

Maxim Gusarov

**PLA-BIOPLASTIST TOOTE
PROJEKTEERIMINE, ARENDUS NING
VALMISTAMINE 3D PRINTERIGA**

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut
Tööstustehnoloogia ja turunduse õppekava
Juhendaja: professor Toomas Pihl

Tallinn 2022

Mina, Maxim Gusarov, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

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

Juhendaja Toomas Pihl (allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi direktori korraldusega nr 1-14/59 (kuupäev digiallkirjas).

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Maxim Gusarov

(autori nimi)

sünnikuupäev: 02.07.1999

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

„PLA-bioplastist toote projekteerimine, arendus ning valmistamine 3D printeriga“

(lõputöö pealkiri)

1. reprodutseerimiseks paber kandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

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

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

Tallinnas (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. MATERJALI VALIK	6
1.1 Turul olevate lahenduste põhilised koostisosad	6
1.2 Plastide negatiivne mõju keskkonnale.....	7
2. POLÜLAKTÜÜDI (PLA) MEHAANILISTE KATSETE TULEMUSED.....	10
2.1 Polüaktiidi (PLA) tõmbetugevus	10
2.2 Polüaktiidi (PLA) löögisitkus	12
3. TOOTE ESIMESE PROTOTÜÜBI PROJEKTEERIMINE	14
3.1 Toote projekteerimine.....	14
3.1.1 Toote detailide projekteerimine kasutades Solid Edge isomeetriliste detailide loomise laiendit.....	14
3.1.2 Toote detailidest koostu loomine kasutades Solid Edge isomeetrilise koostu loomise laiendit.....	15
4. ESIMESE TOOTE PROTOTÜÜBI EHITUS.....	16
4.1 Ventilatsiooniava kinnitus	16
4.2 Metallplaadi hoidja	17
4.3 Topsihoidja	18
4.4 Telefonihoidja.....	19
5. ESIMESE TOOTE PROTOTÜÜBI VALMISTAMINE.....	21
5.1 Toote prototüüp	21
5.1.1 Kasutatud 3D printer	21
5.1.2 Kasutatud PLA materjal	22
5.1.3 Toote printimisparameetrid	23
5.1.4 Printimise lõpptulemus.....	24
5.1.5 Toote viimistlus.....	24
5.2 Teise tooteprototüübi valmistamine	25
5.2.1 Kasutatud 3D printer	25

5.2.2	Kasutatud PLA materjal	26
5.2.3	Toote printimisparameetrid	27
5.2.4	Printimise lõpptulemus.....	28
5.2.5	Toote viimistlus.....	29
6.	VALMISPROTOTÜÜP	31
7.	VALMISPROTOTÜÜBI ARENDUS	32
8.	AREN DATUD PROT OTÜÜBI TUGE VUSARVUTUSED STAATILISE KOORMUSE KORRAL	35
9.	KOKKUVÕTE.....	42
	SUMMARY	43
	VIIDATUD ALLIKAD.....	44
	LISAD	46
Lisa 1.	Silindrikujuline katsekeha	47
Lisa 2.	Ristkülikukujuline katsekeha	48
Lisa 3.	V-soonega ristkülikukujuline katsekeha	49
Lisa 4.	Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – ristikiudu.....	50
Lisa 5.	Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) - pikikiudu	50
Lisa 6.	Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – pikikiudu.....	51
Lisa 7.	Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – pikikiudu.....	51
Lisa 8.	V-soonega ristkülikukujulise keha purustamiskatsed (löögisitkus)	52
Lisa 9.	250 ml joogitopsi mõõtmed.....	53
Lisa 10.	Teise tooteprototüübi topsihoidja.....	54
Lisa 11.	Teise tooteprototüübi metallplaadi hoidja.....	55
Lisa 12.	Teise tooteprototüübi telefonihoidja	56
Lisa 13.	Teise tooteprototüübi koost.....	57
Lisa 14.	Arendatud tooteprototüübi joogitopsi hoidja joonis.....	58
Lisa 15.	Arendatud tooteprototüübi telefonihoidja joonis	59
Lisa 16.	Arendatud tooteprototüübi ventilatsioonivõre kinnituse joonis	60
Lisa 17.	Arendatud tooteprototüübi koost.....	61

SISSEJUHATUS

Tänapäeval pööratakse aina rohkem tähelepanu keskkonna säästlikule tarbimisviisile, mille eesmärgiks on vähendada inimeste poolt tekitatavaid kasvuhoonegaaside ning prügi koguseid, mis aitaks ära hoidja kiiremat kliima soojenemist, looduse reostust mikroplasti ja teiste ühenditega ning ilmastiku anomaaliaid. Selleks, et saavutada säästlikut arengut, on Euroopa Liit karmistanud nõudeid tarbeesemetele ning praeguseks on toodete projekteerimisel vajalik arvestada nende pikkaajalisema elutsükliga, parandusevõimaluse ning utiliseerimise lihtsusega. Toodete valmistamiseks kasutatavad materjalid peavad olema ümbertöödeldavad, säilitades ümbertöödelduna materjali omadusi või saavutades minimaalseid ümbertöödeldud materjali erinevusi.

Lõputöö eesmärgiks on, kasutades eelnevalt omandatud joonestamis- ja projekteerimisoskusi Solid Edge ST9, Solid Edge 2022 ning AutoCAD keskkonnas, konstrueerida ning valmistada 3D-printeri abil keskkonnasäästlikust polümeerist tarbeese, milleks on valitud telefoni ja joogitopsi hoidja. Projekteeritavale tootele esitatakse järgmised nõuded: modulaarsus, parandusvõimalus, nutiseadme hoidmine autojuhi vaateväljas navigeerimisrakenduse kasutamisel, mugav joogitopsi paigutus ja selle kiire kasutamise võimalus, mis omakorda tõstaks sõidukogemuse ja hoiaks juhi vaatevälja vabana.

Töö hüpoteesiks on, et tükiseeria põhimõttel toodetud modulaarne tarbeese jätab väiksema keskkonna jalajälje, on pikema eluaega ning parandatav.

Konstruksiooni loomisel arvestatakse kiire teiseldamisvõimalusega ventilatsioonivõrelt, tugeva topsi ja telefoni kinnitamisvõimalusega, kompaksete mõõtudega ning vähese materjalikuluga toote printimisel.

Materjali valiku eesmärgiks on leida lähtematerjal, mis oleks võrreldes traditsiooniliste plastidega kiiremini lagunev, korduvkasutatav, ohutu kasutajale ning jätkaks utiliseerimise korral väiksema keskkonna jalajälje. Toote hävimise või kahjustuse korral ei tohi materjal puruneda teravate servadega kildudeks või osadeks ning avarii korral peab olema tagatud selle seadme ohutus kasutajale.

1. MATERJALI VALIK

1.1 Turul olevate lahenduste põhilised koostisosad

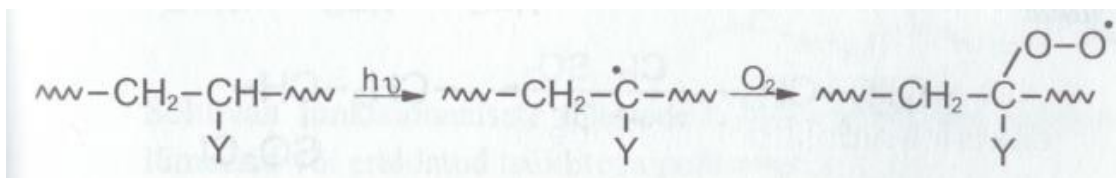
Nii Eesti kui ka Euroopa turul saadaval olevad lahendused telefonide ja topside kinnitamiseks on põhiliselt valmistatud Hiinas. Selliseid kinnitusi iseloomustab madal hind, masstootmise meetodil valmistamisviis ning madala hinnaga polümeersete materjalide kasutamine.

