunktsionaalsetest nõuetest. Süsteemse tarkvaraarenduse kontekstis on nõuete analüüs üks olulisemaid etappe, mille eesmärk on tagada arendatava lahenduse vastavus tellija ootustele ja ärilistele vajadustele. Nõuete kogumise protsess tugines kliendi sisendile ning hõlmas ka olemasolevate lahenduste kriitilist analüüsi, mille käigus tuvastati nende tugevused ja kitsaskohad. Sellele tuginedes struktureeriti esialgne nõuete kogum, mis täpsustati koostöös kliendiga, määratledes arendustöö ulatuse ning välistades mitteprioriteetsed funktsionaalsused. Koostatud nõuded dokumenteeriti ning hallati struktureeritult GitLab Wiki keskkonnas.

3.6.1 Funktsionaalsed nõuded

Funktsionaalsed nõuded kajastavad rakenduse ärilisi vajadusi. Need on toote nõuded, mille arendajad peavad täide viima, et kasutajad saaksid oma ülesandeid täita [27]. Projekti autorid pidasid arutelusid omavahel ja ka kliendiga, et kaardistada funktsionaalsed nõuded. Nende kirja panemisel arvestati esialgselt just funktsionaalsustega, mis esimeses faasis on nõutud. Jooksvalt aga lisati uusi funktsionaalsusi või mõnes olukorras ka kohandati olemasolevaid.

Projekti alguses kirja pandud funktsionaalsed nõuded:

- Rakendus pakub hinnakalkulaatorit, mis arvutab kasutaja sisestatud andmete põhjal automaatselt 3D-prindi hinna.
- Rakenduse kasutaja peab saama üles laadida 3D-mudeli faili kõikide võimalike failitüüpidega.
- Pärast hinnakalkulatsiooni saab kasutaja tooteid lisada ostukorvi ja neid sealt ka eemaldada.
- Teenusepakkujale tekib kasutaja poolt kinnitatud tellimuse kohta teavitus.
- Kasutaja tellimus edastatakse teenusepakkujale.

Lisandunud funktsionaalsed nõuded:

- Kasutaja saab 3D-mudeli tellida.

- Teenusepakkujal on administraatori kasutajaliides, mis võimaldab hallata tellimusi ja kliendipäringuid.
- Rakenduses on kasutajakonto ja sisselogimise funktsionaalsus.
- Registreeritud kasutaja näeb oma varasemaid tellimusi, võimalikke pakkumisi ja soodustusi.
- Kasutajale tuleb meili peale tellimuse arve.
- Kasutaja saab võtta ettevõttega ühendust, täites rakenduses olev kontaktvorm. Sisend saadetakse ettevõtte meilile.

3.6.2 Mittefunktsionaalsed nõuded

Mittefunktsionaalsed nõuded määratlevad rakenduse omadused, mis näitavad, kui intuitiivne peab rakendus olema. Mittefunktsionaalsed nõuded on tihedalt seotud regulatiivsete nõuete ja organisatsiooni kvaliteedistandarditega ning mängivad olulist rolli süsteemi vastupidavuses ja kasutajakogemuse kujundamises [28]. Käesolevas projektis määrasid meeskonnaliikmed need nõuded tuginedes nii oma teadmistele kui ka kliendi vajadustele.

Projekti käigus koostatud mittefunktsionaalsed nõuded:

- Rakenduse kasutajaliides peab olema loogiline ning intuitiivne.
- Rakendus peab olema brauseri kaudu kättesaadav.
- Automaatne hinnakalkulatsioon ei tohi võtta kauem kui paar sekundit.
- Rakenduse skaleeritavus - süsteem peab olema võimeline käsitlema mitut kasutajat ja tellimust üheaegselt.
- Rakendus hoiab kasutaja andmeid ja faile turvaliselt.
- Rakenduse funktsioonid peavad olema testitud.
- Rakendus toetab uute arenduste lisamist.

4 Peamised tulemused

Käesolevas peatükis tuuakse esile veebirakenduse arendamise käigus saavutatud peamised tulemused. Kirjeldatakse loodud süsteemi arhitektuuri, hinnakalkulatsiooni algoritmi, kasutajaliidest ja disainilahendusi ning selgitatakse nende koostoimet lõppkasutaja ja teenusepakkuja vaates. Samuti esitatakse rakenduse kasutuslood, mis illustreerivad süsteemi praktilist toimimist.

4.1 Rakenduse arhitektuuri ja tööprotsessi kirjeldus

Loodud veebirakendus koosneb neljast olulisest komponendist: andmebaasist, taustateenusest (ingl *backend*), kasutajaliidest (ingl *frontend*) ja *Slicer*-programmist. Nende komponentide koostöös võimaldatakse kasutajal üles laadida STL-mudel, määrata prindiparameetrid, saada automaatne hinnakalkulatsioon ning esitada tellimus. Lisaks sisaldab süsteem eraldi teenust 3D-mudeli tellimiseks, kus klient saab vormi kaudu edastada ettevõttele oma soovid personaalselt loodud mudeli saamiseks.

4.1.1 Andmebaas

Andmebaasina kasutatakse PostgreSQL Docker konteineris - see tagab platvormiülese kasutuse, kiire seadistamise ja lihtsa arenduskeskkonna reprodutseeritavuse [29]. Põhitabelid andmebaasis on Filament, Calculator, STLFile, PrintJob, User, ModelOrder, PrintOrder ja Mail.

Filament tabel salvestab erinevad materjalid (filamendid) koos nende nime, tiheduse (g/cm^3) ja hinnaga grammi kohta (€).

STLFile tabel hoiustab üleslaetud .STL faile binaarvormingus, faili nime ja ruumala.

Iga kalkulatsioonikirje seotakse konkreetse STL-faili ja filamentmaterjaliga. Calculator tabel sisaldab mahtu, kogust, tehnoloogiat, printimisaega, täiteastet (infill) ja muid olulisi hinnakalkulatsiooni komponente, samuti leitud lõplikku hinda.

PrintJob seob kalkulatsioonid ja töövood, tabelisse salvestatakse töö ja selle staatus (nt “Pending”, “In Progress”, “Completed”) koos alguse ning lõpu aja ja kuupäevaga (kui töö on alustatud või lõpetatud). Tabel on loodud teenusepakkujale, et hallata oma töömahtu ning planeerida printimistöid.

User tabel talletab autentimis- ja identifitseerimisandmed, sealhulgas kasutajanime, e-posti aadressi, krüpteeritud salasõna ja rolli (nt *user*, *admin*). Tabeli eesmärk on võimaldada registreeritud kasutajatel kasutada süsteemi personaliseeritult ja turvaliselt – sealhulgas salvestada tellimuste ajalugu, kiirendada kordustellimusi ning rakendada rollipõhist ligipääsukontrolli, mille alusel aktiveeritakse administreerimisliides teenusepakkujale.

PrintOrder kirjeldab kasutaja tellimusi, mis põhinevad konkreetsete STL-failide printimisel. Selle kaudu seotakse kasutaja, kalkulatsioon ja valitud filament ühtseks tellimuseks. Tellimust täiendavad detailid on kogus, tellimuse staatus ja ajamärgised.

ModelOrder on loodud eraldi 3D-mudeli tellimiste haldamiseks. Erinevalt tavapärasest printimistellimusest sisaldab see tabel kasutaja poolt vormi kaudu esitatud kirjelduse soovitud mudeli kohta. Selline lahendus võimaldab teenusepakkujal pakkuda personaalseid mudelipõhiseid disainiteenuseid.

Mail tabel registreerib kasutajate kontaktivormi kaudu saadetud sõnumeid. Rakenduse kaudu edastatud pöördumised salvestatakse süsteemis, võimaldades teenusepakkujal neid administraatori vaates töödelda. Iga kirjega seotakse kasutaja või külalisklient, sõnumi sisu ning loetuks märkimise staatus.

Andmebaasi haldus toimub Entity Framework Core abil. Mudelid on defineeritud C# klassidena ning skeem migreeritakse automaatselt konteinerisse.

4.1.2 Tagaarendus

Taustateenus on arendatud C# ja ASP.NET Core Web API abil. Taustateenuse vastutusala hõlmab endas REST API loomist kasutajaliidese ja andmebaasi vaheliseks suhtluseks. Failide (.stl) vastuvõtu multipart/form-data kujul ja nende salvestamist kettale ja andmebaasi. PrusaSlicer CLI käivitamist käsurea kaudu, mille abil genereeritakse .gcode fail ja tuletatakse vajalikud metaandmed (ruumala, ajakulu, filamendi kogus).

Lõpphinna kalkuleerimist, arvestades sisendmahtusid, infill-protsenti, tihedust, printimisaega, amortisatsiooni ja kasumit.

Kõik toimingud logitakse ning vastused tagatakse JSON-kujul.

Rakenduse taustateenuse failistruktuur on loogiliselt jaotatud mitmesse alamkausta:

- **Controllers** – sisaldab kõikide API otspunktide kontrollereid, mis vastutavad erinevate funktsioonide realiseerimise eest. Iga kontrolleri haldab kindlat ressursi või loogikakomponenti, näiteks `CalculatorController.cs`, `STLFileController.cs`, `FilamentController.cs`.
- **Model** – sisaldab andmemudeleid ehk klasse, mis defineerivad andmebaasi tabelite struktuurid (nt `Calculator.cs`, `STLFile.cs`, `Filament.cs`). Klassid sisaldavad andmevälju ja nendevahelisi seoseid, mida kasutatakse andmebaasis.
- **Data** – sisaldab andmebaasi kontekstiklasse nagu `DataContext.cs`, mis vastutab andmebaasiühenduse ja tabelite registreerimise eest EF Corde kaudu.
- **Utility** – sisaldab lisafunktsioonide klasse, näiteks STL või G-koodi failide töötlemise abiklassid (nt `STLUtills.cs`, `GCodeInfo.cs`).
- **Migrations** – sisaldab andmebaasi skeemi muudatusi versioonide kaupa, võimaldades skeemi arendamise käigus hallata ja versioneerida.
- **Uploads** – algselt loodud kaust, mis sisaldab STL-faili abil loodud G-koodi faile. Kausta kasutati enne andmebaasi liidestust.
- **Properties** – sisaldab `launchSettings.json` faili, kus defineeritakse käivitusprofiilid (nt millise pordiga rakendus töötab arenduses, keskkonnamuutujad jne)
- **POSTGRES** – sisaldab PostgreSQL konteineri seadistusi tagamaks andmebaasi käivituse korrektsete seadetega.
- **Obj ja bin kaustad** – automaatsed kaustad, sisaldavad kompileeritud binaare ja käivitavat koodi, vahefaile ehitusprotsessi (ingl *build*) käigus

4.1.3 Kasutajaliides

Töö raames loodud veebirakenduse kasutajaliides on arendatud Vue 3 raamistikus, kasutades TypeScripti programmeerimiskeelt. Arenduses rakendati Composition API lähenemist, mis võimaldab komponentide loogikat selgelt struktureerida ja taaskasutada.

Rakenduse seisundi haldamiseks kasutati moodsa ülesehitusega Pinia teeki, mis võimaldab hallata rakenduse andmeid (nt ostukorvi sisu) ning tagab komponentidevahelise andmeside ühtsuse ja jälgitavuse [30]. Kliendi ja serveri vaheline andmevahetus toimub Axiosi kaudu, mis võimaldab saata ja vastu võtta HTTP-päringuid REST-liidese kaudu [31].

Kasutajaliidese põhifunktsionaalsus hõlmab STL-failide üleslaadimist ning eelvaadet, printiparameetrite (nt kogus, täidisprotsent) sisestamist ja kontrolli, dünaamilist filamendivalikut (laetuna taustateenusest), hinnakalkulatsiooni kuvamist ja tellimuse lisamist ostukorvi. Kõik kasutajaliidese komponendid on realiseeritud .vue failides, mille `<script setup lang="ts">` plokis kasutatakse tüübikontrollitud andmemudeleid, näiteks Calculator ja Filament.

Rakenduse failistruktuur on loogiliselt jaotatud mitmesse alamkausta:

- **components/** - sisaldab kõiki kasutajaliidese korduvkasutatavaid komponente (nt Calculator.vue, Contact.vue, AdminPrintOrders.vue);
- **views/** - koondab lehevaated ehk rakenduse ekraanid, mis koosnevad erinevatest komponentidest (nt HomeableView.vue, ShoppingCartView.vue);
- **stores/** - sisaldab Pinia-põhiseid andmehoidlaid, mis vastutavad seisundite (nt ostukorv, saadaval olevad materjalid) haldamise eest;
- **modules/** - koondab äriloogikaga seotud failid, näiteks mudelid printitöö ja ostukorvi kohta;
- **composables/** - sisaldab korduvkasutatavat loogikat, nagu autentimisfunktsioonid (useAuth.ts);
- **router/** - määratleb rakenduse sisemised marsruudid ning vaadetevahelise liikumise;
- **assets/** - sisaldab kujunduse ja stiiliga seotud faile (base.css, main.css);
- **public/images/** - sisaldab staatilisi pilte, sealhulgas kasutajaliidese ikoone ja illustratsioone.

Rakenduse keskne liidesefail App.vue määratleb üldise paigutuse ning sisaldab globaalseid elemente, näiteks navigeerimisriba ja vaadete laadimisstruktuuri. Arhitektuuri tasandil eristatakse kahte kasutajaliidest – tavalise kasutaja ning administraatori vaade – kusjuures mõlemad kasutavad samu komponente, kuid erineva menüü ja ligipääsuõigustega.

Selline modulaarne ja organiseeritud ülesehitus toetab arendusprotsessi läbipaistvust, lihtsustab laiendamist ja tagab süsteemi hooldatavuse ka pikemas perspektiivis.

4.1.4 PrusaSlicer'i liidestus

Arendatava veebirakenduse üheks keskseks komponendiks on viilutustarkvara, mille eesmärk on teisendada kasutaja poolt üles laaditud 3D-mudel (failivormingus .stl) 3D-prinditavaks formaadiks .gcode. Selle protsessi käigus töödeldakse mudel spetsiaalse käsurea-põhise tarkvaraga PrusaSlicer, mis käivitatakse automaatselt taustateenusel. *Slicer* kasutab eeldefineeritud konfiguratsioonifaili, mille põhjal genereeritakse lõplik G-kood ning logifail, mis sisaldab olulisi metaandmeid. Need hõlmavad muuhulgas hinnangulist printimisaega (*estimated_print_time*), kasutatud filamendi kogust (*filament_used*) ning selle ruumala (*filament_volume*). Saadud andmed parsitakse automaatselt ning salvestatakse vastavatesse andmemudelitesse (nt STLFile ja Calculator), et neid kasutada lõpphinna arvutamisel.

Viilutustarkvara täidab siin ühtlasi mitut olulist rolli: lisaks tehnilise G-koodi loomisele toetab see ka hinnastamismudeli andmetöötlust, võimaldades luua täpse ja reaalajas toimiva hinnakalkulatsiooni. Lähenemine, kus *Slicer* integreeritakse käsurea liidesena taustateenusesse, suurendab süsteemi töökindlust ja skaleeritavust. Selline arhitektuuriline valik võimaldab ka edaspidi kohandada või laiendada viilutamise loogikat vastavalt klientide vajadustele või kasutatavate 3D-printimise tehnoloogiate muutumisele [32].