Kinnituste materjalidena kasutatakse polümeerseid ühendeid plastide ning kummide ja elastomeeride rühmast. Kinnituse korpust saadakse tarbeplastide rühma polümeeridest, millele on omane madal hind (1...1,5 \$/kg ehk 0,92...1,38 €/kg). Sellisteks plastideks on polüetüleen (PE), polüpropüleen (PP), polüvinüülkloriid (PVC) ja polüstüreen (PS). Nende kasutamine on tingitud madalast maksumusest. Termilised ja mehaanilised omadused on tarbeplastidel rühmal tagasihoidlikud. Kummi ja elastomeeride rühmast kasutatakse kummi materjale, mida paigutatakse hoidjate siseseintele, et seadmete ja joogitopside kinnitus oleks parem. [1, pp. 244-246]

Seadmete kuju vormimine toimub sulapolümeeri ekstrusioonil. Üles sulatatud plasti juhitakse surve all valuvormi, kus plast tahkestub ning võtab vajaliku kuju. [1, p. 243]

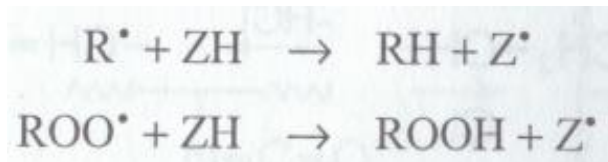
Plastide pikema elutsükli tagamiseks lisatakse nendele stabilisaatoreid antioksidantide, UV-absorbentide, Pb-soolade ja fungitsiidide kujul. Stabilisaatorid kaitsevad toodet UV-kiirguse, soojuse, kiirituse, hapniku ja mikroorganismide eest. [1, pp. 159, 244]

Lisandeid kasutamata on toodete oksüdatiivne degradatsioon (vananemine) oluliselt kiirem ning sellest tulenevalt materjal kaotab kiiresti enda mehaanilisi omadusi – vesinik (H) eraldub rohkem asendatud süsiniku (C) juurest ning liitudes hapnikuga (O₂) annab peroksüradikaali (Joonis 1). Eristatakse kahte tüüpi antioksidante – primaarsed ja sekundaarsed antioksidandid. [1, p. 159]

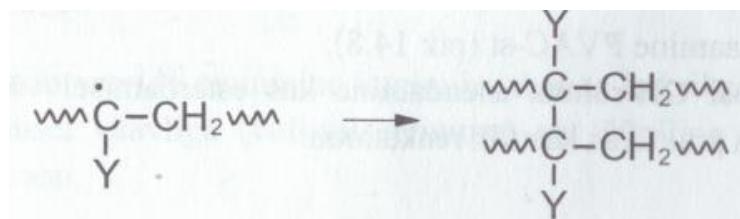


Joonis 1. Oksüdatiivse degradatsiooni vabaradikaalne ahelreaktsioon [1, p. 159]

Primaarsed antioksidandid reageerivad radikaalidega, katkestades ahelreaktsiooni (Joonis 2). [1, p. 159]



Joonis 2. Primaarse antioksidandi reageerimine radikaaliga ja ahelreaktsiooni katkestus [1, p. 159]
 Sekundaarsed antioksidandid lagundavad hüdroperoksiide, liites naaberahelate radikaale omavahel kokku (Joonis 3).



Joonis 3. Hüdroperoksiidide lagundamine sekundaarsete antioksidantide poolt [1, p. 159]

1.2 Plastide negatiivne mõju keskkonnale

Mitmed plastid (polüetüleenid, polüvinüülid, polüstüreenid jm), mida kasutatakse tarbeesemete valmistamiseks on saadud toornaftast ning nendele on omane kerge kaal, veekindlus, struktuuri keemilise modifitseerimise võimalus (struktuuri, mehaaniliste omaduste ja kuju muutmiseks). Eeliste juures (madal hind, hea vormimisvõimalus, hea töödeldavus) on plastidel aga suur negatiivne mõju keskkonnale kuna nende lagundamiseks on vajalik väga kõrge UV-kiirguse tase, nende ümbertöötlemine alandab oluliselt nende omadusi ehk nende kasutusvaldkond peale ümbertöötlust on kitsas ning utiliseerimisel (põletamisel) eraldub plastidest ohtlike ühendite nagu vesinikkloriid (HCl), vesiniktsüaniid (HCN) ehk sinihape ja metaan (CH₄). [2, pp. 12-13], [2, p. 16]

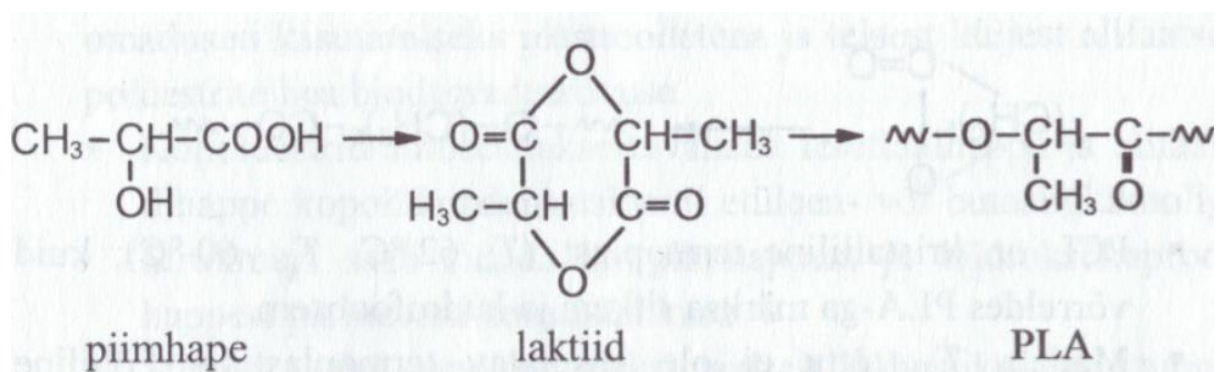
Plastide negatiivse keskkonnamõju vähendamiseks on vajalik oluliselt laiendada bioplastide kasutusvaldkonda, mis aitab leevendada reostuse teket ning kiirendada plastide lagunemisaega. Turul on hetkel esindatud kolme tüüpi biolagunevaid plaste nagu fotolagunevad, pool-biolagunevad tärglisega seotud polüetüleenid polümeerid ning orgaanilistest ühendistest bakterite poolt loodud biopolümeeride materjalide rühm, mille hulka kuuluvad sellised materjalid nagu PLA ja PHA [2, pp. 16-17].

Fotolagunevate plastide ahelasse lisatakse valgustundlikke rühmi, mis UV-kiirgusega reageerides lagunevad ning plasti polümeerne struktuur katkeb, mis võimaldab bakteritel jätkata materjali lagundamisprotsessi. Võttes arvesse praeguseid prügilaid on fotolagunevate plastide rühmal suur

puudus – nende jaoks on vajalik intensiivne valguse allikas, mis ei pruugi juhtuda kui toode jääb teiste plastide alla varju.

Tärglisega seotud pool-biologundatavad plastid, sattudes prügilasse, peavad reageerima mullas olevate bakteritega, kes ründavad tärglise molekule ning vabastavad lühikesi polüetüleenihelaid, mis edaspidiselt lagundatakse teiste bakterite rühma poolt. Uuringud näitavad, et tõepoolest toimub tärglise molekulide lagundamine bakterite poolt, aga polüetüleenihelaid ei lagundata ära ning selle tõttu jäävad need pikemaks ajaks mulda. [2, p. 16]

Orgaanilistest ühenditest bakterite poolt loodud biopolümeeride materjalide rühmast on viimasel ajal eriti populaarne PLA (polülaktiid) materjal. PLA on pikkade alifaatsete süsivesinikahelatega estrite rühma kuuluv polümeer, mida saadakse polüsahhariididest toorainest, milleks võib olla tärglis. Tärglist kasutatakse kui toorainet ning biokeemilisel protsessil saadakse sellest piimhapet ($C_3H_6O_3$), mida võib viia kergesti üle tsükliks dimeeriks (laktiidiks). Polülaktiidi saamiseks lisatakse laktiidi tsükliavamispolümeerisatsiooni sulamise initsiaatoreid, milleks võivad tina (Sn), alumiiniumi (Al) või tsingi (Zn) soolad või alkoksühendid. Kogu sünteesimisprotsessi käik on kujutatud allpool oleval joonisel (Joonis 4). [1, p. 146]



Joonis 4. Sünteetilise polüestri (PLA) sünteesimisprotsess [3, p. 147]

PLA materjali füüsikalised ja keemilised omadused on välja toodud eraldi tabelis (Tabel 1):

Tabel 1. PLA materjali füüsikalised ja keemilised omadused [1, p. 147]

Sulamistemperatuur T_m	175...185 °C
Pehmenemistemperatuur T_g	55...60 °C
Struktuur	Kristalliline

PLA materjal on laialdaselt kasutuses 3D printimises. 3D printeri kasutamisel on võimalik printida erinevaid arvutitarkvara abil loodud detaile, mida saab luua raalprojekteerimise tarkvaradega. Seoses materjali biolagunevusega, 3D printimisvõimalusega ning laialdase saadavusega turul, valiti polülaktiidi põhiliseks materjaliks projekteeritava seadme valmistamiseks.