4.2 Kalkulaatori loogika ja hinnamudeli algoritm

Rakendusse integreeritud hinnakalkulaator moodustab ühe süsteemi olulisema funktsionaalsuse, mille eesmärk on automatiseerida 3D-printimise teenuste hinnastamise protsessi. Kalkulatsioon käivitub hetkel, mil kasutaja esitab päringu vajutades nuppu „Kalkuleeri“. Seejärel edastatakse serverisse kasutaja poolt määratud lähteandmed: 3D-mudeli fail (STL-formaadis), valitud filament, täitetiheiduse (ingl *infill*) protsent, kasutatav prinditehnoloogia ning soovitud koopiate arv. Hinnakalkulaatori loogika ja sellega seotud valemid on koostatud koostöös Neptune First OÜ-ga lähtuvalt ettevõtte konkreetsetest ärilistest eesmärkidest ja kulustruktuurist.

Pärast andmete vastuvõttu serveri poolt käivitatakse automaatselt töötlusprotsess, mille käigus analüüsitakse kasutaja esitatud parameetreid ning teostatakse hinna arvutus. Hinna arvutamise algoritm on kirjeldatud peatükis 4.2.1. Süsteem tagab esmase sisendite

valideerimise, et vältida vigade või puudulike andmete tõttu tekkivaid katkestusi. Kalkulatsiooni tulemuseks on kasutajale esitatav hinnapakumine (Joonis 10, Lisa 2), mille alusel saab toote lisada ostukorvi ning tellimuse vormistada.

4.2.1 Hinnamudeli algoritm

Tehnilise teostuse tasandil põhineb hinnakalkulatsioon mitmeetapilisel algoritmil, mis kombineerib geomeetrilist analüüsi, materjalikulu ja tööaja prognoose. Esmalt käivitatakse serveris käsurealt PrusaSlicer CLI (ingl *Command Line Interface*) versioon, mille abil konverteeritakse kasutaja üleslaetud STL-fail G-koodiks. Slicerisse edastatakse fail eeldefineeritud konfiguratsioonifaili põhjal koos *support-material* parameetriga, mis arvestab tugistruktuuride lisanduvat kulu. Genereeritud G-koodist parsitakse olulisemad metaandmed: hinnanguline printimisaeg, kasutatud filamendi kogus ja selle ruumala.

Järgnevalt hinnatakse mudeli mõõtmeid STL-faili geomeetria alusel, et arvutada, kui mitu koopiat mahub korraga printeri tööalale (256×256 mm). Vajaminevate prindiplaatide koguarv saadakse määratud koguse jagamisel ühe plaadi mahutavusega. Filamendi kulu arvutamisel võetakse aluseks materjali tihedus ja hind grammides. Arvutus toimub etapiviisiliselt: esmalt määratakse ühe detaili kaal, misjärel korrutatakse see koopiade arvuga ning tulemuseks saadakse kogu prinditava partii filamendi kulu. Seejärel leitakse filamendi maksumus.

Prindiaja maksumus arvutatakse tuginedes tellija määratud tunnitasule ja G-koodist saadud ajahinnangule. Vajadusel kasutatakse korrigeerimistegurit, kui aeg ei kasva proportsionaalselt detailide arvuga. Lisaks arvutatakse seadme amortisatsioonikulu, mis põhineb seadme amortisatsioonimääral ja prindiplaatide arvul. Lõpphind kujuneb komponentide (filamendi maksumus, ajakulu, amortisatsioon) summana, millele lisatakse tellija määratud kasumimarginaal. Kõik arvutatud andmed salvestatakse andmebaasi ning edastatakse kasutajale API kaudu struktureeritud vastusena.

4.2.2 Kalkulatsiooni täpsustamine ja võimalike probleemide analüüs

Väljatöötatud kalkulatsioonimudel suudab automaatselt määrata prinditavate detailide hinnangu lõpphinna, kuid teatud eeldused ja piirangud võivad tulemuste täpsust mõjutada.

Üks olulisemaid mõjutegureid on printimise aeg. Printimise kestus ei kasva lineaarselt iga lisatava detaili arvu kasvades. Tegelikult suureneb aeg mõõdukamalt, kui samal plaadil trükitakse mitu koopiat korraga. Kuna kalkulatsioon põhineb esmasel G-koodi analüüsil ühe instantsi kohta, võib kordusprintimisel ajahinnang olla alahinnatud või ülehinnatud.

Probleemi lahendamiseks on võimalik kasutada PrusaSlicer'i argumente *instances* ja *arrange*, mis võimaldavad generaatoril luua ajutise 3MF faili mitme koopiaga ning parsida saadud prindiaega. Alternatiivina võib määrata korrektse kasvufaktori, mis võimaldab realistlikumalt printimise kestust hinnata.

Teiseks riskiteguriks on STL-failist saadud andmete usaldusväärsus. Vigased või valesti orienteeritud mudelid võivad mõjutada mõõtmete ja ruumala arvutuste täpsust, mille tulemusena võivad hinnakalkulatsioonid muutuda ebatäpseks. Kuna käesoleva töö eesmärk oli luua automatiseeritud kalkulatsioon ilma manuaalse failide kontrollita, võetakse STL-fail vastu nii, nagu see üles laaditakse. Praktikas seab see piirangud automaatkalkulatsiooni täpsusele.

Võimalike lahendustena võiks kaaluda failide automaatset valideerimist või optimeerimist võimaldavate lisafunktsioonide arendamist, samuti inimressursi kaasamist manuaalseks eelkontrolliks enne kalkulatsiooni. Kuna aga käesoleva töö eesmärgiks oli vähendada inimsekkumist ja toetada maksimaalselt automatiseeritud töövoogu, ei ole nimetatud lahendusi antud etapis rakendatud.

4.3 Kasutajaliides ja UX lahendus

Käesolevas peatükis käsitletakse veebirakenduse kasutajaliidese disainiprotsessi, alates esialgse prototüübi loomisest Figma kuni lõppversiooni valmimiseni. Protsess hõlmas kaasaegsete kasutajakogemuse põhimõtete rakendamist, tellija brändiidentiteedi tõlgendamist visuaalses keeles ning mitmeid iteratsioone, mille käigus täiustati nii esteetilisi kui ka funktsionaalseid elemente.

4.3.1 Disainiprotsessi algus

Disainiprotsessi alustati Figma tööriista abil, mille kaudu loodi detailne ja visuaalselt kooskõlaline prototüüp rakenduse kasutajaliidesele. Enne prototüübi loomist uuriti

mitmeid õpetlikke materjale ja juhendeid, et rakendada kaasaegseid kasutajakogemuse (UX) põhimõtteid ning tagada disaini vastavus nii funktsionaalsetele kui ka mittefunktsionaalsetele nõuetele. Kujunduse planeerimisel lähtuti ka tellija esitatud brändikriteeriumitest ja rakenduse eesmärgipärasest kasutusloogikast.

Visuaalse kontseptsiooni loomisel mängis olulist rolli tellija identiteet – kõrgtehnoloogiline ja mängulise tonaalsusega ideufirma, kelle kuvandis on ühendatud uuenduslikkus ja ligipääsetavus. Selle peegeldamiseks kujundati kasutajaliides, mis on esteetiline, samas selge ja funktsionaalne. Iga lehe mõõt Figma oli standardiseeritud formaati 1440 × 2136 pikslit, et tagada disaini järjepidevus ja skaleeritavus erinevatel ekraanidel ning hõlbustada hilisemat arendusprotsessi.

Esimene prototüüp oli visuaalselt lihtsustatud ja pigem tehnilise suunitlusega, et võimaldada hinnakalkulaatori äriloogika testimist kasutajaliidese kontekstis. Selle versiooni eesmärk ei olnud lõplik visuaalne esteetika, vaid interaktiivne töövoogude valideerimine ning esmaste kasutusstsenaariumide katsetamine. Algne värvipalett koosnes vaid neljast toonist: sinine (#2167D1), hall (#686868), valge ja must, mis andsid tagasihoidliku, ent piisavalt kontrastse visuaalse raamistiku funktsionaalsuste testimiseks. Disainivalikute teadlik piiratus võimaldas keskenduda struktuuri ja kasutatavuse hindamisele enne järgmise iteratsiooni detailsemat kujundust. Esialgset prototüüpi saab vaadata lisast 3.

4.3.2 Üleminek prototüübist tegelikku kasutajaliidesesse

Esialgsest Figma-prototüübist edasi liikudes kujunes kasutajaliidese disain mitmeetapiliseks protsessiks, mille käigus transformeeriti esialgne kontseptuaalne lahendus täielikult toimivaks veebirakenduseks. Selle arendusfaasi keskmes ei olnud üksnes disainielementide tehniline teostus, vaid ka kasutusmugavuse süvendamine ning visuaalse identiteedi täpsustamine lähtudes tellija – Neptune First OÜ tagasisidest. Prototüüp täitis oma eesmärgi testkeskkonnana, kuid lõppversioon nõudis põhjalikke muudatusi nii esteetilise kvaliteedi kui ka sisulise informatiivsuse osas.

Ühe olulisema muudatusena kujunes ümber värvipalett: kui algses prototüübis domineerisid rahulikud ja vaoshoitud toonid (nt sinine #2167D1, hall #686868), siis rakenduse lõppversioonis võeti kasutusele brändikesksemad ja visuaalselt mõjusamad värvid nagu #7e46ff ja #4314ff. Täiendavalt kasutati neonrohelist ja neoonkollast

aktsentvärvidena, et toetada visuaalset hierarhiat ja juhtida kasutaja tähelepanu olulistele interaktsioonipunktidele. Selline värvilahendus aitas paremini edasi anda soovitud kuvandit: innovatiivne, tehnoloogiline ja nooruslik.

Sisulisest aspektist lisandus mitmekülgsem informatsioon igasse vaatesse: täiendati tekstisisu, loodi juhendmaterjalid ning lisati brändi identiteeti toetavad graafilised elemendid. Tellija sisendite alusel muudeti ka mitmete elementide paigutust, eemaldati dubleerivaid komponente ning loodi uusi infoblokke, mis suurendasid kasutaja arusaama teenuste sisust ja kasutusvõimalustest. Valminud kasutajaliidese illustratsioone näeb lisast 2.

Täiendavalt arendati eraldi administraatori vaade, mis aktiveerub pärast autentimist ning võimaldab haldusfunktsioone nagu tellimuste jälgimine ja päringute haldamine. Administraatori vaade säilitab kasutajaliidese üldise visuaalse stiili, kuid kasutab erinevat navigeerimisriba ja spetsiaalseid alalehti, toetades selgelt erinevat rollipõhist kasutajakogemust (vt Joonis 25-33, Lisa 2). Nii lõppkasutajale kui ka administraatorile mõeldud vaated põhinevad samal arhitektuuril, jagades komponentide loogikat, kuid erineva sisu- ja ligipääsustruktuuriga.

Selline mitmeetapiline ja iteratiivne disainiarendusprotsess lõi kindla aluse professionaalse, läbimõeldud ja lõppkasutajat arvestava kasutajaliidese valmimiseks. Töö käigus saavutati tasakaal visuaalse esteetika, funktsionaalsuse ning kasutusmugavuse vahel – aspektid, mis on otsustava tähtsusega kvaliteetse veebirakenduse loomisel. Disainielementide, navigatsioonistruktuuri ja interaktsioonide süstemaatiline täiendamine võimaldas luua lahenduse, mis mitte ainult ei vasta tellija brändiidentiteedile ja visioonile, vaid toetab ka rakenduse praktilist kasutatavust erinevates rollides – nii lõppkliendi kui administraatori vaates. Läbiv koostöö tellijaga ning reaalse kasutajate vajaduste kaasamine aitas tagada, et lõppversioon pole lihtsalt visuaalselt atraktiivne, vaid ka sisuliselt loogiline ja ärivajadusi rahuldav lahendus.

4.3.3 Probleemid ja muudatused prototüübi elluviimisel

Kasutajaliidese prototüübi arendamisel tegelikult veebirakenduseks ilmnis mitmeid väljakutseid, mis muutsid esialgsed plaanid tehniliselt keerukamaks ja ajamahukamaks, kui esialgu eeldati.

Üheks olulisemaks takistuseks osutus Figma poolt pakutav „developer mode“ liidestus, mille eesmärk on kiirendada disainist koodini liikumist, võimaldades disainikomponentide otsest tõlgendamist koodistruktuuriks. Kuigi teoreetiliselt pidi see funktsioon lihtsustama arendusprotsessi, osutus selle rakendamine praktikas piiratud väärtusega. Konverteerimise tugi ei hõlmanud TypeScripti-põhist arendusstruktuuri, mis oli aga konkreetse rakenduse puhul standardiks. Seetõttu ei olnud võimalik genereeritud koodi otse kasutada, mistõttu tuli kasutajaliidese komponendid ehitada nullist käsitsi.

Arendusprotsessi alguses katsetati ka Tailwind CSS raamistikku, et kiirendada stiilide rakendamist ja hoida koodi modulaarsemana. Kuid mitmed tehnilised probleemid ja konfiguratsioonivead, sealhulgas vead, mis takistasid *frontendi* korrektset käivitumist, muutsid Tailwindi kasutamise ebaefektiivseks. Kuna nende probleemide lahendamisele kulus ebaproportsionaalselt palju aega, otsustati lõpuks Tailwindist loobuda ning jätkata manuaalse CSS- ja komponendipõhise kujundusega.

Kujunduse kvaliteeti hinnati vahetult pärast arendusversiooni demoesitlust juhendaja ja tellija tagasiside põhjal. Tulemuseks leiti, et esialgne visuaalne lahendus ei vastanud ootustele professionaalsuse ja esteetika osas. See tõi kaasa uue kujunduskontseptsiooni loomise Figmas, keskendudes varasemast enam värvibalsi, elementide paigutuse ja visuaalse harmoonia täiustamisele. Uuendatud disaini arendamisel võeti arvesse ka tellija täiendavat sisendit, mille alusel viidi kujundus kooskõlla ettevõtte brändi identiteedi ning kasutajakesksete disainipõhimõtetega.

4.3.4 Tulemuse hindamine

Pärast mitmeid iteratsioone ja kasutajaliidese järkjärgulist täiendamist saavutas rakendus lõppfaasis disainitaseme, mis oli esteetiline, funktsionaalne ja visuaalselt kooskõlas tellija brändiväärtustega. Kasutajaliides on struktureeritud loogiliselt, sisaldab selgeid tegevusjuhiseid ning toetab kasutaja sujuvat liikumist lehtede ja funktsioonide vahel. Vormielementide, värvikontrastide ning navigeerimisstruktuuri läbimõeldud disain tagab intuitiivse kasutajakogemuse.

Olulist rolli lõppversiooni kvaliteedi kujunemisel mängis testijate tagasiside. Näiteks juhiti tähelepanu vormiväljade loetavusele, sektsioonide jaotusele ning tegevusnuppude visuaalsele selgusele. Lisaks anti soovitusi värvipaleti osas, et saavutada tasakaal tehnoloogilise tundlikkuse ja visuaalse neutraalsuse vahel. Tagasiside rakendamine

lõplikku disaini aitas eemaldada algse prototüübi puudused ning tõi esile kasutajale olulised elemendid.

Figma prototüübi ja tegeliku kasutajaliidese võrdlus näitab selgelt disaini arengut ja kvaliteeditõusu. Kui algne prototüüp oli oma olemuselt lihtsustatud töövahend töövoogude valideerimiseks, siis lõplik versioon kajastab juba lõppkasutajale suunatud visuaalset küpsust. Visuaalne võrdlus (vt disainide võrdlus) toob esile, kuidas kujunduse detailid, värvid ja sisu täienesid arenduse käigus, liikudes minimaalsest struktuurist funktsionaalselt ja esteetiliselt tervikliku lahenduseni.

4.4 Rakenduse kasutuslood

Antud peatükis kirjeldatakse nii lõppkasutaja kui ka teenusepakkuja kasutajalugusid, et tutvustada, kuidas rakendust igapäevaselt kasutatakse.

4.4.1 Lõppkasutaja kasutuslood

Antud peatükis kirjeldatakse lõppkasutaja interaktsioone loodud rakendusega, hõlmates nii tüüpilist töövoogu kui ka erijuhtumeid. Rakendus on loodud viisil, mis toetab kasutajat kogu protsessi vältel, pakkudes sisendite valideerimist, reaajas tagasisidet ning hoiatusi võimalike sisestusvigade vastu. Kasutaja kasutuslood on illustreeritud joonisel 4.

STL-faili üles laadimine

Kasutaja alustab protsessi veebirakenduses, kus talle esitatakse puhas ja juhendav vorm. Ta klikib nupule “Lisa mudeli fail”, mis avab lokaalse failivaliku dialoogi.

Nõutud faili formaadiks on ainult .stl laiendiga failid. Sisseehitatud valideerimine `<input type="file" accept=".stl">` tagab, et teised failitüübid ei saa valituks. Samuti on kontroll taustateenustes (*backend*), mis tagastab veateate, kui fail on tühi või vale formaadiga (400 Bad Request).

Peale korrektse faili üles laadimist kuvatakse kasutajale antud faili nimi.

Sisendite täitmine

Kasutaja valib printimiseks sobiva filamendi (nt PLA, PETG), tehnoloogia (nt FDM, SLS või SLA), sisestab koguse (tk) ning määrab täidetuse protsendi (ingl *infill* %).

Seejärel toimub valideerimine. Juhul, kui mõni väli on täitmata, kuvatakse kasutajale veateade “Palun täida kõik väljad ja lisa fail!” ning serverisse päringut ei saadeta. Lisaks on täidetuse protsendile lisatud kontrollmehhanism, mis lubab sisestada vaid reaalseid väärtusi vahemikus 1%-100%. See aitab vältida sisestusvigu nagu -15% või 150%. Vaikimisi on täidetuse protsendiks määratud 20% ja koguse vaikeväärtus 1 tükk. Ebasobiva sisendi korral kuvatakse kasutajale veateade ja andmete edastamine peatatakse (400 Bad Request).

Kliendipoolsed tühjad väärtused on tähistatud peale esmast (vigast) kalkulatsiooni punase äärisega (`:class”{ error: showErrors && !field }”`).

Arvutuse käivitamine

Pärast kõikide väljade täitmist vajutab kasutaja nuppu “Kalkuleeri”. Kasutajaliides (*frontend*) moodustab FormData objekti, kuhu lisatakse STL-fail, valitud filamendi ID, kogus ja infill protsent.

Päring saadetakse `axios.post(...)` kaudu kasutajaliidest taustateenuse otspunkti (ingl *endpoint*) `/STLFile/upload`. Server viib läbi järgmised sammud:

1. Salvestab ajutiselt kasutaja poolt lisatud fail.
2. Käivitab PrusaSlicer-i, mis arvutab mahu, eeldatava printimisaja ja kasutatud filamendi pikkuse (ühe mudeli kohta).
3. Loob uue Calculator kirje.
4. Käivitab automaatselt hinnakalkulatsiooni protsessi.
5. Vastusena tagastab kasutajale lõpphinna.

Hind ja ostukorvi lisamine

Eduka protsessi tulemusena kuvatakse kasutajale lõpphind koos nupuga “Lisa ostukorvi”. Kui kasutaja otsustab lisada toote ostukorvi, salvestatakse objekt Pinia store-i (`cartStore.ts`). Ostukorv pakub kliendile ülevaadet kõigist sinna lisatud toodetest. Ostukorvis on kasutajal võimalik ka tooteid kustutada, mille tulemusena vahesumma ning lõplik summa vastavalt muutuvad.

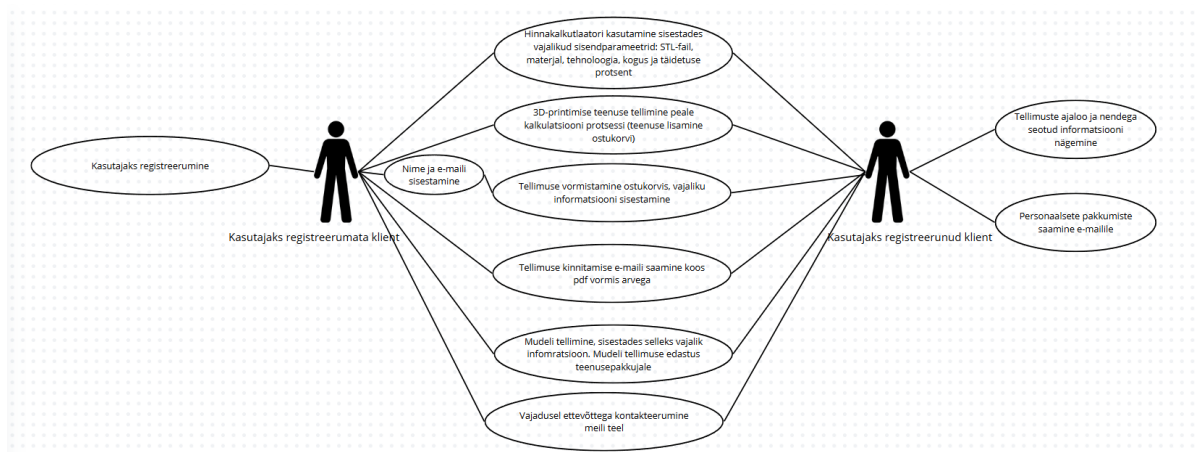
Järgnevalt saab kasutaja liikuda edasi tellimuse vormistamisele, vajutades ostukorvis nuppu “Mine kassasse”. Tellimuse esitamiseks peab kasutaja sisestama oma ees- ja

perekonna nime ning e-posti aadressi. E-posti õigsust kontrollitakse, veendudes, et see sisaldab nii „@” kui ka „.” märke. Registreeritud kasutaja ei pea neid andmeid uuesti sisestama, vaid saab need vajadusel üle kontrollida ning tellimuse esitada, vajutades „Esita tellimus”. Tellimuse esitamisel saadetakse kasutajale e-posti kaudu tellimuse kinnitus koos arvega.

Mudeli tellimine

Mudeli tellimiseks peab kasutaja sisestama oma ees- ja perekonnanime ning e-posti aadressi. -posti õigsust kontrollitakse, veendudes, et see sisaldab nii „@” kui ka „.” märke. Registreeritud kasutaja ei pea neid andmeid uuesti sisestama, vaid saab need vajadusel üle kontrollida. Lisaks peab klient lisama kirjelduse soovitud mudeli kohta. Teenuse täpsuse tagamiseks on lisatud lühike juhend, mida idee kirjeldus peab sisaldama. Järgnevalt, kui kogu informatsioon on sisestatud, saab kasutaja vajutada „Saada”, mis edastab tellimuse teenusepakkujale.

Kasutajaliides on loodud arvestades mitte ainult tavakasutust, vaid ka reaalelulisi võimalikke vigu ja ootamatusi. See tagab usaldusväärse ja mugava kasutajakogemuse ning stabiilse töövoogu kogu hinnakalkulatsiooni protsessi vältel.



Joonis 4. Registreerimata ja registreeritud kasutaja kasutuslood.

4.4.2 Teenusepakkuja kasutuslood

Teenusepakkuja ehk administraatori roll rakenduses on kriitiline süsteemi igapäevaseks toimimiseks. Tema kaudu hallatakse süsteemi keskseid andmeid nagu filamendid,

kasutajate andmed, tellimuste olekud, samuti jälgitakse süsteemi tööd tervikuna. Lisaks tavapärastele tegevustele tuleb arvestada ka võimalike erandjuhtumitega, milleks süsteem peab valmis olema. Teenusepakkuja kasutuslood on illustreeritud joonisel 5.

Filamentide haldus

Administraatoril on ligipääs liidesele ja API otspunktidele, mille kaudu ta saab lisada uusi filamenditüüpe (POST), muuta olemasolevaid filamendi omadusi (PUT), kustutada filamente, mida enam ei kasutata või pakuta (DELETE) ja vaadata kõiki olemasolevaid filamente (GET).

Igal filamendil on olulised omadused nagu nimi, hind grammi kohta ning tihedus. Need andmed on olulised hinna täpsuse tagamiseks. Vastavaid päringuid kasutatakse filamendi API kaudu. Filamendi loomisel määratakse sellele unikaalne ID, mille järgi saab hiljem filamenti vaadata, uuendada ja kustutada.

Filamendi loomisel kontrollib süsteem, et nimeväli ei oleks tühi ning hind ja tihedus oleks numbrilises formaadis. Valede andmete puhul tagastatakse 400 Bad Request.

Filamendi kustutamisel või muutmisel kontrollitakse, kas antud filamenti on kasutatud mõnes hinnakalkulatsioonis ning seejärel antud printimistöö staatust. Juhul kui filament on kasutuses ning printimistööd pole alustatud või on pooleli (PrintJob staatus on “Pending” või “In progress”), tagastatakse 400 Bad Request ning filamenti ei saa kustutada või muuta enne, kui antud printimistöö on lõpetatud. Samas saab antud filamendi kasutajaliideses peita, et rohkem tellimusi antud filamenti kasutades ei esitataks.

Tehnoloogiate haldus

Samuti on administraatoril võimalik lisada uusi tehnoloogiaid (POST), muuta olemasolevaid tehnoloogiate omadusi (PUT), kustutada tehnoloogiaid, mida enam ei pakuta (DELETE) ja vaadata kõiki lisatud tehnoloogiaid (GET).

Tehnoloogiate lisamisel, muutmisel ja kustutamisel kasutatakse sarnast loogikat kui filamentide lisamisel, muutmisel ja kustutamisel. Igal tehnoloogial on oma nimi ja hind, loomisel määratakse unikaalne ID, mille järgi hiljem tehnoloogiat vaadatakse, muudetakse ja kustutatakse.

Tehnoloogia lisamisel kontrollitakse, et nimeväli ei oleks tühi ning hind oleks numbriline väärtus. Vastasel juhul tagastatakse 400 Bad Request. Kasutusel olevat tehnoloogiat ei saa samuti muuta ega tühistada enne, kui on lõpetatud kõik seotud printimistööd, samas saab kasutajaliidesest tehnoloogia peita.

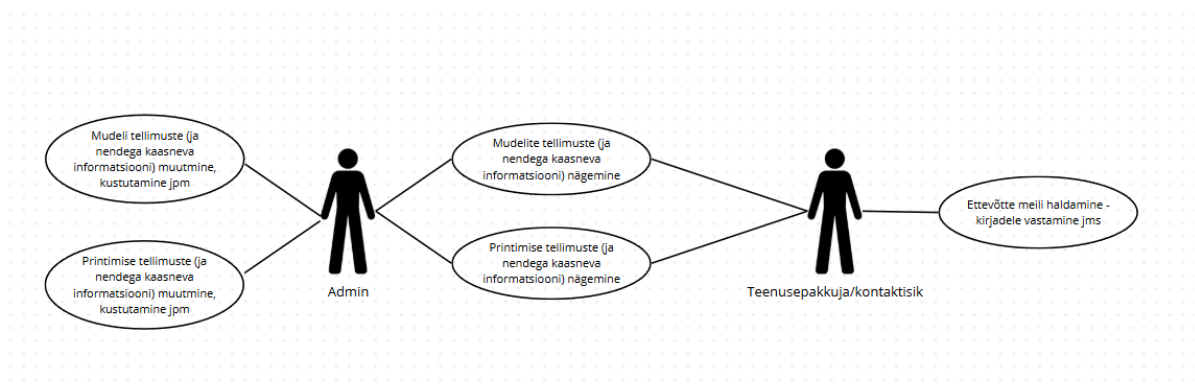
Tellimuste ja hinnakalkulatsioonide jälgimine

Administraator saab vaadata kõiki hinnakalkulatsioone ja nendega seotud tellimusi. Iga tellimus sisaldab STL-faili infot, printitava detaili mõõtmeid ja kogust, kasutatud tehnoloogiat ja filamendi andmeid, arvutatud lõpphinda ja ajakulu, printimistöö staatust ning tellija informatsiooni.

Hinnakalkulatsioonide abil saab teenusepakkuja teha erinevaid analüüse, näiteks kuidas süsteemi parandada, milliseid filamente ja tehnoloogiat enim kasutatakse, jms. Sealjuures näeb süsteemihaldur ka vigaseid kalkulatsioone, mille abil saab teatud juhtudel kiirelt süsteemis vea parandada. Näiteks *slicer* tarkvara vale seadistus, vead kalkulatsioonis jpm. Samuti logitakse vead, kui klient on lisanud vigase STL-faili või ebasobivad andmed (näiteks kogus on negatiivne). Tänu kliendipoolsete vigade logimisele on teenusepakkujal võimalus arendada veelgi loogilisem ja lihtsam veebirakendus.

Kasutajate haldus ja autentimine

Administraatoril on võimalus näha kõiki registreerunud kasutajaid, hallata nende õigusi ning tutvuda tellimuste ajalooga. Tagamaks, et administraatori vaatele on ligipääs vaid süsteemihalduril, on lisatud rollipõhine autentimine.



Joonis 5 Admini ja teenusepakkuja kasutuslood.

5 Analüüs ja järeldused

Viiendas peatükis analüüsitakse arenduse käigus saavutatud tulemusi, hinnatakse süsteemi toimivust ja vastavust püstitatud eesmärgile ning käsitletakse ilmnenu kitsaskohti ja piiranguid. Peatükis esitatakse ka ettepanekud võimalikeks tehnilisteks ja funktsionaalseteks parandusteks ning hinnatakse loodud lahenduse ärilist potentsiaali ja laiendatavust.

5.1 Tulemuste analüüs

Loodud rakendus täidab selgelt käesoleva bakalaureusetöö keskse eesmärgi, milleks oli luua veebipõhine 3D-printimise teenuste süsteem ettevõttele Neptune First OÜ, et võimaldada ettevõttel siseneda uuele ärisegmendile ning rakendada olemasolevaid tehnilisi ressursse väljaspool hooajalist tootmistsüklit. Süsteem pakub digitaalselt vahendatud teenust, mis võimaldab kliendil iseseisvalt tellida 3D-printimist ilma vajaduseta vahetuks suhtluseks teenusepakkujaga. Automatiseeritud hinnakalkulatsioon, tellimiskeskond ning haldusliides moodustavad ühtse ja toimiva platvormi, mis toetab nii lõppkasutaja kui ka teenusepakkuja vajadusi.

Töö käigus loodud rakendus realiseerib antud eesmärgi läbi tervikliku tarkvaraarhitektuuri, mis ühendab mitmeid spetsialiseeritud komponente üheks sujuvaks töövooks. Kasutajaliides on loodud Vue 3 ja TypeScripti abil, pakudes kaasaegset ja kasutajasõbralikku kogemust. Taustateenus, mis on arendatud ASP.NET Core platvormil, vastutab failide töötlemise, hinnakalkulatsiooni ja andmebaasipäringute eest. Viilutustarkvara PrusaSlicer CLI vormis integreeriti käsureapõhiselt, võimaldades STL-failide automaatset töötlemist G-koodiks. Kõiki andmeid hallatakse PostgreSQL andmebaasis, mis töötab Docker-konteineris ja toetab platvormiülesust, skaleeritavust ja reprodutseeritavust. Nimetatud tehnoloogiate koostoime loob tugeva aluse töökindlale ja skaleeritavale süsteemile.