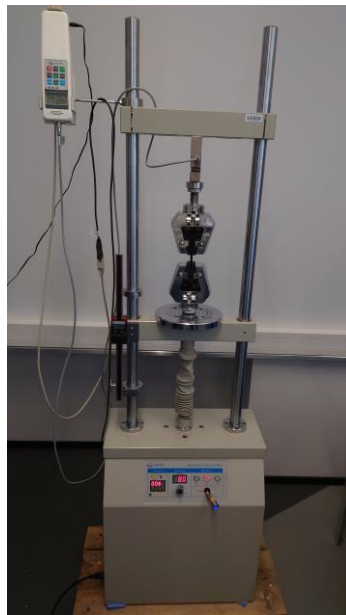
Valmistoodete ei vaja täiendavat pakendit kuna toode on peale puhastust valmis kasutamiseks. Teiste kasutajate otstarbeks toodete printimisel on võimalik saatmiseks kasutada tavalisi kartongist valmistatud pakendeid, mis on looduses lagundatavad või kasutatavad kui kompost.

2. POLÜLAKTÜÜDI (PLA) MEHAANILISTE KATSETE TULEMUSED

Diplomitöös käsitletud PLA materjali mehaaniliste katsete vajadust tingis asjaolu, et erinevate printimisparameetrite puhul esinevad tootja poolt esitatud mehaanilistest omadustest kõrvalekalded. Printimistemperatuur, printimiskiirus, ekstruuderi düüsi läbimõõt aga ka õhu suhteline niiskus võivad kõik mõjutada detaili mehaanilisi omadusi. Lisaks sellele mängib olulist rolli ka detaili printimisasend ehk kihtide paigutus.

2.1 Polüaktiidi (PLA) tõmbetugevus

Tõmbetugevuse määramiseks kasutati Tallinna Tehnikakõrgkooli tehnomaterjalide laboris olevat testpinki Sauter TVM 20KN120N (Joonis 5).



Joonis 5. Sauter TVM 20KN120N testpink

Katsekehadena kasutati nii ringi- (Lisa 1) kui ka ristkülikukujulise ristlõikega katsekehi (Lisa 2) erineva materjali täituvusastmega – 60 %, 80 % ja 95 %. Testpartiid koosnesid kuuest katsekehast ning katsekehade printimist viidi läbi samal päeval ja samadel tingimustel, et vältida suuremaid erinevusi materjali struktuuris. Saadud tulemusi purustusjõu ja venivuse kohta pandi kirja Microsoft Exceli tabelisse ning arvutati välja keskmist purustusjõu ja venivuse tulemust iga partii kohta (Joonis 6). Koondatud tulemused on leitavad allpool olevast tabelist (Tabel 2). Täpsemad andmed tõmbekatsete kohta on leitavad lisadest (Lisa 4), (Lisa 5), (Lisa 6), (Lisa 7).

Tabel 2. Tõmbetugevuse katsete koondtulemused

Katsekeha	Täituvus, %	Purustusjõud, kN	Venivus, mm	Jõu suunatus
Silinder	60	0.604	3.082	ristikiudu
Silinder	80	0.578	3.098	ristikiudu
Silinder	80	1.335	4.96	pikikiudu
Silinder	95	0.817	3.022	ristikiudu
Nelinurk-prisma	60	1.301	8.075	ristikiudu
Nelinurk-prisma	80	1.243	6.895	ristikiudu
Nelinurk-prisma	80	3.087	10.47	pikikiudu
Nelinurk-prisma	95	2.025	9.743	ristikiudu

Katsete tulemuste alusel saab väita, et kõige paremad tõmbetugevuse omadused on nendel katsekehadel, mille printimisel oli arvestatud rakendatava jõuga ning materjali kiud asuvad rakendatud jõuga samas suunas. Materjal on pikikiudu jõu rakendamisel vastupidavam ning rohkem veniv, mille tõttu on oluline pinge all olevate kohtade pikikiude printimissuund.



Joonis 6. Tõmbekatsetele järgnev purustatud katsekehade analüüs ja andmete sisetamine Microsoft Exceli programmi

1 – arvuti koos avatud Microsoft Exceli tarkvaraga, 2 – purustatud katsekehad

2.2 Polüaktiidi (PLA) löögisitkus

Materjali löögisitkuse määramiseks kasutati Tallinna Tehnikakõrgkooli tehnomaterjalide laboris asuvat Gunt WP 400 (Joonis 7) löök-paindeteimi ning katsetamisi viidi läbi Charpy meetodil [4]. Katsekehadeks kasutati ristkülikukujulisi teimikuid koos V-kujulise soonega (Lisa 3) erineva materjali täituvusastmega – 60 %, 80 % ja 95 % ning erineva printimissuunaga, et löögisitkus oleks kontrollitav nii piki- kui ka ristikiudu. Testpartiid koosnesid kolmest katsekehast ning katsekehade printimist viidi läbi samal päeval ja samadel tingimustel, et vältida suuremaid erinevusi materjali struktuuris. Saadud tulemusi purustusjõu kohta pandi kirja Microsoft Exceli tabelisse ning arvutati välja keskmist purustusjõu tulemust iga partii kohta (Joonis 8).



Joonis 7. Gunt WP 400 löök-paindeteim

Koondatud tulemused löögisitkuse katsetest on leitavad allpool asuvast tabelist (Tabel 3). Täpsemad andmed löögisitkuse katsetest on leitavad lisast (Lisa 8).

Tabel 3. Löögisitkuse katsete koondtulemused

Katsekeha	Täituvus, %	Purustusjõud, Nm	Jõu suunatus
Nelinurk-prisma	60	4	ristikiudu
Nelinurk-prisma	60	3.8	pikikiudu
Nelinurk-prisma	80	4.9	ristikiudu
Nelinurk-prisma	80	4.3	pikikiudu
Nelinurk-prisma	95	4.9	ristikiudu
Nelinurk-prisma	95	4.9	pikikiudu

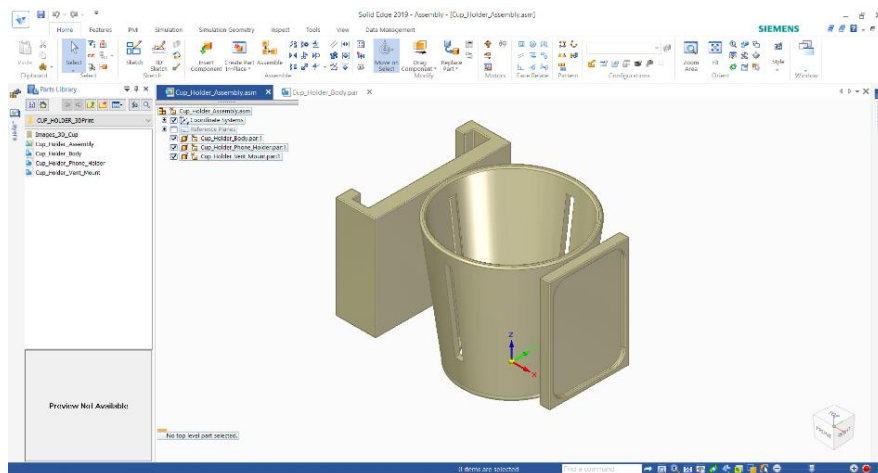
Löögisitkuse katsete analüüsimisel selgus, et kiudude paigutus materjali löögisitkusele ei avalda suuremat mõju. Lisaks sellele ei esine erinevusi löögisitkuses alates 80 %-st materjali täituvusastmest.