Funktsionaalsete ja mittefunktsionaalsete nõuete täitmine valideeriti süsteemselt projektitöö arengufaasist lõppfaasini. Funktsionaalsete nõuete kontrollimiseks viidi koostöös tellijaga läbi praktilised kasutustestid, mis katsestasid rakenduse toimimist reaalse kasutuskäitumise põhjal. Kliendilt saadud tagasiside kinnitas, et rakendus vastab esitatud ootustele ja nõuetele. Paralleelselt viidi läbi ka mittefunktsionaalsete omaduste nagu kasutajaliidese loogilisus, süsteemi töökindlus, jõudlus ja andmeturvalisuse hindamine, keskendudes eelkõige lõppkasutaja kogemusele ja tehnilisele stabiilsusele. Lisaks valideerivad implementeeritud lahendusi ka automatiseeritud testid. Nõudeid täitva rakenduse meetodid on illustreeritud kasutajaliidese piltidel (vt Lisa 2).

Töö käigus täideti need esialgses arendusplaanis määratletud funktsionaalsed nõuded:

- Rakendus pakub hinnakalkulaatorit, mis arvutab kasutaja sisestatud andmete põhjal automaatselt 3D-prindi hinna.
- Pärast hinnakalkulatsiooni saab kasutaja tooteid lisada ostukorvi ja neid sealt ka eemaldada.
- Teenusepakkuja tekib kasutaja poolt kinnitatud tellimuse kohta teavitus.
- Kasutaja tellimus edastatakse teenusepakkuja.

Lisandunud funktsionaalsustest täideti järgmised:

- Kasutaja saab 3D-mudeli tellida.
- Teenusepakkujal on administraatori kasutajaliides, mis võimaldab hallata tellimusi ja kliendipäringuid.
- Rakenduses on kasutajakonto ja sisselogimise funktsionaalsus.
- Kasutajale tuleb meili peale tellimuse arve.
- Kasutaja saab võtta ettevõttega ühendust, täites rakenduses olev kontaktvorm. Sisend saadetakse ettevõtte meilile.

Realiseerimata funktsionaalsustest üks oli väljaspool skoopi. Nimelt ei jõudnud meeskond implementeerida loogikat ja kasutajaliidest, kus klient näeb oma profiilil varasemaid tellimusi, võimalikke pakkumisi ja soodustusi. See aga omas väga väikest prioriteeti, kuna nõuab selleks juba püsiklientide olemasolu ning vajalikke lisanduvaid nõudeid ettevõttelt.

Teiseks, kuid poolenisti realiseerimata funktsionaalsuseks, oli 3D-mudeli faili üles laadimine kõikide võimalike failitüüpidega. Kuigi loodi lahendus, mis kasutab kõige

populaarsemat 3D-mudelite failitüüpi - STL, siis tuleks tulevikus lisada ka kõik teised failitüübid.

Lisaks funktsionaalsetele nõuetele pöörati tähelepanu ka mittefunktsionaalsete aspektide realiseerimisele, mis olid projekti kvaliteedi ja kasutuskogemuse seisukohalt olulised.

Täidetud mittefunktsionaalsed nõuded töö tulemusena on:

- Rakenduse kasutajaliides peab olema loogiline ja intuitiivne.
- Rakendus peab olema brauseri kaudu kättesaadav.
- Rakenduse skaleeritavus – süsteem peab olema võimeline käsitlema mitut kasutajat ja tellimust üheaegselt.
- Rakendus hoiab kasutaja andmeid ja faile turvaliselt.
- Rakenduse funktsioonid peavad olema testitud.
- Rakendus toetab uute arenduste lisamist.

Siinkohal tekkis projekti meeskonnal üks kitsaskoht – hinnakalkulatsiooni aeglus. Mõnel juhul võib arvutus kesta kauem kui soovitud paar sekundit, mis võib jätta kasutajale mulje süsteemi üldisest aeglusest. Selle probleemi lahendamine on planeeritud järgmiste optimeerimisetappide käigus.

Kokkuvõttes võib järeldada, et loodud veebirakendus täidab lõputöö püstitatud eesmärgi nii tehnilisest kui ka ärilisest vaatenurgast. See loob tugeva aluse Neptune First OÜ uueks ärisuunaks, võimaldades pakkuda klientidele usaldusväärseid, täpseid ja mugavalt 3D-teenuseid.

5.2 Kitsendused ja piirangud

Vaatamata arendatud hinnakalkulaatori rakenduse praktilisusele ja ärilisele väärtusele tuleb arvestada mitmete tehniliste ja sisuliste kitsenduste ning piirangutega, mis võivad mõjutada kalkulatsiooni täpsust ja süsteemi töökindlust. Peamised piirangud tulenevad kasutatava sisendi (STL-failid), *slicer*’i tarkvara tehniliste võimaluste ning kasutajapoolse sisendi kvaliteedist.

5.2.1 STL-failide keerukus

Rakenduse tööpõhimõtte eeldab, et kasutaja laadib üles oma 3D-mudeli STL-failina. STL-formaat on standardiseeritud, kuid see ei sisalda teavet mudeli materjaliomaduste kohta ega muud täiendavat metaandmestikku, mis võiks olla oluline edasiseks töötlemiseks. Lisaks võib üleslaetud fail olla:

- **Geomeetriliselt vigane** – näiteks mittesuletud pinnad, kattuvad kolmnurgad või vale kolmnurkade orientatsioon, mis võivad mõjutada mudeli korrektsust printimiseks.
- **Ebaoptimaalne orienteeritus** – mudel pööratud viisil, mis suurendab tugistruktuuride vajadust ja mõjutab kihilist ehitusloogikat.
- **Optimeerimata mudelistruktuur** – võib sisaldada tarbetuid või väga väikseid detaile, suurendades G-koodi keerukust ja vähendades printimisaja ennustatavust.

Sellised probleemid võivad moonutada lõplikku ruumala, printimisaja ja filamendikulu kalkulatsiooni, millele kogu hinnamudel tugineb.

5.2.2 Slicer'i piirangud

Rakenduses kasutatakse PrusaSlicer tarkvara G-koodi genereerimiseks, mis põhineb STL-failist saadud geomeetrial ja kasutaja määratud parameetritel (nt infill, toetusstruktuurid). Selle kasutamisel ilmnevad järgmised piirangud:

- **Mudel jääb algseesse asendisse** – PrusaSlicer ei teosta STL-faili automaatset orienteerimist. Kui kasutaja laadib mudeli üles ebasobivas asendis, võib see suurendada vajadust tugistruktuuride järele ning pikendada printimisaega.
- **Mitme koopiaga printimise puuduv simulatsioon** – vaikimisi luuakse G-kood vaid ühe detaili jaoks. Seetõttu ei arvestata, mitu koopiat mahub korraga printeri plaadile ega nende mõju printimisajale ja materjalikulule. Selle lahendamine eeldab täiendavat arendust argumentide --instances ja --arrange rakendamisega.
- **Printeri profiili lihtsustus** – rakendus tugineb kasutaja sisestatud tööala mõõtmetele, kuid ei arvesta konkreetse printeri mehaanilisi ega termilisi omadusi, mis võivad mõjutada tegelikku tööaega ja printimise kvaliteeti.

Kuigi hinnakalkulatsioon on automatiseeritud, ei kontrolli süsteem, kas mudel on praktiliselt printitav (nt liiga õhukesed seinad, üleulatuvad detailid, ebaoptimaalsed joonised). Inimkontrolli puudumisel võivad ebaõnnestunud kalkulatsioonid või ebareaalsed tulemused jääda kasutajale märkamatuks. Samuti võib kasutaja sisestada ebakorrektsid väärtusi (nt negatiivne *infill*-protsent või liiga suur kogus), mille suhtes on vaja lisakontrollimehhanisme.

Kõik kirjeldatud piirangud ei tulene niivõrd arendatud tarkvara puudustest, vaid pigem 3D-printimise protsessi loomusest, kus lõplik tulemus sõltub paljudest muutujatest. Nendest piirangutest teadlik olemine aitab tulevikus täiendada rakendust, lisades näiteks STL-faili kontrollimehhanisme, automaatset orienteerimist või täpsemat printeri profiili haldust.

5.3 Tuleviku parendused

Tulevikuvaade hinnakalkulaatori veebirakendusele avab mitmeid võimalusi süsteemi laiendamiseks, täpsustamiseks ja innovatsiooniks nii tehnilise arhitektuuri, funktsionaalsuse kui ka ärimudeli tasandil. Järgnevalt on välja toodud olulisemad suunad, mille realiseerimine võimaldaks senisest intelligentsemat, jätkusuutlikumat ja konkurentsivõimelisemat lahendust.

Failitüüpide laiendamine

Hetkel toetab süsteem vaid .stl formaadis 3D-mudeleid, kuid tuleviku suunaks oleks lisada tugi ka teistele insenertehnilistele failiformaatidele nagu .step, .obj, .3mf jmt. See võimaldaks laiendada kasutajaskonda, kaasates inseneride ja tootearendajate keskkondi, kus kasutatakse keerukamaid CAD-faile. Failiparserid ja geomeetriaanalüüs tuleks vastavalt formaadile eraldi arendada või integreerida olemasolevate tööstustööriistadega.

Manuaalselt mõõtmete määramise funktsioon

Üks prioriteetsetest arendustest, mis jäi arendamise käigus lisamata, on funktsioon, mis võimaldab kasutajatel määrata või muuta mudeli mõõtmeid. Funktsioon annab kasutajatele suurema paindlikkuse ja kontrolli oma mudeli üle, võimaldades kohandada mõõtmeid vastavalt individuaalsetele vajadustele. See on oluline keerukamate objektide puhul, kus täpsed mõõtmed võivad mõjutada nii printimise kvaliteeti kui ka lõpptootmise

täpsust, mida automaatsed analüüsid või rakenduses pakutavad vaikeseaded ei pruugi katta.

Täpsemad kulumudelid ja reaalaajas sisendid

- **Energiatarbimise arvestus:** Printimise maksumuse kalkulatsiooni võiks integreerida dünaamiline energiakulu, mis põhineks masina nominaaltarbel ja tegelikul tööajal. Edasijõudnud lahendusena võib kasutada elektrienergia börsihinda, mis muudab süsteemi hinnastuse tundlikuks turutingimustele.
- **Materjalide sertifikaadipõhine hinnastus:** Toetada võiks spetsiaalsete sertifitseeritud filamentide hinnastust, millele rakenduvad eristuvad reeglid (nt meditsiiniline kasutus, toidukontakt jne).
- **Kulumaterjalide ja seadmete elutsükli hindamine:** Amortisatsioonimudelit võiks täpsustada, võttes arvesse komponentide kasutustsükli, hooldusintervalle ja reaalselt kulumisandmestikku.

Intelligentsed kasutusmustrid ja AI-rakendused

- **AI-põhine mudeligenereatsioon:** Integreerida generatiivne tehisintellekt (nt kasutades LLM- või 3D-GAN-algoritme), mis võimaldab kasutajatel esitada funktsionaalse kirjelduse ja saada vastav 3D-mudel automaatselt. See avaks täiesti uue kasutajasegmendi – kliendid, kellel puudub modelleerimise oskus.
- **Printimiskulude ennustamine masinõppe abil:** Tööde ajaloolise andmestiku põhjal saaks rakendada regressioonimudeleid, mis prognoosivad kulusid ka mittetäielike sisendite puhul. See sobib hästi tellimuse algfaasis indikatiivse hinna andmiseks.
- **Automatiseeritud parandus- ja optimeerimisalgoritmid:** Tehisintellekti toel võiks tuvastada STL-failides tüüpilisi modelleerimisvigu ja pakkuda automaatseid parandusi enne kalkulatsiooni käivitamist.

Teenuse laiendamine

- **API teenusena teistele ettevõtetele:** Kalkulatsioonimoodulit saab pakkuda REST API kujul teenusena (API-as-a-Service) teistele 3D-printimise teenusepakkujatele. Selleks tuleks dokumenteerida liides, rakendada autentimine ning pakkuda taristupõhist SLA-d (ingl *Service Level Agreement*).

- Turupõhine tellimiskeskond: Rakenduse baasil saab luua hankeplatvormi, kus kliendid esitavad tellimuse ning erinevad teenusepakkujad konkureerivad hinna, tarneaja ja kvaliteedi osas. See sarnaneb ärimudelile, mida kasutab hange.ee või 99designs.

Kliendi- ja äriväärtuse kasvatamine

- **Keskkonnamõju kalkulaator:** Iga tellimuse juures võiks kuvada hinnangulist CO₂ jalajälge, pakkudes võimalust valida madalama keskkonnamõjuga printimisseade või filament.
- **Tarbijamustrite analüüs:** Süsteem võiks jälgida kliendi tegevusi ja soovitada automaatselt parimaid konfiguratsioone või optimaalseid tellimuste jagunemisi vastavalt ajaloolisele kasutusele.
- **Tellimuste elutsükli juhtimine:** Tulevikulahendusena võiks kalkulaator olla integreeritud tellimuste haldussüsteemi, mis võimaldab kogu töövoogu haldust ühest liidesest – alates hinnapäringust kuni arvelduse ja logistikani.

Integreeritus ja ökosüsteemi laiendamine

- ERP ja CRM liidestus: Kalkulaatori andmeid võiks reaalajas integreerida ettevõtte raamatupidamis-, kliendihalduse või laojuhtimissüsteemidega (nt läbi Zapieri, Make'i või kohandatud API).

5.4 Äriline mõju ja põhjendatus

Arendatav 3D-printimise hinnakalkulaatori veebirakendus omab selget ärilist väärtust ning pakub strateegilist lahendust mitmetele kitsaskohtadele, millega seisavad silmitsi nii 3D-printimise teenusepakkujad kui ka tootmisressursse alakasutavad ettevõtted.

Tellijate ettevõtte põhitegevus on seotud purjetamistehnoloogia arendamisega, kuid kuna tegemist on varajases faasis ettevõttega ja kliendibaas ei ole veel suur, jäävad riistvara tootmiseks soetatud 3D-printerid sageli kasutuseta. Selline seismine tähendab ka seadmete amortiseerumist ilma tulu teenimata. Ettevõtte saaks olemasolevaid ressursse targemalt rakendada, pakkudes oma põhitegevuse kõrvalt lisateenusena nii 3D-mudelite koostamist kui ka nende printimist teistele klientidele. Just siin tulebki mängu

automatiseeritud hinnakalkulaatori rakendus, mis võimaldab teenust efektiivselt, kulusäästlikult ja skaleeritavalt pakkuda.

5.4.1 Ärilised eelised

Ajatõhusus ja töövoo optimeerimine: Automatiseeritud kalkulatsioon võimaldab hinnapäringu teha reaalajas ja ilma inimsekkumiseta. Tellimuste menetlemine muutub oluliselt kiiremaks, võimaldades sama ajaga teenindada rohkem kliente ning optimeerida olemasolevate seadmete kasutust.

Kulude vähendamine ja ressursside maksimaalne kasutus: Kuna hinnapakumised luuakse süsteemi poolt, ei ole vaja igale päringule reageerida käsitsi. See vähendab töötajate ajakulu ja võimaldab keskenduda rohkem väärtust loovatele tegevustele. Samuti võimaldab see hoida printereid kasutuses, vähendades tühikäigust tulenevat amortisatsiooni.

Kasumlikkuse kasv: Kalkulatsioonimudel arvestab kõiki olulisi kulukomponente – materjalikulu, tööaeg, amortisatsioon, energiatarve, kasumimarginaal jne – ning väldib olukordi, kus töid hinnatakse alla tegeliku omahinna. See tagab jätkusuutliku hinnastamise ja vähendab kahjumiohtu.

Kliendikogemuse parendamine ja 24/7 teenus: Klient saab hinnainfo kohe, ilma ootamiseta. Failide üleslaadimine ja hindade kalkulatsioon toimuvad veebipõhiselt, mistõttu on teenus kättesaadav ööpäevaringselt. See suurendab usaldusväarsust ja mugavust.

Konkurentsi eelis turul: Tänu kiirele ja läbipaistvale hinnastusprotsessile saab pakkuda professionaalset teenust, mis annab eelise turul, kus klient ootab mugavust ja kohest tagasisidet.

5.4.2 API lisaväärtus: müügiks valmis tehnoloogia

Lisaks sisekasutusele saab hinnakalkulaatori API-t pakkuda ka müügiks teistele 3D-printimisega tegelevatele ettevõtetele. Teenus toimib pilvepõhiselt, kus klient (nt väikeettevõtte, haridusasutus või prototüüpimiskeskus) integreerib hinnakalkulaatori enda veebikeskkonda või sisetööriistadesse. Selline "*Software as a Service*" (SaaS) mudel võimaldab uue ärisuuna loomist: arendaja saab küsida kuutasu või tasu päringu alusel,

pakkudes automaatset hinnastamist ka neile, kellel pole piisavat tehnilist suutlikkust enda kalkulaatorit arendada.

5.5 Alternatiivsed lahendused

Tarkvaraarenduses ja äriliste IT-süsteemide juurutamises on oluline hinnata erinevaid tehnoloogilisi ning arhitektuurilisi alternatiive, mis võiksid suurendada lahenduse paindlikkust, vähendada sõltuvust üksikutest komponentidest või pakkuda konkurentsieelist skaleeritavuse ja kuluefektiivsuse osas. Käesoleva süsteemi kontekstis saab välja tuua kaks peamist alternatiivide kategooriat: (1) teistsugused viilutamise (*slicing*) lahendused ja (2) alternatiivsed hinnastamismudelid.

5.5.1 Viilutamise mootorite alternatiivid

Hetkel kasutatav viilutaja põhineb konkreetse tootja *slicer*-tarkvaral, mis võtab sisendina vastu STL-faili ning tagastab arvutusliku hinnangu printimisajale ja materjalikulule. Selline arhitektuuriline lahendus kätkeb aga endas teatud riske ja kitsaskohti, sealhulgas sõltuvust kolmanda osapoole tarkvarast, mille arendus või litsentsimispoliitika võib ajas muutuda.

Alternatiivina võiks kaaluda järgmisi *slicing*-lahendusi:

- PrusaSlicer CLI või CuraEngine kui avatud lähtekoodiga alternatiivid, mis toetavad REST API-ga integreerimist ja võimaldavad parameetrite (nt kiirus, kihtide kõrgus, täiteaste) täpsemat juhtimist.
- Cloud-slicing teenused (nt 3DPrinterOS, AstroPrint) võimaldavad töödelda faile hajusalt ning tagavad suurema töökindluse kõrge koormuse korral, ent võivad kätkeada andmekaitsega seotud riske.
- Kohandatud slicing-moodulid, mis põhinevad masinõppemudelitel, võimaldaksid viilutusalgoritmi tulemusi ennustada lähtuvalt ajaloolistest andmetest ja mudeli geomeetriast, ilma et peaks STL-faile alati füüsiliselt töötlusse saatma.

Selliste alternatiivide rakendamine võib vähendada töötusaega ja tõsta süsteemi autonoomsust, ent eeldab täiendavat validatsiooni ning potentsiaalselt keerulisemat hooldust ja monitooringut.

5.5.2 Alternatiivsed hinnastamismudelid

Tehnilisest vaatenurgast saab hinnastamisloogikat kujundada mitmel viisil, sõltuvalt ärimudelist ja sihtturust. Lisaks lineaarsele hinna arvutamisele kulukomponentide baasil (materjal, aeg, amortisatsioon) võib kaaluda järgmisi mudeleid:

- Tariifipõhine hinnastus, kus kliendile pakutakse erinevaid teenustasemeid (nt standard vs. ekspress) kindlate ühikhindadega.
- Tellimuspõhine mudel (ingl subscription-based), kus kliendid maksavad fikseeritud kuutasu ning saavad selle eest piiratud või piiramatul hulgal hinnakalkulatsioone ja printimist.
- Muutuva marginaaliga mudel, kus kasumimarginaal sõltub töö keerukusest või kasutatava filamendi turuhinnast – sobilik olukorras, kus materjalihinnad kõiguvad.
- AI-toega dünaamiline hinnastamine, mille aluseks on eelmiste sarnaste tellimuste andmestik ning printimise edukusmäär. Selline lahendus võimaldab pidevat optimeerimist ja isereguleeruvat marginaalide juhtimist.

Lisaks võib süsteemi arhitektuuri laiendada nii, et hinnakalkulaatori API oleks kättesaadav ka kolmandatele osapooltele, kes soovivad sama loogikat kasutada omaenda platvormides. Selleks tuleks rakendada autentimis- ja autoriseerimismehhanisme, näiteks OAuth 2.0, mis võimaldab turvaliselt välistele rakendustele anda piiratud ligipääsu kasutajaandmetele ilma vajaduseta jagada kasutaja paroole, luues selge eristuse ressursiomaniku ja kliendi vahel ning võimaldades kontrollitud ja auditeeritavat juurdepääsu vastavalt määratletud õigustele ja kestusele [33].

5.5.3 Turupõhise tellimiskeskonna potentsiaal

Alternatiivse arhitektuurilise ja ärimudellise suunana võiks kaaluda ka turupõhise tellimiskeskonna loomist, kus teenusepakkujateks ei oleks üksnes rakenduse haldaja, vaid iga 3D-printerit omav kasutaja, kes soovib oma seadmete kaudu pakkuda printimisteenust. Selline lähenemine muudaks süsteemi hajusaks teenusplatvormiks, kus kliendid esitavad tellimuse ja erinevad teenusepakkujad saavad sellele reageerida pakkumisega. Rakendus toimiks sisuliselt nagu hankeportaal (nt hange.ee), kus tellija ei vali konkreetset teenuseosutajat, vaid esitab vajaduse, mille peale konkurents osalevad

pakkujad annavad oma hinnangu, tähtaja ja tingimused [20]. Selline mudel looks paindlikkust, suurendaks printimisvõimsuse kättesaadavust erinevates piirkondades ning võimaldaks rakenduse arendajal keskenduda eelkõige platvormi tehnoloogilisele ja logistilisele haldamisele. Turupõhise süsteemi rakendamine eeldaks siiski detailsemat töövoogude kontrolli, usaldusmehhanismide arendamist ning rollipõhise autentimise kasutuselevõttu, näiteks OAuth 2.0 põhjal.

5.5.4 Logid ja meeskondlik hinnang

Meeskonna liikmed panustasid projekti võrdselt. Projektile pühendatud aeg logiti rakenduses Toggl, mille alusel logiti autorite peale kokku $277,5 + 260,9 = 538,4$ tundi tööd (vt Joonis 47, Lisa 5 ja Joonis 48, Lisa 6).

Autorite vaheline koostöö toimus tõhusalt ning ülesannete jaotamine kulges loomulikult, kuna autoritel oli huvi erinevate projekti osade vastu. Kommunikatsioon oli paindlik ja probleemidele reageerisid mõlemad väga kiirelt, mis võimaldas säilitada arenduse tempo kogu protsessi vältel. Kanban-meetodi rakendamine soodustas rollide vaheldumist, mis omakorda toetas autorite tehniliste oskuste mitmekülgset arengut. Kokkuvõttes olid autorid valitud teemaga väga rahul, kuna see pakkus mõlemale sisulist huvi ning inspireeris mõtlema ka tulevaste arendusprojektide peale.

Kokkuvõte

3D-printimine on kiiresti arenev tootmisviis, mille automatiseeritud teenused muutuvad ettevõtetele üha olulisemaks. Eestis puudub terviklik lahendus, mis võimaldaks klientidel tellida 3D-teenuseid iseseisvalt ja reaajas hinnastatult.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli luua veebirakendus, mis võimaldab Neptune First OÜ-l pakkuda automatiseeritud 3D-printimise teenust lõppklientidele. Töö käigus analüüsiti olemasolevaid turulahendusi ning määratleti tehnilised ja funktsionaalsed nõuded. Arendusprotsessis kasutati iteratiivset metoodikat, rakendades tänapäevaseid tehnoloogiaid nagu Vue, .NET, PrusaSlicer ja Postman.

Töö tulemusel loodi veebirakendus, mis võimaldab kasutajal üles laadida 3D-mudel, valida parameetrid ning saada reaajas hinnakalkulatsiooni. Süsteem hõlmab kogu tellimustsükli alates sisendist kuni printimiskäsuni, toetades nii 3D-mudeli kui ka prinditöö tellimist. Lisaks arendati välja administreerimisliides teenusepakkuja tellimuste haldamiseks.

Töö näitas, et hinnakalkulatsiooni automatiseerimine on tehniliselt teostatav ning äriselt põhjendatud. Arendatud lahendus suurendab teenuse kättesaadavust, vähendab käsitööd ja toetab ressursi efektiivsemat kasutamist. Edasistes arendustes nähakse potentsiaali süsteemi laiendamiseks ning liidestamiseks teiste ärirakendustega.

Kasutatud kirjandus

- [1] „Prusa 3D,“ Prusa Research. Available: https://www.prusa3d.com/page/prusaslicer_424/. [Kasutatud 25 03 2025].
- [2] S. Ali, A. Al-Otoom, M. T. Aljarrah, H. Mahasneh ja E. Saleh, „Opportunities and challenges in utilizing of 3D printing technology review; Case study in the state of Qatar industry,“ *Material Today Sustainability*, September 2025.
- [3] N. Shahrubudin, T. Lee ja R. Ramlan, „An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials,“ *Procedia Manufacturing*, 2019.
- [4] S. K. Panda, K. C. Rath, S. Mishra ja A. Khang, „Revolutionizing product development: The growing importance of 3D printing technology,“ *Materials Today: Proceedings*, 31 Oktoober 2023.
- [5] K. Rong, D. Patton ja W. Chen, „Business models dynamics and business ecosystems in the emerging 3D printing industry,“ *Technological Forecasting and Social Change*, September 2018.
- [6] T. Rayna ja L. Striukova, „From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation,“ *Technological Forecasting and Social Change*, Jaanuar 2016.
- [7] P. Holzmann ja R. J. Breiteneker, „Business model design for novel technologies in nascent industries: An investigation of 3D printing service providers,“ *Technological Forecasting and Social Change*, Oktoober 2020.
- [8] L. Sun, G. Hua, T. Cheng, R. H. Teunter, J. Dong ja Y. Wang, „Purchase or rent? Optimal pricing for 3D printing capacity sharing platforms,“ *European Journal of Operational Research*, 16 06 2023.
- [9] D. Jha, R. Sawant, S. Mukherjee, A. Ashvinbhai ja R. K. Upadhyay, „Redefining supply chain and related aspects through integration of 3D printing technology,“ *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2025.
- [10] L. Sun, G. Hua, T. Cheng ja Y. Wang, „How to price 3D-printed products? Pricing strategy for 3D printing platforms,“ *International Journal of Production Economics*, August 2020.
- [11] A. Gažová, Z. Papulová ja D. Smolka, „Effect of Business Process Management on Level of Automation and Technologies Connected to Industry 4.0,“ *Procedia Computer Science*, 2022.
- [12] J. A. Gómez Gandía, S. Gavrila Gavrila, A. d. L. Ancillo ja M. T. del Val Nunez, „Towards sustainable business in the automation era: Exploring its transformative impact from top management and employee perspective,“ *Technological Forecasting and Social Change*, Jaanuar 2025.

- [13] L. P. Raut, R. B. Wakode ja P. Talmale, „Overview on Kanban Methodology and its Implementation“, *Research Gate*, Juuli 2015.
- [14] „3DKoda“, 3DKoda OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://3dkoda.com/hinnakalkulaator/>. [Kasutatud 15 02 2025].
- [15] „Shapeways“, Shapeways, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.shapeways.com/model/material-configurator/upload>. [Kasutatud 15 02 2025].
- [16] „Hubs“, Prolabs Network, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.hubs.com/manufacture/?technology=3d-printing&_gl=1*6z25ql*_up*MQ.*_ga*MTUwMjU0NTc3OC4xNzQ3NDkzMDA1*_ga_T960KNB2NB*cze3NDc0OTMwMDUkbzEkZzAkdDE3NDc0OTMwMDUkajAkbDAkaDExMzcwMjcwMTQkZFo0X0swMnlUS294Xzl5akNsQUF3RmFZWmpMYmV3NGpKZGc.. [Kasutatud 15 02 2025].
- [17] „Sculpteo“, Sculpteo, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sculpteo.com/en/upload/>. [Kasutatud 15 02 2025].
- [18] „3D printing“, BALTAL OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.3dprinting.ee/hinnaparing/>. [Kasutatud 15 02 2025].
- [19] „3D print 24“, Voltride OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://3dprint24.ee/#pakkumine>. [Kasutatud 15 02 2025].
- [20] „orca-slicer“, Orca Slicer, [Võrgumaterjal]. Available: <https://orca-slicer.com/>. [Kasutatud 13 02 2025].
- [21] N. C. Maideen, M. H. Nazri, S. Budin, K. M. Hyie, H. Yusoff ja S. Sahudin, „The effect of different slicing software on the manufacturing performance of 3D printed parts“, *Jurnal Mekanikal*, 1 Detsember 2023.
- [22] I. Pereyra, *Universal Principles of UX*, Beverly: Rockport Publishers, 2023.
- [23] C. Drumond, „Atlassian“, Atlassian, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.atlassian.com/agile/scrum>. [Kasutatud 28 03 2025].
- [24] „The Kanban method“, Kanban Tool, [Võrgumaterjal]. Available: <https://kanbantool.com/kanban-method>. [Kasutatud 28 03 2025].
- [25] M. Rehkopf, „Kanban vs. scrum: which agile are you?“, Atlassian, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.atlassian.com/agile/kanban/kanban-vs-scrum>. [Kasutatud 28 03 2025].
- [26] „4 Kanban Principles for Agile Project Management“, Atlassian, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.atlassian.com/agile/project-management/kanban-principles>. [Kasutatud 01 03 2025].
- [27] „Functional and Nonfunctional Requirements: Specification and Types“, Altexsoft, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.altexsoft.com/blog/functional-and-non-functional-requirements-specification-and-types/>. [Kasutatud 03 03 2025].
- [28] „Nonfunctional Requirements“, Safe Studio, [Võrgumaterjal]. Available: <https://framework.scaledagile.com/nonfunctional-requirements>. [Kasutatud 05 03 2025].
- [29] „Docker“, Docker, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.docker.com/>. [Kasutatud 14 April 2025].
- [30] P. D. Garaguso, *Vue.js 3 Design Patterns and Best Practices: Develop scalable and robust applications with Vite, Pinia, and Vue Router*, Packt Publishing, 2023.

- [31] A. Tanovic ja A. Muratovic, „Innovative Approach to Accelerating Laravel Backend Generation from Vue.js Components Using Axios, Artificial Intelligence and Artisan Commands,“ *IEEE*, November 2024.
- [32] A. Fedorov, R. Beichel, J. Kalpathy.Cramer, J. Finet, J.-C. Fillion-Robin, S. Pujol, C. Bauer, D. Jennings, F. Fennessy, M. Sonka, J. Buatti, S. Aylward, J. V. Miller, S. Pieper ja R. Kikinis, „3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network,“ *Magnetic Resonance Imaging*, November 2012.
- [33] „Hange,“ Hange.ee teenused OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hange.ee/kkk/>.
- [34] L. S. Sterling, *The Art of Agent-Oriented Modeling*, London: The MIT Press, 2009.