Joonis 8. Löögisitkuse katsetele järgnev purustatud katsekehade analüüs ja andmete sisestamine Microsoft Exceli programmi
1 – arvuti koos avatud Microsoft Exceli tarkvaraga, 2 – purustatud katsekehad

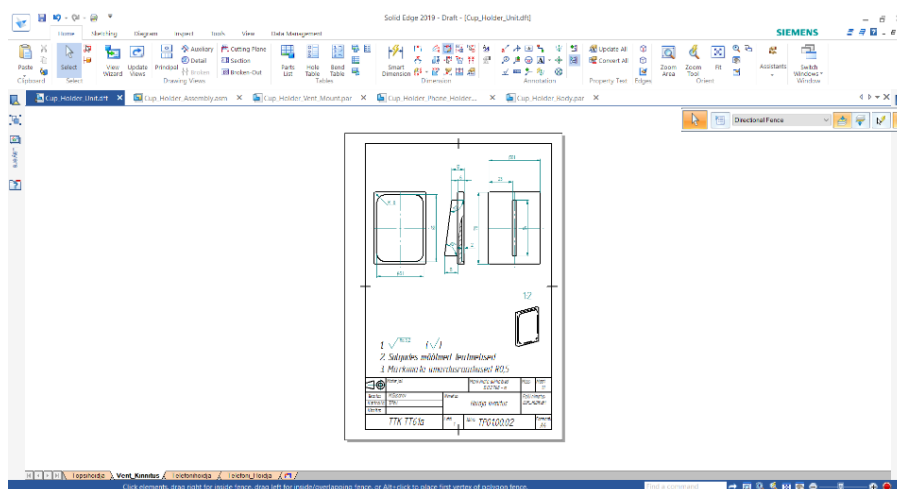
3.1.2 Tootedetailidest koostu loomine kasutades Solid Edge isomeetrilise koostu loomise laiendit

Detailide liitmiseks ja koostu loomiseks olid kõik eelnevalt projekteeritud detailid salvestatud ning imporditud „ISO Metric Assembly“ keskkonda (Joonis 10). ISO Metric Assembly keskkonna abil oli loodud terviklik koost ning määratud lõpp-toote eelduslik mass.



Joonis 10. Projekteeritava toote koostu isomeetriline vaade Solid Edge ISO Metric Assembly

Tehniliste jooniste loomiseks on Solid Edge ST9 keskkonnas olemas eraldiseisev keskkond, mille nimetuseks on ISO Metric Draft (Joonis 11). Selles keskkonnas on jooniste loomine võimalik kas eelnevalt loodud isomeetriliste detailide alusel, impordides nende vaateid või alustades algusest peale, sisestades kõiki andmeid käsitsi sisse. Tootedehniliste jooniste loomisel olid eelnevalt loodud detailid imporditud keskkonda sisse ning nende põhjal loodud eelnevalt ettevalmistatud raamistikuga joonised.

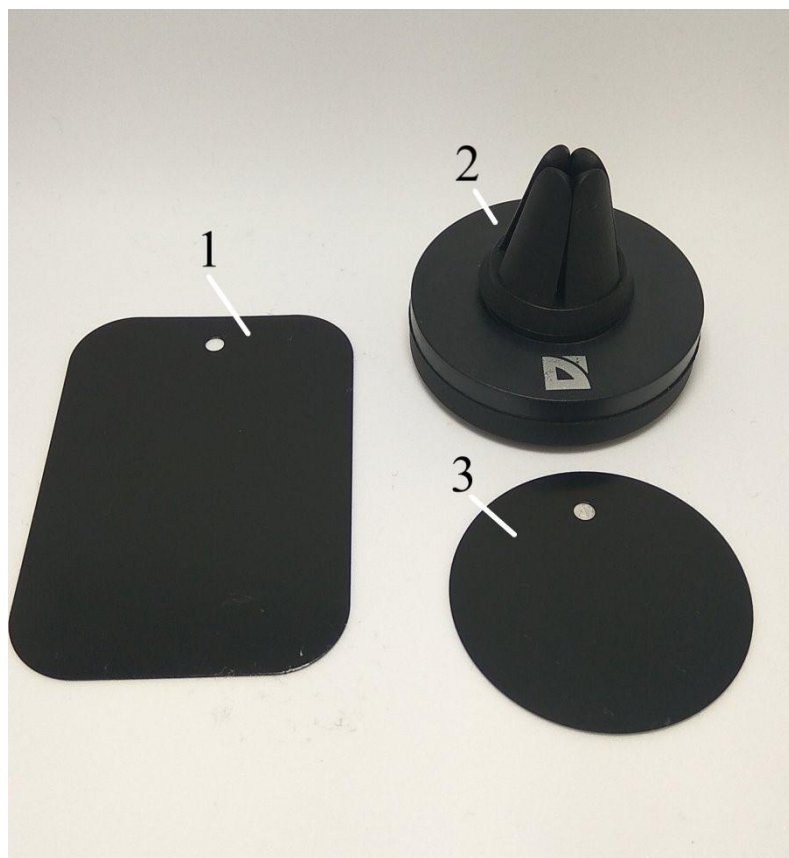


Joonis 11. Projekteeritava toote tehniliste jooniste vaade Solid Edge ISO Metric Draft keskkonnas

4. ESIMESE TOOTE PROTOTÜÜBI EHTUS

4.1 Ventilatsiooniava kinnitus

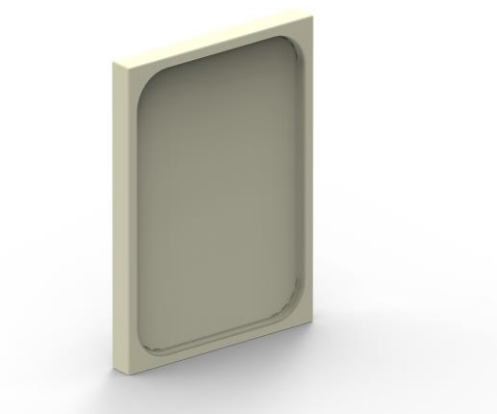
Ventilatsioonivõre kinnituseks kasutati olemasolevat toodet tootjalt Defender (Joonis 12). Kinnitusseadme Defender CH-126 (tootekood 29126) valiku tingis toote magneetiline kinnitusviis, mis võimaldab seadme kiire teiseldamise, kahepoolse teibiga metallplaadi olemasolu ning kinnitatava seadme piirkaal, mis lubab korraka paigaldada kinnituspadjale kuni 500 g kaaluva toote [10]. Kahest tootja poolt pakutud kinnitusplaadist oli valitud välja ristküliku-kujuline plaat, et tagada sobivust ka teiste magnetkinnitustega, mille kuju võib erineda olemasoleva magnetkinnituse omast.



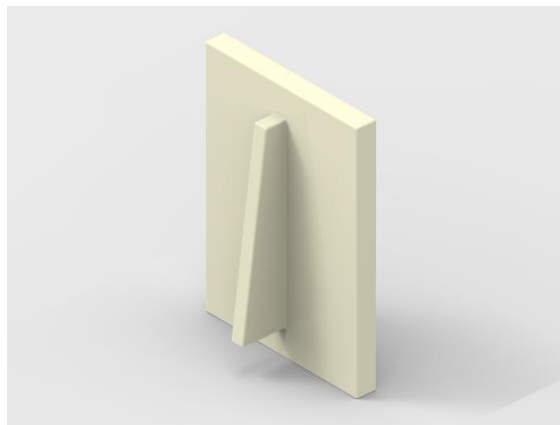
Joonis 12. Defender CH-126 telefonihoidja ventilatsioonivõrele [11]
1 – ristküliku-kujuline kinnitusplaat, 2 – magnetiga ventilatsioonivõrele kinnitus, 3 – ringi-kujuline kinnitusplaat

4.2 Metallplaadi hoidja

Metallplaadi hoidja eesmärgiks on ühendada ventilatsiooniava kinnituse ja topsihoidjat. Detaili projekteeriti monoliitse tükina. Monoliitne disain aitas vältida ebatäpsuste teket, kiirendada printimist ja luua paremini loetavat joonist (Lisa 11). Detaili ühele küljele on paigutatud ristküliku-kujuline kinnituspind metallplaadi jaoks. Metallplaat kinnitub kahepoolse teibiga selleks mõeldud süvendisse kahepoolse teibiga (Joonis 13). Metallplaadi hoidja tagaküljel on ekstrudeeritud pind, mille abil kinnitatakse detail topsihoidja külge (Joonis 14).