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

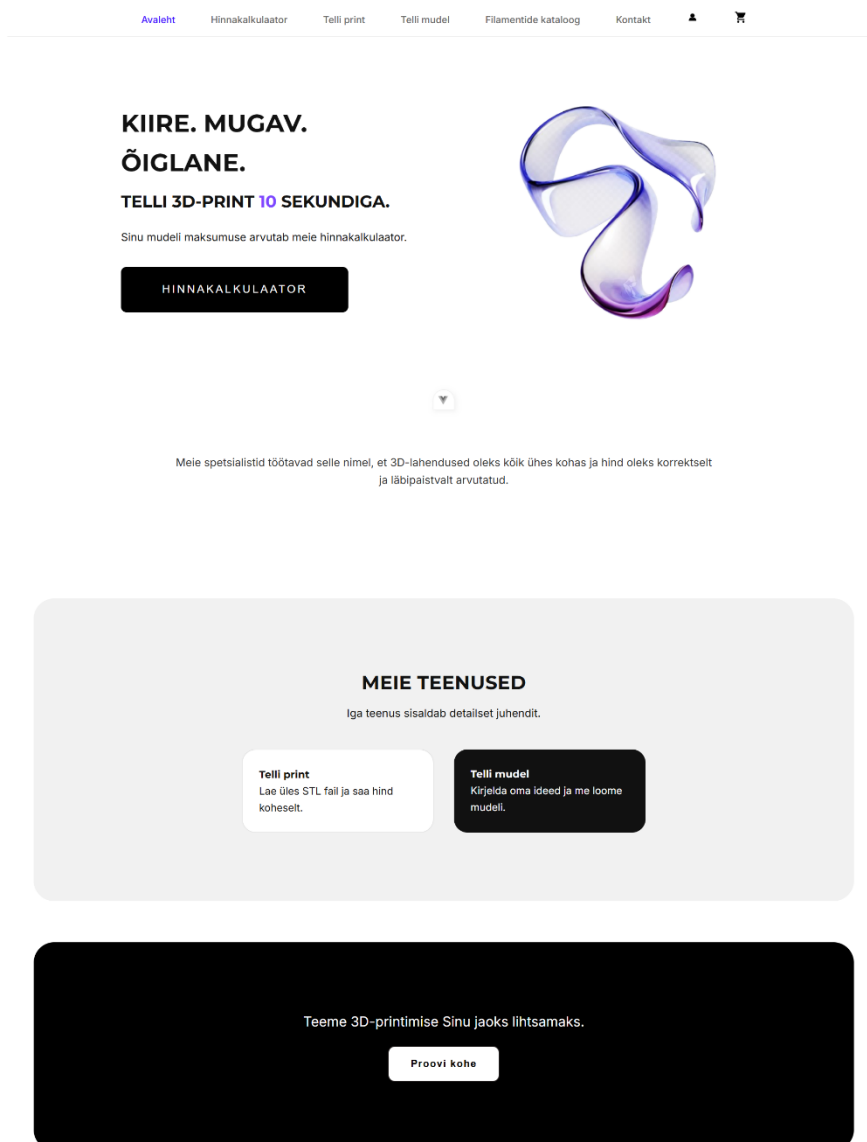
Autorid Liisbeth Kesamaa ja Delis Pajuri

1. Annavad Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „3D-printimise hinnakalkulaatori veebirakendus Neptune First OÜ-le“, mille juhendaja on Tarvo Treier
 - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Oleme teadlikud, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitame, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

20.05.2025

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Lisa 2 – Kasutajaliidese illustratsioonid



Joonis 6. Avalehe vaade.

[Avalaht](#)[Hinnakalkulaator](#)[Telli print](#)[Telli mudel](#)[Filamentide kataloog](#)[Kontakt](#)

Hinnakalkulaator

Telli 3D-print kiirelt ja mugavalt. Täida vorm ja saa kohene hinnapakkumine.

Kalkuleeri hind

Silia tuleb juhend.

LISA MUDELI FAIL

VALI TEHNOLOOGIA

VALI FILAMENT

-- Vali filament --

VALI INFILL

Infill

%

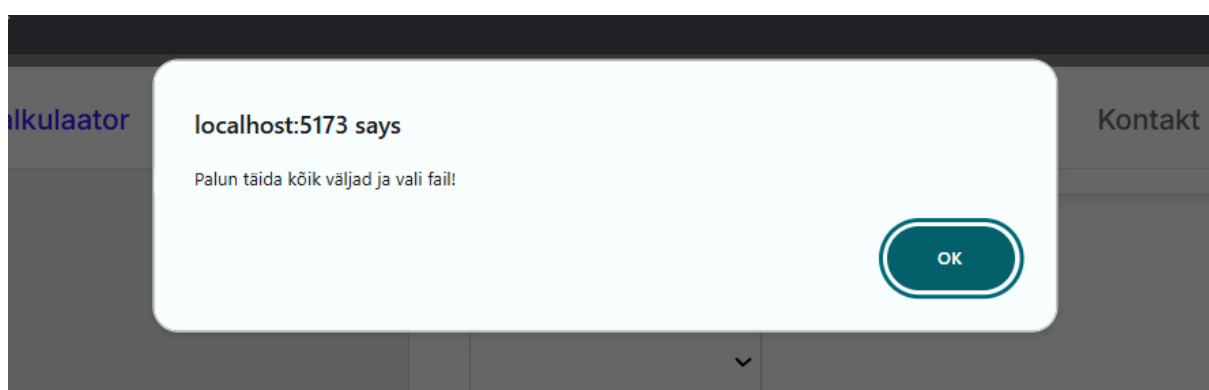
SISSESTA KOGUS

Kogus

TK

KALKULEERI

Joonis 7. Hinnakalkulaatori esmane vaade ilma sisendita.



Joonis 8. Veateade tühjade hinnakalkulaatori väljade ja/või faili osas.

Hinnakalkulaator

Telli 3D-print kiirelt ja mugavalt. Täida vorm ja saa kohene hinnapakkumine.

Kalkuleeri hind

Silia tuleb juhend.

LISA MUDELI FAIL

VALI TEHNOLOOGIA

VALI FILAMENT

-- Vali filament --

VALI INFILL

Infill %

SISSESTA KOGUS

Kogus TK

KALKULEERI

Joonis 9. Hinnakalkulaatori vaade peale esmast vigaste parameetritega kalkulatsiooni.

Hinnakalkulaator

Telli 3D-print kiirelt ja mugavalt. Täida vorm ja saa kohene hinnapakkumine.

Kalkuleeri hind

Siia tuleb juhend.



LISA MUDELI FAIL

Valitud fail: [razor_STL](#)

VALI TEHNOLOOGIA

FDM

VALI FILAMENT

PLA

VALI INFILL

50 %

SISSESTA KOGUS

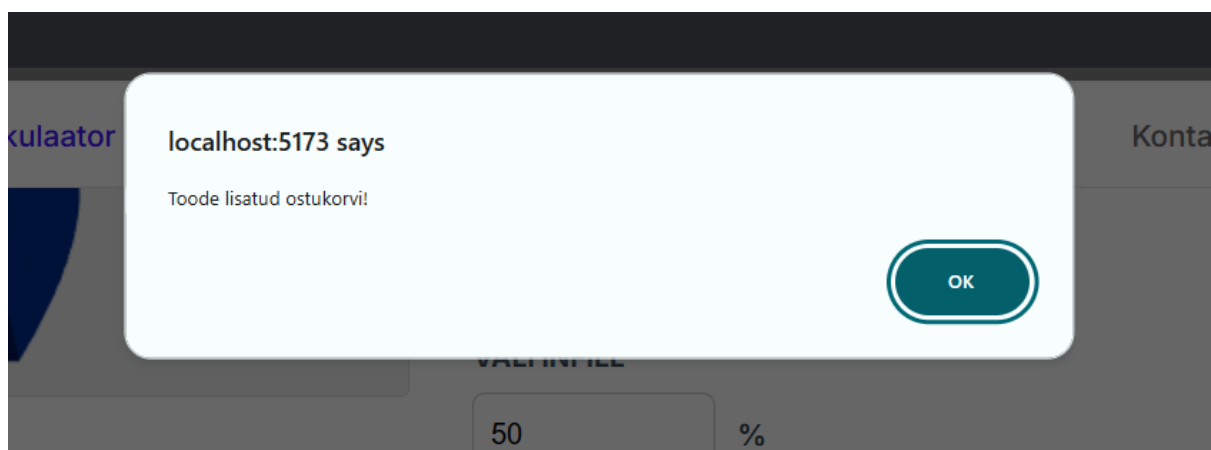
12 TK

KALKULEERI

Hind: 127.74 €

LISA OSTUKORVI

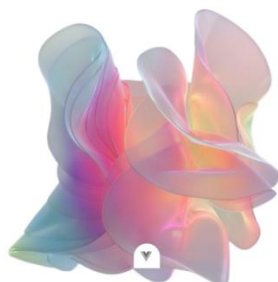
Joonis 10. Hinnakalkulaatori vaade peale sisendit ja edukat kalkulatsiooni.



Joonis 11. Teade, kui klient lisab toote edukalt ostukorvi.

3D-Prindi Tellimine

Prindi tellimine võtab meie juures aega keskmiselt sama kaua kui tossupaelte sidumine.



KUIDAS SEE KÄIB?

1. Kasuta hinnakalkulaatorit.
2. Hinnakalkulaator arvutab hinna.
3. Lisa ostukorvi ja esita tellimus.

VAATA VIDEOST JUHENDIT.



KASUTA HINNAKALKULAATORIT

Joonis 12. „Telli print“ vaade.

3D-Mudeli Tellimine

Sul on äge idee, meil on tööriistad selle elluviimiseks.

Kirjelda oma ideed

Meie tiim võtab sinuga ühendust hinnapakkumisega.

Hea idee kirjeldus sisaldab:

- Mis eesmärgil mudelit kasutatakse;
- Ligikaudsed mõõdud (mm);
- Kas mudelil on liikuvad osad;
- Lisasoovid (värv, pinnaviimistlus jne).



Ees- ja perekonnanimi

E-post

Kirjelda, mida soovid printida...

SAADA

Joonis 13. „Telli mudel" vaade ilma esmase sisendita.

Avaleht Hinnakalkulaator Kontakt 👤 🛒

localhost:5173 says
Vorm saadetud edukalt!

OK

Delis Pajuri

delis.pajuri@gmail.com

Mudeli test

SAADA

Joonis 14. Teade peale mudeli modelleerimise päringu saatmist.



3D Hinnakalkulaator OÜ

saajale mina ▼

21:01 (0 minuti eest)



Tõlgi inglise keelde



Tere,

See on kinnitus, et oleme saanud kätte Teie soovi mudeli modelleerimise teenusele.

Vastame Teile 1-3 tööpäeva jooksul.

Tänades,

3DGen tiim.

Mudeli kirjeldus: Mudeli test

Joonis 15. Kasutaja e-postile jõudnud kiri mudeli modelleerimise päringu osas.

[Avalaht](#)

[Hinnakalkulaator](#)

[Tellim print](#)

[Tellim mudel](#)

[Filamentide kataloog](#)

[Kontakt](#)

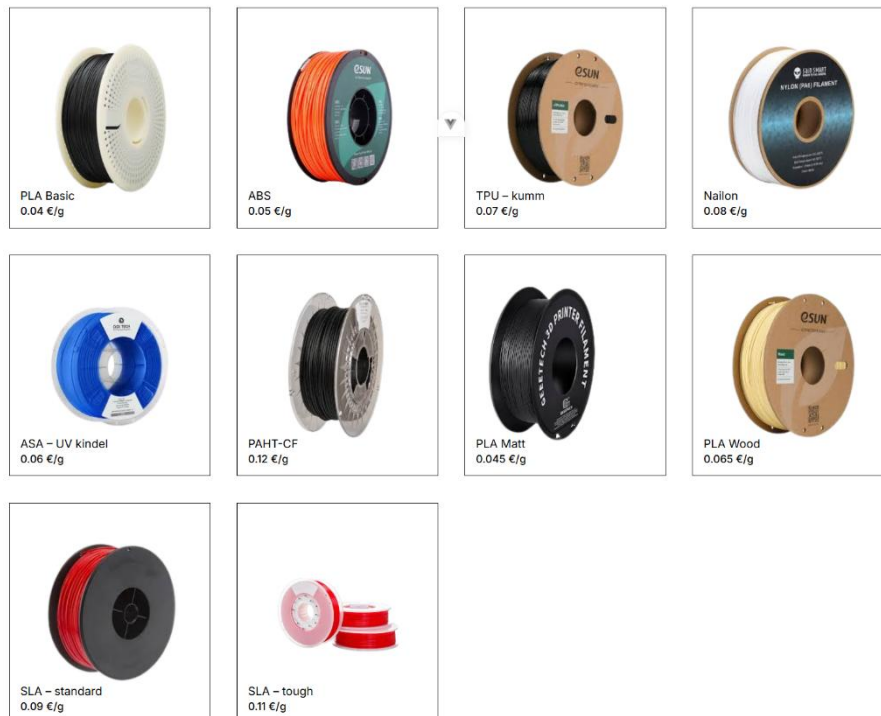


Tutvu Meie Filamentide Valikuga

Enne filamenti valimist, saad siin kataloogis nendega täpsemalt tutvuda.

Filamentid

Filamentivalik uueneb automaatselt vastavalt laoseisule ja uute toodete lisandumisel.



Joonis 16. „Filamentide kataloog" vaade.

[Avalaht](#)[Hinnakalkulaator](#)[Telli print](#)[Telli mudel](#)[Filamentide kataloog](#)[Kontakt](#)

Võta ühendust

Küsi meilt midagi või anna tagasisidet!

+372 512 3456

3dhinnakalkulaator@gmail.com



Joonis 17. „Kontakt“ vaade.

[Avalaht](#)[Hinnakalkulaator](#)[Telli print](#)[Telli mudel](#)[Filamentide kataloog](#)[Kontakt](#)

Liitu meiega

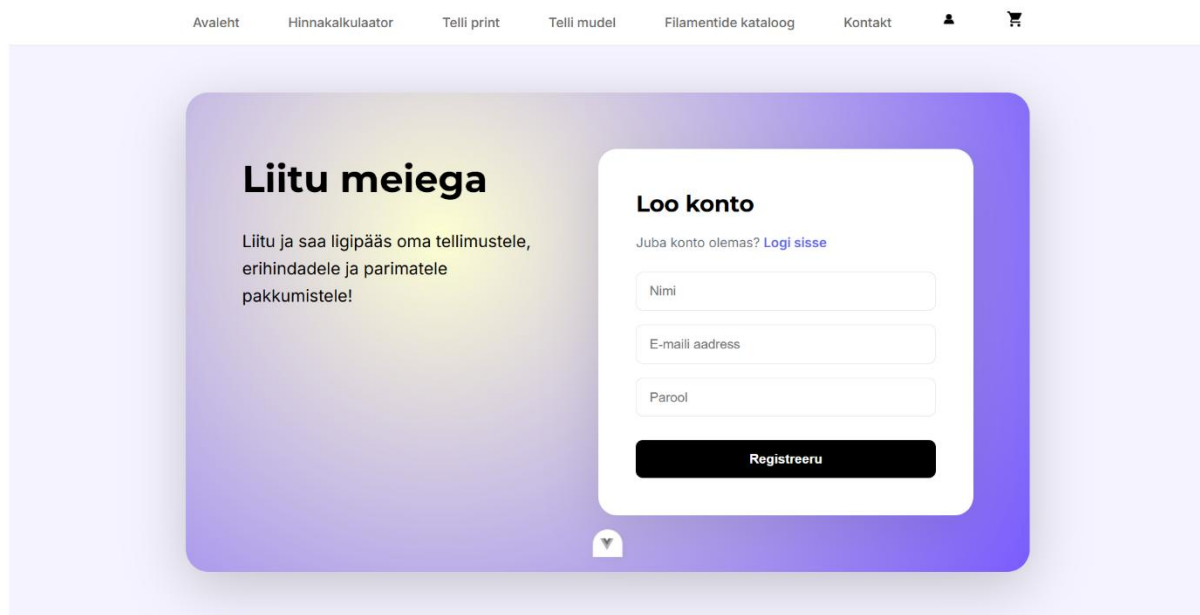
Liitu ja saa ligipääs oma tellimustele, erihindadele ja parimatele pakkumistele!