Joonis 13. Metallplaadi hoidja eestvaade

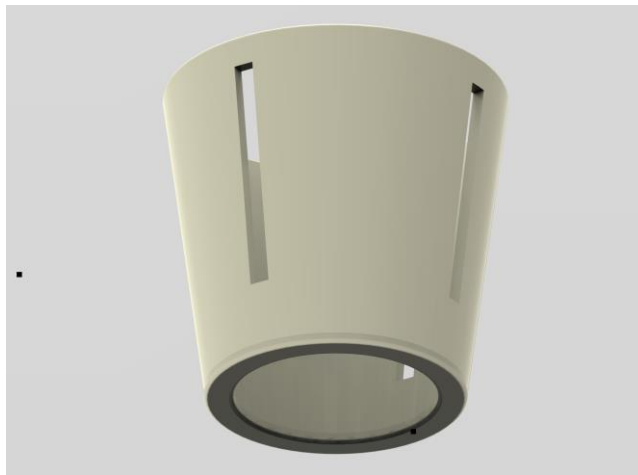


Joonis 14. Metallplaadi hoidja tagantvaade

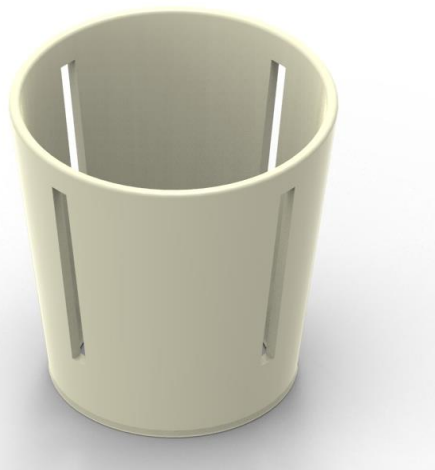
4.3 Topsihoidja

Topsihoidja osa projekteerimisel võeti toote aluseks standardised ühekihilise joogitopsi mõõtmed, mille mahutavus on 250 ml (Lisa 9). Hoidja alusplaadi sisse jäeti tühimik (Joonis 15), et vähendada detaili massi, kuid tagada ühe- ja kahekihilise papp-topsi kindlat asetamist hoidja sisse (Lisa 10).

Topsihoidja liitmiseks teiste osadega on külgseinte sisse projekteeritud neli ava, millest üks on ühenduses metallplaadi hoidjaga ning ülejäänud kolm võimaldavad telefoni paigaldamist kas juhi poole, keskele või kaasreisija poole (Joonis 16).



Joonis 15. Topsihoidja vaade alt



Joonis 16. Topsihoidja isomeetriline vaade

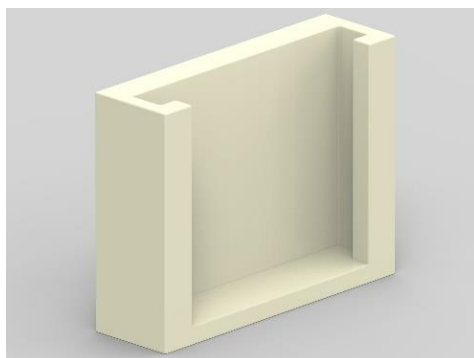
4.4 Telefonihoidja

Telefonihoidja loomisel võeti aluseks nutitelefoniid ekraani diagonaaliga 6“ ja veidi rohkem. Kinnitusosa mõõtmed ja üldine kuju (Lisa 12) valiti selliselt, et mahutada tänapäeva nutiseadmeid nagu Sony Xperia 5 (koos õhukeste kaantega), Huawei P40 Pro ning iPhone 12 Pro Max (Tabel 4). Vaatamata eesmärgist luua universaalsete mõõtmetega telefonihoidjat, on kitsamate telefonide, ekraani suhtega 20:9 ja laiusega kuni 70 mm, kinnitamisel vaja kasutada õhuke ümbriseid, et lõtkuga seade ei kukuks välja.

Tabel 4. Kasutatavate nutiseadmete mõõtmed [12]

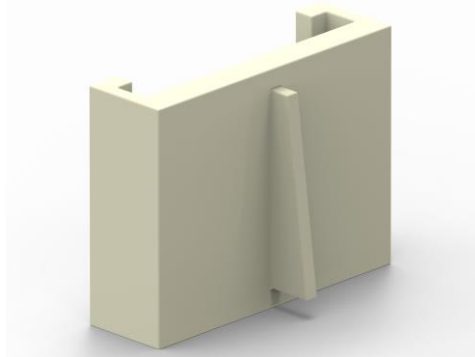
Mudel	Pikkus, mm	Laius, mm	Paksus, mm
Sony Xperia 5	158	68	8,2
Huawei P40 Pro	158,2	72,6	9
iPhone 12 Pro Max	160,8	78,1	7,4

Telefonihoidja disain ning kinnituse kuju võimaldab telefoni asetamist vertikaalasendis vastava pesa sisse ning hoiab väljaulatuvate äärtega telefoni hoidja sees (Joonis 17). Erineva paksusega ja laiusega telefonid on lubatud lõtkuga paigutusega hoidjas ning on tagatud telefoni püsivus hoidjas mõõdukate löökaukude ja ebatasasuste korral. Vertikaalne nutiseadme paigutus on valitud tingituna kasutusmugavusest navigeerimiskendustes nagu Google Maps ja Waze.



Joonis 17. Telefonihoidja, eestvaade

Detaili ühendamiseks topsihoidjaga on projekteeritud kinnituselement detaili tagumises osas (Joonis 18). Kinnitus on mõeldud selleks, et võimaldada kinnitust ühega kolmest avast ning läbi selle tagada nutiseadme suund juhi, kaasreisija või tagareisijate poole.



Joonis 18. Telefonihoidja, tagantvaade

5. ESIMESE TOOTE PROTOTÜÜBI VALMISTAMINE

Solid Edge ST9 keskkonnas projekteeritud detailide valmistamiseks kasutati 3D-printimistehnoloogiat. Polümeersete materjalide 3D printimislahenduse valik on tingitud väiksemast materjalikulust, programmjuhtumise täpsusest ning saavutatavast detailide pinnakvaliteedist.

Failide 3D printeriga sobivuse saavutamiseks olid kõik failid tõlgitud 3D printeri jaoks arusaadava faili formaati. Failide ülekandmiseks arvutist 3D printerisse kasutati mälupulka, mis ühendati seejärel 3D printeriga. Printimise alustamiseks valiti printeri menüüst vajaliku nimetusega fail ning käivitati seade. Protsessi kiirendamiseks kasutati tervet printeri tööpinda ning printiti kõiki detaile korraga.

Kasutatud materjaliks on PLA (polüaktiid), mis on kõrgmolekulaarne sünteetiline polüester. PLA põhikomponendi – piimhapet, toodetakse enamasti maisist ja suhkruroost, mida saadakse fermentatsiooni ning sellele järgneva rafineerimise käigus [13]. PLA materjali eeliseks võrreldes PET ja teiste tarbeplastidega on PLA tootmine taastuvatest loodusvaradest, biolagunevus, mitte-toksilisus ning parem kuumtöödeldavus kui näiteks PHA, PEG ja PCL materjalidel. Tarbeplastina kasutatava PLA materjali keskmine sulamistemperatuur on 180 °C ning toode kristalliseerub 55...60 °C juures. Sellest valmistatud toodetel on head tugevus- ja kuumtöödeldavusomadused. Ühe 3D printeri kasutatud materjali mehaanilised omadused on järgnevad:

Tabel 5. PolyMax PLA materjali mehaanilised omadused [14]

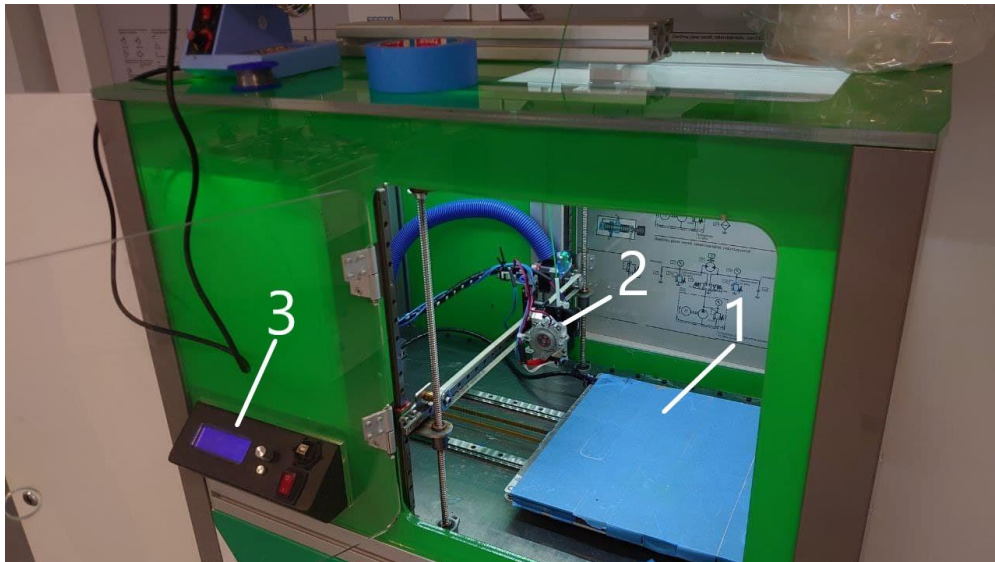
Normaalelastsusmoodul	1879 ± 109 MPa
Tõmbetugevus	28,1 ± 1,3 MPa
Paindetugevus	48,0 ± 1,9 MPa
Charpy löökpaindeteim	12,2 ± 1,03 kJ/m ²