Logi sisse

Pole veel kontot? [Registreeru](#)



Joonis 18. Kontosse sisse logimise vaade.



Joonis 19. Konto registreerimise vaade.



Joonis 20. Tühja ostukorvi vaade

Sinu Ostukorv

Fail: [razor_STL](#)
Tehnoloogia: FDM
Filament: PLA
Infill: 50%
Kogus: 12 tk
Summa: 127.74 €



Vahe: 127.74 €
Tarne: 4.50 €
Kokku: 132.24 €

MINE KASSASSE →



Joonis 21. Ühte toodet sisaldava ostukorvi vaade.

Tellimuse esitamine

Nimi:

Ees- ja perekonnanimi

E-post:

email@domeen.ee

ESITA TELLIMUS



Joonis 22. Tellimuse esitamise vaade ilma esmase sisendita.

Avaleht

Hinnakalkulaator

localhost:5173 says
Tellimus #9 edukalt saadetud!

Kontakt

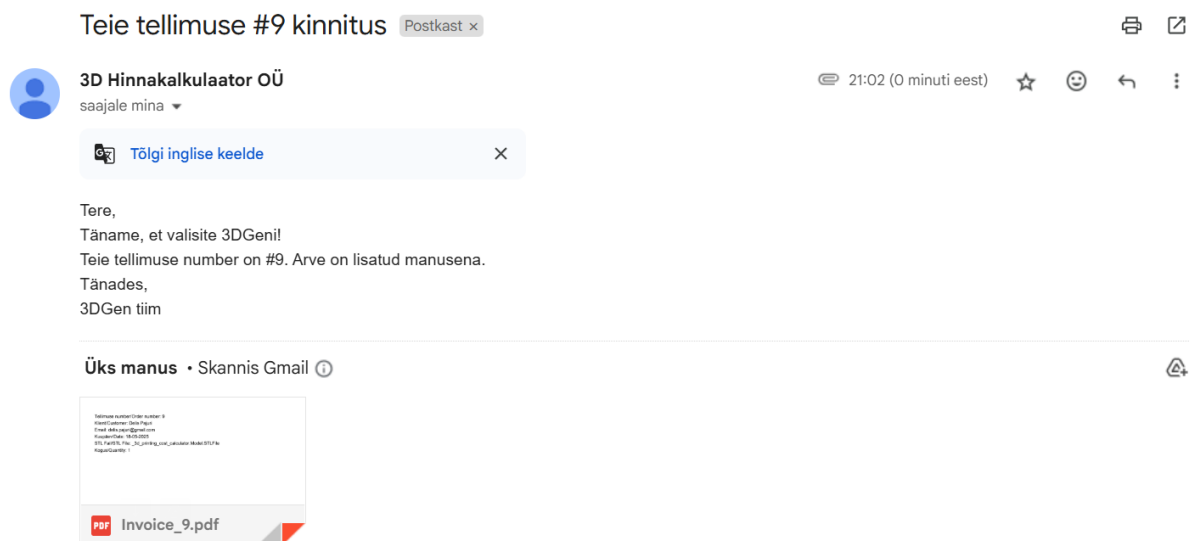
Tellimuse esitamine

Nimi:
Delis Pajuri

E-post:
delis.pajuri@gmail.com

ESITA TELLIMUS

Joonis 23. Teade, mis kuvatakse peale tellimuse esitamist.



Joonis 24. Kasutaja e-postile jõudnud tellimuse kinnitamise kiri koos arvega.

Tere tulemast admin profiilile

Logi välja



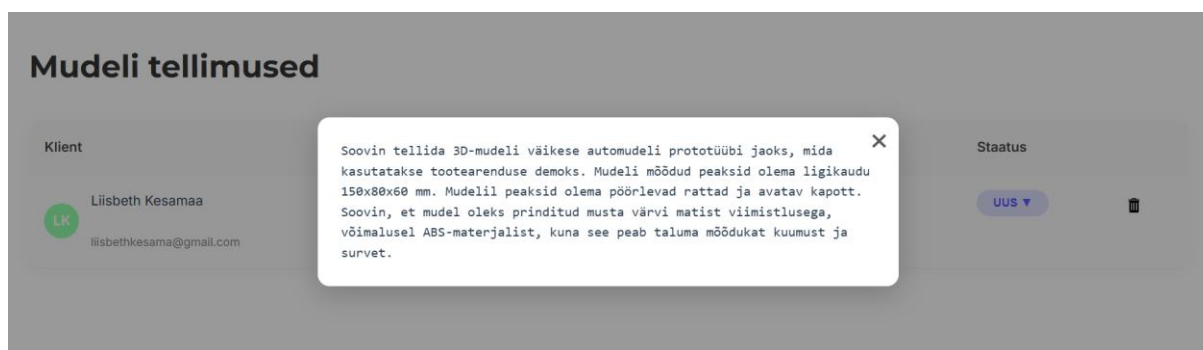
Joonis 25. Admin vaate avaleht.

Mudeli tellimused

Klient	Kirjeldus	Kuupäev	Staatuse	
 delis pajuri delis.pajuri@gmail.com	tahan printi	15. mai 2025, kell 23:11	TÖÖS ▾	
 Liisbeth Kesamaa liisbethkesama@gmail.com	Soovin tellida 3D-mudeli v hõikese ä...	15. mai 2025, kell 18:32	UUS ▾ Võta töösse	



Joonis 26. „Mudeli tellimused" vaade, uue tellimuse staatuse määramine „Võta töösse“.



Joonis 29. Mudeli tellimuse detailse kirjelduse vaade.

Prindi tellimused

Klient	Tellimuse #	Fail	Tehnoloogia	Filament	Infill	Kogus	Summa	Kuupäev	Staatuse
Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	PLA	50%	10	95.79 €	17. mai 2025, kell 16:44	UUS ▼ Võta töösse
Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	PLA	50%	12	127.74 €	17. mai 2025, kell 16:44	UUS ▼
Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	Test filament	12%	122	13594.41 €	17. mai 2025, kell 16:44	UUS ▼

Joonis 30. „Prindi tellimused“ vaade, uue tellimuse staatuse määramine „Võta töösse“.

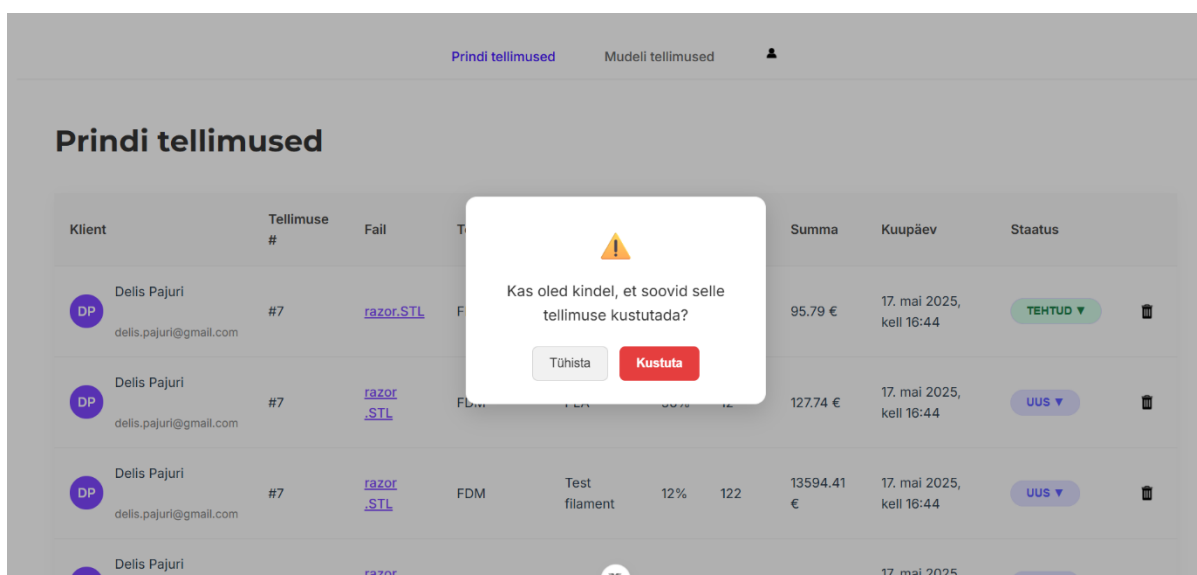
Prindi tellimused

Klient	Tellimuse #	Fail	Tehnoloogia	Filament	Infill	Kogus	Summa	Kuupäev	Staatuse
Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	PLA	50%	10	95.79 €	17. mai 2025, kell 16:44	TÖÖS ▼ Valmis
Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	PLA	50%	12	127.74 €	17. mai 2025, kell 16:44	UUS ▼
Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	Test filament	12%	122	13594.41 €	17. mai 2025, kell 16:44	UUS ▼

Joonis 31. „Prindi tellimused“ vaade, staatuse määramine „Töös“ staatusest „Valmis“ staatusesse.

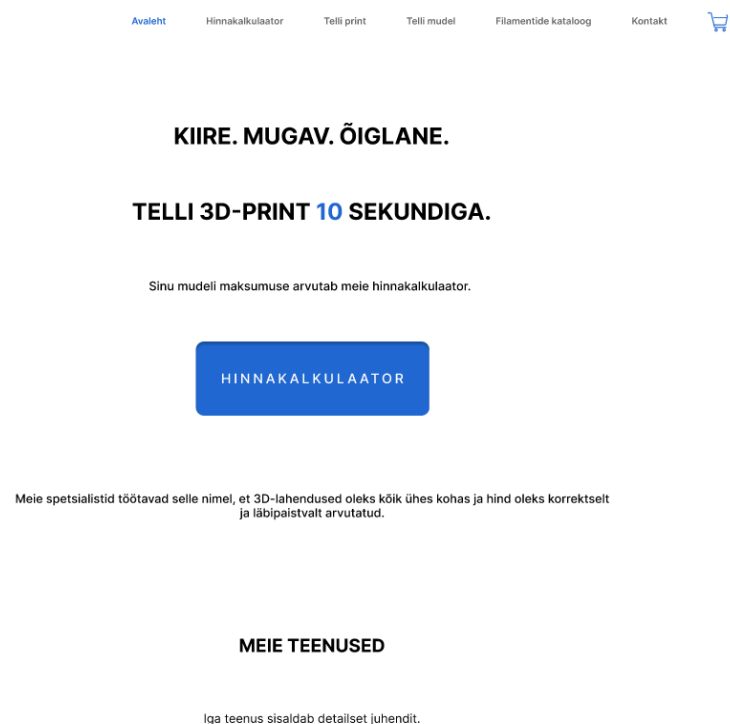
Klient	Tellimuse #	Fail	Tehnoloogia	Filament	Infill	Kogus	Summa	Kuupäev	Staat
DP Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	PLA	50%	10	95.79 €	17. mai 2025, kell 16:44	TEHTUD ▼
DP Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	PLA	50%	12	127.74 €	17. mai 2025, kell 16:44	UUS ▼
DP Delis Pajuri delis.pajuri@gmail.com	#7	razor.STL	FDM	Test filament	12%	122	13594.41 €	17. mai 2025, kell 16:44	UUS ▼

Joonis 32. „Prindi tellimused“ vaade, staatus „Tehtud“ peale „Valmis" määramist.



Joonis 33. Prindi tellimuse kustutamise kinnituse teade.

Lisa 3 – Figma prototüüp



Joonis 34. Prototüübi „Avaleht“ vaade Figma.

MEIE TEENUSED

Iga teenus sisaldab detailset juhendit.



Joonis 35. Prototüübi avalehe alumine osa Figma.

[Avaleht](#) [Hinnakalkulaator](#) [Telli print](#) [Telli mudel](#) [Filamentide kataloog](#) [Kontakt](#) 

Hinnakalkulaator

- **JUHEND**
 1. TÄIDA VÄLJAD
 2. KALKULEERI HIND
 3. LISA OSTUKORVI
 4. VORMISTA TELLIMUS



LISA FAIL

VALI FILAMENT

VALI [INFILL](#)

SISESTA KOGUS TK

KALKULEERI

Joonis 36. Prototüübi „Hinnakalkulaatori“ vaade Figma.

3D-Prindi Tellimine

Prindi tellimine võtab meie juures aega keskmiselt sama kaua kui tossupaelte sidumine.

Kuidas see käib?

1. Kasuta hinnakalkulaatorit
2. Hinnakalkulaator arvutab hinna
3. Lisa ostukorvi ja esita tellimus

Vaata videost juhendit.



KASUTA HINNAKALKULAATORIT

Joonis 37. Prototüübi „Telli print" vaade Figma.

3D-Mudeli Tellimine

Saada oma idee meile ja meie saadame sulle hinnapakkumise, kasutades hinnakalkulaatorit.

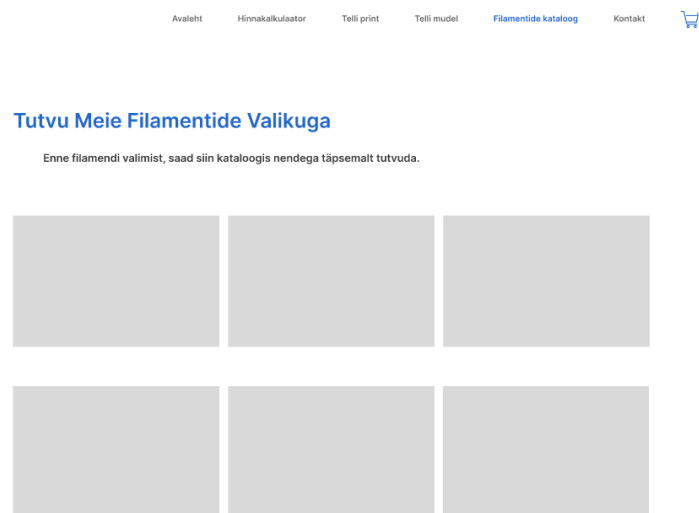
Kuidas see käib?

1. Täida meie vorm.
2. Kinnita tellimus.
3. Saadame sulle meile hinnapakkumise ja arve.

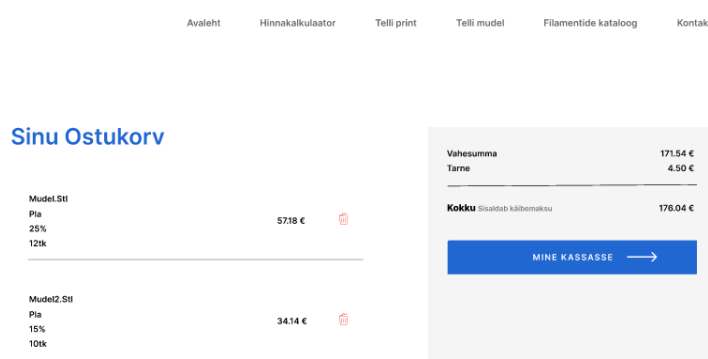
Vaata videost juhendit.



Joonis 38. Prototüübi „Telli mudel" vaade Figma.



Joonis 39. Prototüübi „Filamentide kataloog" vaade Figma.



Joonis 40. Prototüübi ostukorvi vaade Figma.