5.1 Toote prototüüp

5.1.1 Kasutatud 3D printer

Esimest tooteprototüüpi valmistati kasutades Tallinna Tehnikakõrgkooli printerit (Joonis 19). TTK 3D printer ei oma kindlat mudelit ning oli kokku pandud Tallinna Tehnikakõrgkooli

mehaanikateaduskonna poolt Rait Udumäe juhendamisel 2014. aastal [15]. Printeri servode ning aluse mudelid ei ole teada, aga ekstruuderiks on Titan Aero, mille sisendina kasutatakse 1,75 mm läbimõõduga PLA traat-materjali. Seadme nimipinge on 24 V. Detailide printimisel kasutati 0,35 mm läbimõõduga düüsi. [16]



Joonis 19. Tallinna Tehnikakõrgkooli 3D printer
1 – printimisalus, 2 – ekstruuder koos juhtimisrelssidega, 3 – 3D printeri juhtimisblokk

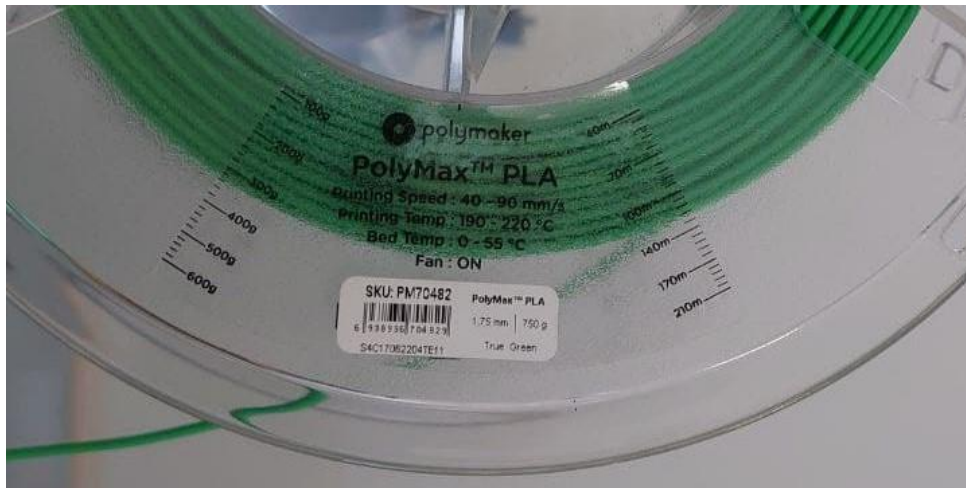
5.1.2 Kasutatud PLA materjal

Kasutatavaks PLA materjaliks oli Polymakeri poolt pakutav PolyMax™ PLA (polülaktiid). Esmase detailide printimisel kasutati sinist värvi materjali, mis oli kahjuks otsa saanud ning selle tõttu võeti kasutusele identne materjal samalt tootjalt, aga rohelise värviga. Kasutatud materjali printimistingimused on toodud tabelis (Tabel 6).

Tabel 6. PolyMax™ PLA printimistingimused (Joonis 20)

Printimiskiirus	40-90 mm/s
Printimistemperatuur	190 – 220 °C
Hangumise temperatuur	0 – 50 °C
Jahutusventilaator	sees

Printimistingimused sõltuvad 3D printeris kasutatavast düüsist, materjalile kehtestatud printimistemperatuurist, kasutatavast jahutusest ning ekstruuderist. Tallinna Tehnikakõrgkooli 3D printeri jaoks tellitud materjali valiti välja lähtudes printeri eripärast. Tellitud materjal asetses läbipaistva mähise peal, mille peale kandis tootja printimistingimusi (Joonis 20).



Joonis 20. Polüaktiidist valmistatud 3D-printimismaterjal, mida kasutati Tallinna Tehnikakõrgkooli 3D printeriga

5.1.3 Toote printimisparameetrid

Toote printimiseks valiti tootja printimissoovitustega (Tabel 6) kooskõlastatud printimiseparameetrid (Tabel 7), et tagada paremat pinnakvaliteeti ning vältida detailidel defektide tekkimist. Materjali kogu kulu oli 181,5 g ning puhastusele järgnevalt oli detailide kogumass 174 g. Detailide puhastamisel eemaldati aluspind, toepinnad ning ebatäpsused, mis tekkisid printimise käigus.

Tabel 7. Tooteprototüübi printimistingimused

Printimiskiirus	65 mm/s
Printimistemperatuur	215 °C
Prinditava materjali jahutusventilaator	sisselülitatud
Detaili struktuur	täis valatud
Materjali kogu kulu	184,5 g

5.1.4 Printimise lõpptulemus

Printeri mitmekordse kinnikiilusmise ning valitud printimiskiirusega ei saavutatud prinditud detail piisavaid pinnakvaliteedi omadusi (Joonis 21). Detaili pinnale jäid sulanud materjali osad, mis ulatusid prinditavast detailist välja, katkestuste tõttu olid tekkinud struktuuri sisse ebaühtlased kohad, kus printer ei täitnud tühimikke ära. Eriti halb printimiskvaliteet oli metallplaadi hoidja detailil, mille metallplaadi jaoks mõeldud süvendi ava geomeetria oli rikutud ning sulanud PLA (polüpiimhappe, polüaktiid) printimismaterjal hakkas süvendi kohal voolama. Lisaks ebatäpsustele oli puuduseks toote mass, mis peale puhastamist ja värvimist oli 177,5 g.



Joonis 21. TTK 3D printeriga prinditud detailid
1 – telefonihoidja, 2 – topsihoidja, 3 – metallplaadi hoidja

5.1.5 Toote viimistlus

Toote pinnakvaliteedi ja defektide kõrvaldamiseks ja väiksemate ebatäpsuste kateks, viidi detailid värvimistsehhi, kus teostati nende katmine pulverisaatori abil tumehõbe värviga (Joonis 22).



Joonis 22. Värvimiseks kasutatud pulverisaatori lahendus

Saavutatud tulemus ei rahuldanud soovitud nõudeid ning pinnadefekte ei olnud võimalik kõrvaldada lihvimise, lõikamise teel ja värvi katmisega, sest printimise ajal oli printer jätnud topsihodija sisse süvendeid, mis ulatusid välja (Joonis 23).



Joonis 23. Värvitud topsihodija pinnakvaliteet

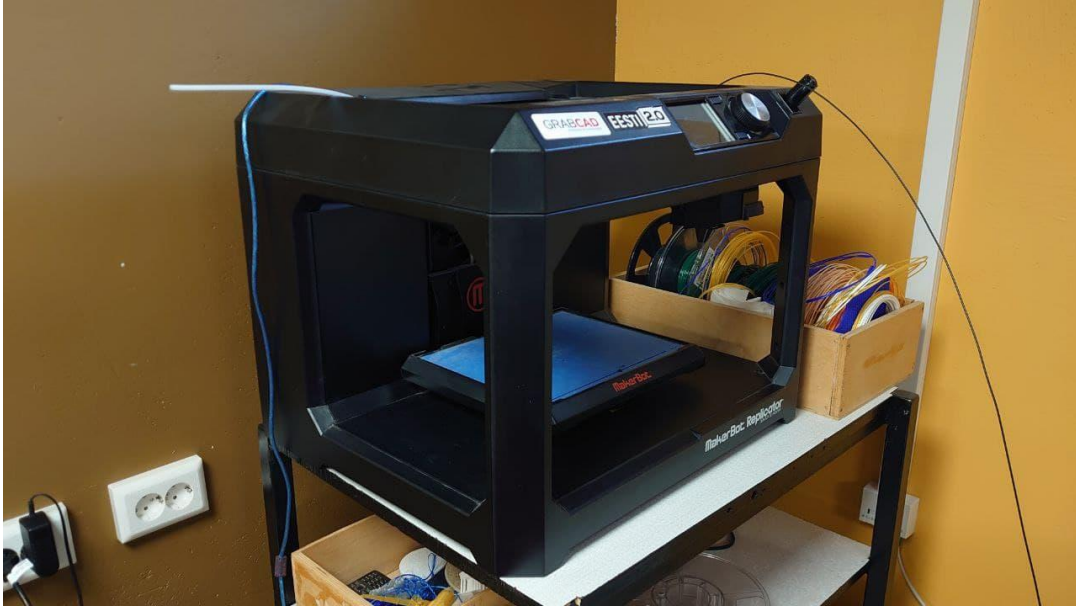
Parema prinditavate detailide kvaliteedi saavutamiseks otsustati kasutada muid printimisparameetreid ning teist printerit, millel oleks täpsem juhtimissüsteem ning võimalus paigaldada peenemat otsakut täpsema printimistulemuse saavutamiseks.