Lisa 4 – Pildid alternatiividest



Estimated Price: €30.00

Enter Your E-mail

Leave a comment

REQUEST A QUOTE

Printar

☒ FDM tehnoloogia
☐ SL5 tehnoloogia
☐ SLA tehnoloogia

Upload Model

File Unit: ☒ mm ☐ inch

Scale:

razor.STL (7 ko) 100%

Material Volume:	10.72 cm ³
Box Volume:	40.12 cm ³
Surface Area:	113.15 cm ²
Model Weight:	13.51 g
Model Dimensions:	6.49 x 3.50 x 2.57 cm

Material

☒ FLA
☐ ABS
☐ ABS
☐ ABS
☐ PLA
☒ PLA
☐ PA11-CF
☐ ASA - Uur ja innostikukindel
☐ ASA - Uur ja innostikukindel
☐ Nylon
☐ TPU - kummi
☐ PLA
☐ PLA
☐ PLA
☐ PLA
☐ PLA
☐ ABS
☐ ABS
☐ ABS
☐ ABS
☐ ABS
☐ ABS
☐ PA12 - SLG
☐ SLA - standard
☐ SLA - standard
☐ SLA - standard
☐ SLA - tough

Joonis 41. 3DKoda hinnakalkulaator.

HINNAPÄRING

- Saatke päring e-postile printing@3dprinting.ee (või helistage).
- Kirjeldage printitavat toodet.

Päringus kirjeldage soovitud toodet:

Materjal – PLA, ABS, Peamiselt soovivad kliendid PLA või ABS lõngast detaile. Samas saame pakkuda detaile ka teistest erilõngadest.

Detaili kirjeldus – soovime, et meie poolt tehtud detail oleks Teie jaoks täpselt see mida ta vajate! Kirjelduse järgi saame pakkuda soovitud detaili materjali valikul.

Mõõtmed – kui soovite meie poolt joonist, siis lisage palun mõõtmed või illustreeriv pilt (joonlaua taustal). Kui Teil on olemas 3D-fail, siis me saame sealt mõõtmed ja kalkulatsiooniks vajalikud mahud.

Joonis – kui Teil on olemas joonis, siis võimalusel palume saata *.STL formaadis. Kui Teil ei ole joonist, siis saame Teile 3D-printimiseks teha joonise.

Suured tänud Teile 3D-printimise päringu tegemisest!

Heade soovidega

BALTAL meeskond

E-post: info@3dprinter.ee

Tel: +37256889900

Search ...

SEARCH

RECENT POSTS

Kinnitusdetaili liistudele

Kalaranna konkursi makett

Turvakaamera kinnitusdetail

RECENT COMMENTS

ARCHIVES

March 2017

CATEGORIES

Arhitektuur

Masstootmine

META

Log in

Entries feed

Comments feed

WordPress.org

Joonis 42. Baltal hinnapäringu esitamise informatsioon.

Mida on vaja 3D printimise tellimiseks?

Tellimiseks tuleb edastada printitava eseme fail STL-vormingus. Fail peab olema loetav. Kui teil ei ole faili olemas või te ei oska modelleerida, siis saate selle meie käest tellida. Aitame meeleldi 3D mudeli loomisega. 3D mudeli loomiseks on vaja printitavast detailist mõõtudega 2D jooniseid. Juhul, kui soovite, et printiksime nõ koopia juba olemasolevast detailist, siis saame 3D mudeli luua ka selle järgi.

3D printimise hind sõltub mitmetest parameetritest:

1. Plastiku kogusest
2. Abimaterjali kogusest: Abimaterjali kogus sõltub detaili ehitusest. Mõningal juhul võib abimaterjali kuluda kordades rohkem kui põhimaterjali.
3. Kihi paksusest. Väiksema kihi paksusega 3D printimine võtab kauem aega, kuid lõpptulemus on kvaliteetsem. Printitud detaili pind jääb sujuvam ja ilusam.
4. Kogusest: Mida suurem on printitavate detailide kogus, seda väiksem on reeglina ka ühikuhind.
5. Kas vajate lisaks ka modelleerimis- ning 3D printimiseks sobiva CAD faili loomise või korrigeerimise teenust.

Printime järgmiste seadmetega:

- 3D Printer Creality CR 10 MAX (printimisala 450 x 450 x 470 mm.)
- 3D Printer Bambulab P1S (printimisala 256 x 256 x 256 mm.)

Täidame teie tellimuse võimalikult lühikese aja jooksul ja tagame trükitud toodete kvaliteedi.

Hinnapakumise saamiseks saatke meile päring 3D mudeliga. Võtke meiega ühendust!

3D Printimise Hinnapäring

Nimi

E-post

Teema

Mobiil

Sõnum

Lisa fail (max 25mb)

No file chosen

Joonis 43. Voltride hinnapäringu esitamise vorm.



X 36	Y 64.95	Z 25.71	MM	BESIZE
Model Volume	10.72 cm ³			
Machine Space	44.86 cm ³			
Support Structure	3.25 cm ³			
Parts Bounds Volume	60.12 cm ³			
Part Count	1			

Bring your product to life

razor TOOLS

Nylon PA12 (SLS) CHANGE | GUIDELINES

Choose Options

COLOR

White	Dyed Black +\$1.35	Dyed Pink +\$1.35	Dyed Red +\$1.35
Dyed Orange +\$1.35	Dyed Blue +\$1.35	Dyed Green +\$1.35	Dyed Yellow +\$1.35
Dyed Purple +\$1.35			

MATERIALS / FINISHES

Default +\$0.00 This finish has a slightly textured surface and a matte finish.	Vapor Smoothing +\$5.15 This finish has a smooth surface and slight shine, created using a physico-chemical process to vapor smooth the surface.
---	--

ADD TO CART QTY 1 • **\$9.40**
Go to cart to see bulk pricing

Joonis 44. Shapeways hinnakalkulaator.



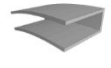
Untitled quote 3JDDQ1B34-V1

Download Email + New version

Total: **€114.95** Lock price **Go to checkout**

Parts and specifications 3D printing [Change technology](#)

☐ Select all parts

Specifications	Quantity	Price
 razor (1).STL 3D printing Prototyping PLA (FDM) As printed Color: Black Infill: 20% Layer height: 200µm View DFM analysis 36.0 x 64.9 x 25.7 mm 11,127.656 mm³	1	€9.22 €9.22 p/part

Lead time

Expedited	1 business day	€13.83
Standard	2 business days	€10.60
Economy	3 business days	€9.22

Shipping including customs costs

Next business day	€15.00
--------------------------	---------------

Estimated delivery
2 June 2025

Shipping address
[Enter shipping address](#)

Joonis 45. Prolab Networks hinnakalkulaator.

Lisa 5 – Liisbeth Kesamaa eneseanalüüs

Lõputöö teostas Delis Pajuriga, kellega on varasemalt grupiprojektides koostöö sujunud ning lahenduste väljamõtlemine on alati olnud efektiivne. Minupoolne panus antud töösse oli:

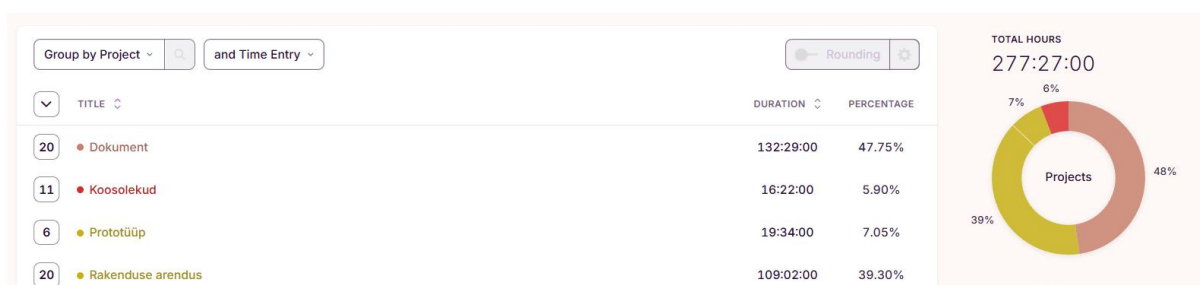
- Olemasolevate lahenduste otsimine ja pinnapealne analüüs;
- Nõuete kogumine koostöös kliendiga;
- Projektijuhtimine;
- Kasutajaliidese prototüübi koostamine Figma;
- Kasutajaliidese implementeerimine;
- Esimese viilutusrakenduse testimine;
- Faili üleslaadimise korrastus;
- Kliendiga kasutajaliidese testimine;
- Andmebaasi uuendamine uute tabelitega;
- Admin kasutaja loomine;
- Admin vaate loomine koos töötavate funktsionaalsustega;
- Tagaarenduse ülesanded nt ostukorvi loogika, prindi tellimuste loomine ja haldamine, mudeli tellimuste loomine ja haldamine jpm;
- Dokumentatsioon;
- Versioonihaldus.

Lõputöö teemavalik oli minu jaoks eriti huvipakkuv, kuna olen varasemalt kokku puutunud 3D-printimise valdkonnaga. Projekti idee tekkis arutelu käigus Neptune First OÜ esindajatega, mis on lähedaste inimeste ettevõte. Tänu varasemale kokkupuutele tootearenduse valdkonnas, ei olnud 3D-printimise alused mulle võõrad ning see aitas oluliselt kaasa töö sisulisele mõistmisele ja arenduse planeerimisele. Loodud veebirakendus loob lisaväärtust mõlemale osapoollele - nii ettevõttele kui ka projekti autoritele.

Projektikaaslasteks valisin Delise, kellega olime varem koostööd teinud mitmetes projektides, k.a paarisprogrameerimises. Meie oskused täiendavad üksteist hästi, mis võimaldas meil moodustada ühtse ja tulemusliku meeskonna. Koostöö sujus latusalt, suhtlus oli pidev ning ka mitmetel kliendikohtumistel osalesime ühiselt, tagamaks parema arusaama kliendi vajadustest ja ootustest. Keerulisemate arendusülesannete puhul jagasime vastutust vastavalt oma tugevustele ja soovidele, mis võimaldas keskenduda igäihel meelepärasematele teemadele.

Minu jaoks osutus üheks suurimaks õpikogemuseks tagarakenduse lahenduste väljatöötamine, mis kulmineerus edukaks tulemuseks. Erilist huvi pakkus aga kasutajaliidese disainiprotsess, kus rakendasin kasutajakogemuse põhimõtteid. Kuna olen valdkonda süvitsi uurinud, õnnestus projekt oodatust edukamalt ning see lõi võimaluse täiendada oma professionaalset portfooliot. Samuti omandasin rohkem teadmisi versioonihaldusest ja sain rakendada tootejuhtimise parimaid praktikaid.

Olen oma panusega väga rahul. Projekti teema oli minu jaoks motiveeriv ning püüdsin teadlikult kaasa lüüa kõikides töö etappides. Esmakordselt sain kogeda tihedat koostööd reaalse kliendiga ning pakkuda neile sisulist lisaväärtust. Mitmed varasemad õppeained osutusid kasulikuks rakenduse elluviimisel.



Joonis 47. Liisbeth Kesamaa ajalogi.

Lisa 6 – Delis Pajuri eneseanalüüs

Lõputöö teostasid koos Liisbeth Kesamaaga, kellega mul on ka varasem projektide elluviimise kogemus. Projekti käigus täitsime erinevaid rolle, kuid tootsin esile olulisimad panused projekti:

- Olemasolevate lahenduste otsimine ja analüüs;
- Nõuete kogumine koostöös kliendiga;
- Tagaarenduse ja ühiktestide projekti seadistamine ja arendamine
- Kalkulaatori loogika ja algoritmi väljatöötamine
- PrusaSliceri ühendamine, STL-faili üleslaadimise ja kontrollimise loogika koos G-koodi genereerimisega
- Mudeli geomeetrilise analüüsi arendamine
- Printeri mahutavuse loogika määramine, et leida, mitu detaili mahub korraga printima
- Visuaali kuvamine hinnakalkulaatori vaates
- Andmebaasi esmane ühendamine
- Kliendiga kasutajaliidese testimine
- Muud väiksemad tagaarenduse ülesanded, nagu filamentide kataloogi arendus, PDF-arve genereerimine, tellimuse või päringu kinnitamiseks e-kirjade saatmine jpm
- Versioonihaldus
- Dokumentatsioon

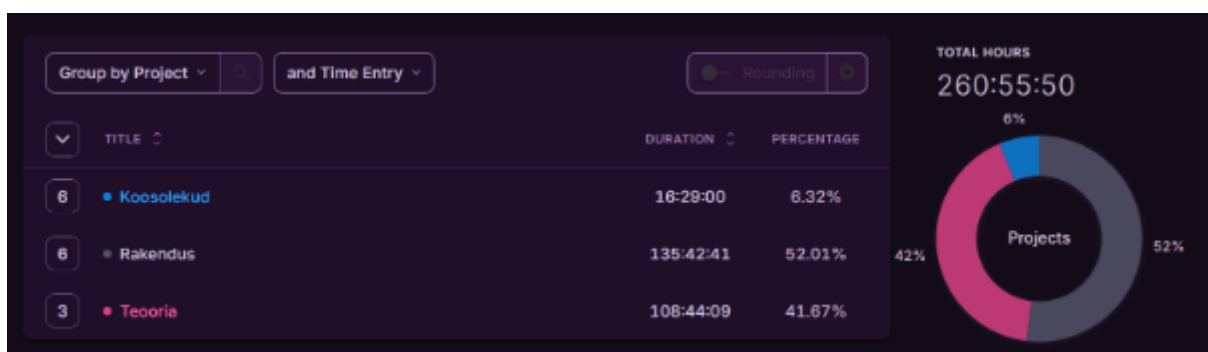
Lõputöö teema valik oli mulle väga huvitav, sest puutun peaaegu igapäevaselt 3D-printimisega kokku ning saan lähedalt jälgida, kuidas antud protsess toimub. Projekti idee tekkis arutelu käigus Neptune First OÜ meeskonnaga, mis on lähedaste inimeste ettevõtte. Varasemale kogemusele ja 3D-printeri omamisele andis mulle piidava ülevaate antud protsessi toimimisest ja hindamise struktuurist, mistõttu tundus antud projekt mulle

sobiv ja väljakutsuv. Seetõttu toob loodud rakendus lisaväärtust nii projekti autoritele kui ka ettevõttele.

Projekti kaaslaseks valisin Liisbethi, kellega olen varem edukalt koostööd teinud mitmetes projektides. Meie erinevad oskused ja huvid toetasid sujuvat koostööd, võimaldades meil teha tõhusat tööjaotust, kus igaüks sai keksendada oma tugevustele. Koostöö meie vahel oli ladus, planeerisime koosolekuid ja kohtumisi Neptune First OÜ meeskonnaga, kus olime mõlemad alati kohal. Vajadusel arutasime üles kerkinud murekohti ning lahendasime need ühiselt.

Suurimaks väljakutseks ja õpikogemuseks pean tagarakenduses hinnakalkulaatori funktsionaalsuste ja algoritmi väljatöötamist. Samuti oli oluline osa kolmanda osapoole (PrusaSlicer) integreerimisel veebirakendusega, mille abil saime lugeda STL-faile ja genereerida G-koodi. Antud kogemus oli minu jaoks esmakordne ja väga arendav.

Olen oma panusega väga rahul – välja said töötatud kõik põhifunktsionaalsused. Projekti teema oli mulle huvitav oma funktsionaalsete nõuete poolest, mistõttu olin väga motiveeritud tööd tegema. Minu jaoks oli samuti esmakorde kogemus töötada koos reaalse kliendiga, demonstreerida neile tehtud tööd ning saada vastavalt tagasisidet. Töö elluviimisel oli abi paljudest õppekava ainetest.



Joonis 48. Delis Pajuri ajalogi.