5.2 Teise tooteprototüübi valmistamine

5.2.1 Kasutatud 3D printer

Alternatiivina Tallinna Tehnikakõrgkoolis olevale printerile kasutati MakerBot Replicator 3D printerit (Joonis 24), mis kuulub kallimate 3D printerite hulka, aga seevastu omab paremaid

printimisvõimalusi ja -kvaliteeti. Printeri eelisteks on edasi arendatud tarkvara, mis võimaldab salvestatud detailide mudeleid kohandada, muutes, näiteks, nende struktuuri õõnsaks. Lisaks sellele võimaldab selline printer paigutada printimisalusele mitu detaili korraga, kombineerides erinevaid detailide faile ning sellele järgnevalt printida välja korraga mitu detaili.



Joonis 24. MakerBot Replicator 3D printer

Ekstruuderina oli detailide printimisel kasutati polüaktiidist traatmaterjali jaoks mõeldud MakerBot Smart Extruder+, mis sobib sellistele printeritele nagu MakerBot Replicator ja MakerBot Replicator Mini. Ekstruuderi eelisteks on magneetiline kinnitus, mis väldib 3D printeri servode kahjustusi ning traatmaterjali etteande tõrgete korral pehmendab oluliselt lööke, vähendades printitava detaili kõrvalekaldeid mudelist. Kvaliteetse 3D detaili printimise tagamiseks on ekstruuderisse sisse ehitatud ka etteande ja ummistuse andurid, mis katkestavad koheselt printimise ning tõrgete kõrvaldamisel võimaldavad alustada samast kohast, kus printimine oli peatatud. [17]

5.2.2 Kasutatud PLA materjal

PLA materjalina kasutati eSUN tootja traatmaterjali 3D printerite jaoks (Joonis 25). Materjali valikul lähtuti võimalusest valida aeglasemat printimiskiirust. Lisaks printimiskiirusele oli oluline filamenti kõrgem tahkestumise temperatuur, et vältida detailide printimise käigus voolavuse teket. Optimaalse printimistulemuse saavutamiseks on tootja välja toonud järgnevaid printimisparameetreid:

Tabel 8. eSUN PLA+ 3D filamendi soovituslikud printimisparameetrid [18]

Printimiskiirus	30...90 mm/s
Printimistemperatuur	200...220 °C
Hangumise temperatuur	0...70 °C
Prinditava materjali jahutusventilaator	Sisselülitatud/väljalülitatud
Filamendi söötmisskiirus	90...150 mm/s



Joonis 25. eSUN PLA+ 1,75mm polülaktiidist valmistatud 3D-printimismaterjal, mida kasutati MakerBot Replicator printeriga

1 – tootjasilt koos triipkoodi, nimetuse ja printimisparameetritega, 2 – materjali mähis, 3 – kokku keeratud eSUN PLA+ traatmaterjal

5.2.3 Toote printimisparameetrid

Arvestades esmase toote prototüübi ajal esinenud printimishäireid otsustati vähendada printimistemperatuuri, et vältida 3D filamendi voolamist. Printimiskiirust oluliselt ei muudetud, aga seoses väiksema 0,20 mm düüsi kasutamisega otsustati langetada kiirust 5 mm/s võrra. Erinevus esmase toote prototüübi printimiseks välja valitud parameetritega oli väike ning välja toodud tabelis (Tabel 9). Väiksema avaga düüsi kasutamisega püüti vähendada printimise käigus tekkivaid erinevusi kahe kihi kokkupuutekohas.

Tabel 9. Lõpptoote printimistingimused

Printimiskiirus	60 mm/s
Printimistemperatuur	205 °C
Jahutusventilaator	väljas
Detaili struktuur	õõnes, sarrustatud
Materjali kogukulu	89 g

Selleks, et vähendada printitava detaili massi valiti printeri menüüst toote struktuuriks õõnes struktuur, ning selle tugevdamiseks olid kõik kolm detaili sarrustatud reljeefse sisemise karkassiga. Parema ettekujutuse saamiseks on sarrustamiskarkassi näidis välja printitud (Joonis 26).



Joonis 26. Sarrustamiskarkass, millega on täidetud detailide õõnsused, et tugevdada kergemat konstruktsiooni

5.2.4 Printimise lõpptulemus

Printimine viidi läbi korraga kolme detailiga (Joonis 27). Materjali kogukulu oli seoses õõnsa struktuuriga oluliselt väiksem ning võimaldas vähendada tootemassi 177,5 grammist 84,5 grammini ehk toote kaal oli vähendatud 52,39 %. 3D printitud detailide pind rahuldab töö nõudeid ning vajab ainult väiksemaid viimistlusi ning printimisega kaasnevate tugide ning alusplaadi eemaldamist.



Joonis 27. 3D prinditud lõpptoode koos selle sisse asetatud joogitopsiga enne lõpliku viimistlust

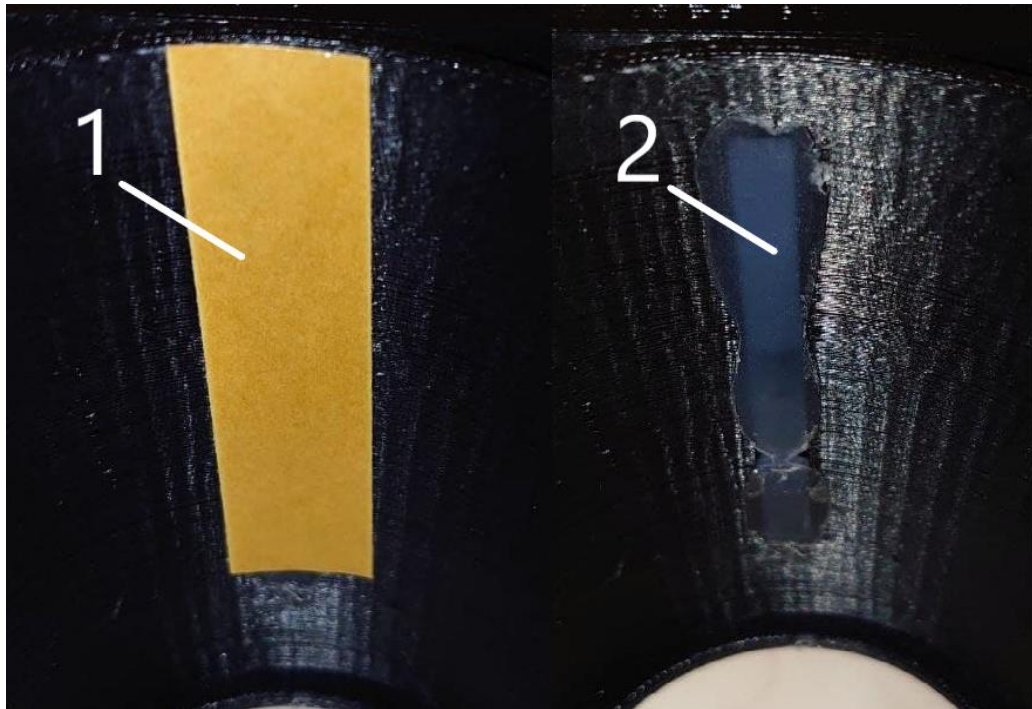
5.2.5 Toote viimistlus

Projekteeritud seade ei vajanud toote suuremahulist viimistlust. Põhiline viimistlus oli suunatud alusplaadi eemaldamisele ning väiksemate ebatäpsuste parandamisele peenema lihvimiskäsna abil, teralisusega 220. Alusplaadist eemaldatud ning lihvitud detailid ühendati kokku. Parema kinnituse jaoks eksploatatsioonis olid liitekohad tugevdatud A.I.&E (Kinzo) tootja kuumliimiga, mille diameeter on 7 mm ja pikkus 100 mm (Joonis 28), et vältida toote lagunemist suuremate ebatasasuste ja äkkpidurduste korral [19].



Joonis 28. A.I.E&E kuumliim
1 – kuumliimi pakend, 2 – kuumliimi pulk

Kuumliimi laialivalgumise tõkestamiseks olid topsihoidja avad seestpoolt tihedatud kahepoolse teibiga. Pärast liimi tahkestumist kahepoolne teip eemaldati (Joonis 29).



Joonis 29. Topsisoidja detaili liitmine teiste detailidega kasutades kuumliimi
1 – ühelt poolt kahepoolse teibiga kaetud detailide kinnituskoht, 2 – kuumliimiga tihendatud
detailide kinnituskoht peale kokkupanekut

Termopüstolina kasutati A.I.&E (Kinzo) tootja mudel 79179 kuumliimi püstolit (Joonis 30) .
Kuumliimi püstol on sobilik kuumliimipulkadega A.I.&E ja teistelt tootjatelt, mille diameeter on 7
mm (Joonis 30). Kuumliimi püstol vajab pinget 230 V sagedusega 50 Hz, seadme nimivõimsus on 7
W ning kuumliimi voolukiirus on 3-5 g/min.



Joonis 30. A.I.&E kuumliimi püstol

6. VALMISPROTOTÜÜP

Kasutuskõlblik toode kaalub 89,5 g. Toode on valmistatud biolagunevast ehk komposteeritavast PLA materjalist, mis tagab kasutatava toote ohutuse ning võimaldab vähendada toote negatiivset mõju keskkonnale.

Termopüstoliga fikseerimise viis võimaldab ühe detaili kahjustusel selle teiseldamist sõlmest ning varuosa kiiret kättesaadavust 3D printimise käigus. Kiire komponendi asendus on võimalik, lahustades termopüstoli liimi alkohooli sisaldavate lahustitega, mis aga oluliselt ei kahjusta PLA plasti kui tegemist on lühiajalise kontaktiga. Selline lahendus soodustab toote pikaajalist kasutust ning omakorda vähendab oluliselt materjali kulu uue toote valmistamiseks.

Valmistatud toote mass on 89,5 g koos sellele kinnitatud metallplaadiga. Eraldiseisva magnetkinnituse mass on 60 g ning sellest tulenevalt on kogu komplekti mass 159,5 g. Kõik valmisprototüübi detailide ning koostu joonis on leitavad lisadest (Lisa 10), (Lisa 11), (Lisa 12), (Lisa 13).

Võrreldes teiste kinnitustega pakub arendatud lahendus mitme objekti kinnitamist korraga ning läbi selle tagab kiire ligipääsetavuse nii nutiseadmele kui ka joogitopsile, tagades turvalisemat liiklemist, sest juhi vaateväli püsib tee jälgimisel. 3D printitud detailide omahind arvestades materjali kulu ilma elektrikuluta projekteerimisele ja toote valmistamisele on 2,25 € materjalidelt ning 5 € magnetkinnitusele. Kokku on seadme maksumus 7,25 €.



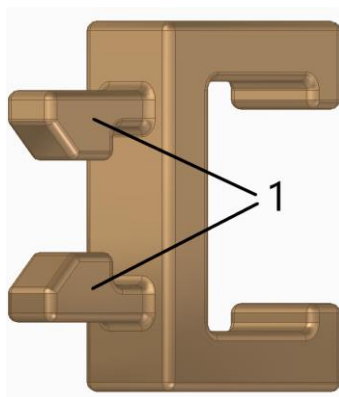
Joonis 31. 3D printitud topsi- ja telefonihoidja autosse (valmisprototüüp)

7. VALMISPROTOTÜÜBI ARENDUS

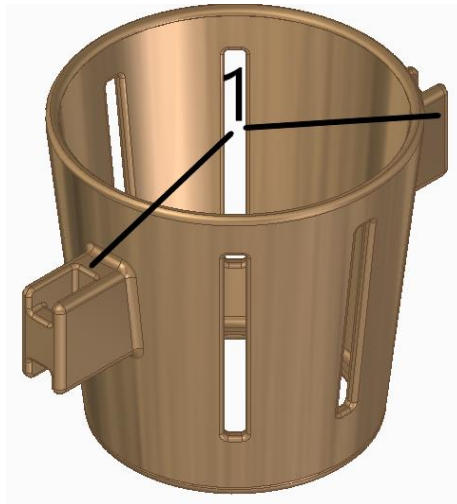
Valmisprototüübi katsetamisel selgus, et ventilatsioonivõrele paigutamisel on tagatud selle konstruktsiooni püsivus tasasel teel. Ebahütlase teekate korral on aga võimalik kinnituse eraldumine kinnitusmagnetist kui topsihoidja sisse on paigutatud suurem joogitops. Lisaks piiratud kasutamisele olid teatud valmisprototüübi ääred väga teravad, tekitades ebamugavust kokkupuutel.

Valmisprototüübi massi vähendamiseks ja valmistamisprotseduuri lihtsustamiseks otsustati loobuda kuumliimi (liimipulkade) (Joonis 28) kasutamisest ning luua kinnitusviis, mis aitab väljaprintitud detaile kohe peale puhastamist omavahel liita. Masinatööstuses kasutatakse detailide liitmiseks erinevaid kinnitustüüpi, millest kaalutlusele võeti neli: keermestatud kinnitus, keeratava fiksaatoriga kinnitus, tihvtiga kinnitus ning sangadega kinnitus. Neljast variandist oli projekteeritava toote kinnituse aluseks võetud sangadega kinnitus. Sangadega kinnituse valikut tingis selle kerge valmistamisprotsess, väiksemate ebatäpsuste parandamise võimalus ning madalad nõuded selle täpsusele. Keermestatud või fiksaatoriga kinnituse valmistamine on 3D printimismeetodil oluliselt keerulisem ning suure täpsuse saavutamine ei ole nende kahe lahenduse puhul võimalik.

Sangadega kinnitus koosneb kahest osast. Esimene osa on telefoni- ja ventilatsioonivõre kinnitusel kahe sangaga asuv klamberi-tüüpi kinnitus (Joonis 32). Teine osa on topsil asuv kinnituspunkt, mille külge nii telefonihoidja kui ka ventilatsioonivõre kinnituse detailid kinnituvad (Joonis 33).



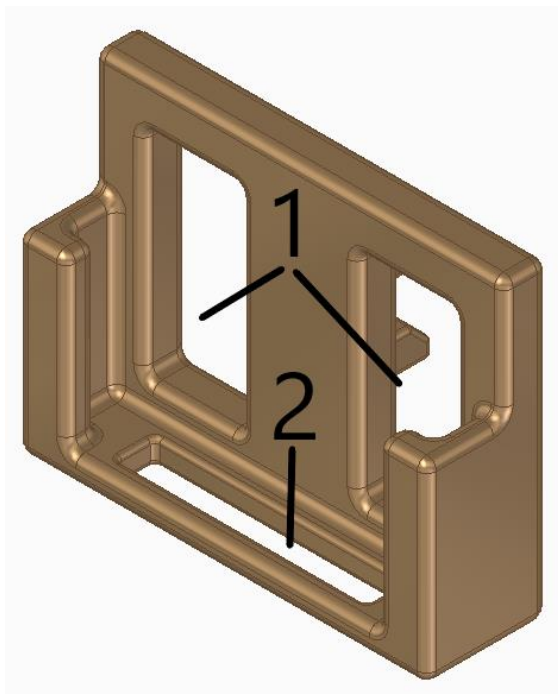
Joonis 32. Ventsilatsioonivõre kinnituse mudel
1 – ventsilatsioonivõre kinnituse sangad selle kinnitamiseks topsihoidjale



Joonis 33. Topsihoidja mudel

1 – topsihoidja sümmeetriliselt paigutatud kinnituspunktid telefonihoidja ja ventsilatsioonivõre kinnituse jaoks

Tootemassi edaspidiseks vähendamiseks tekitati telefonihoidja mudelisse avad. Avade paigutusel valiti välja telefonihoidja tagaseina ja aluspinda piirkondi (Joonis 34), mis ei mõju oluliselt konstruktsiooni tugevusele ning võimaldavad detaili paremini haarata kui tekib vajadus seda koostust eemaldada.



Joonis 34. Telefonihoidja mudel

1 – telefonihoidja tagaseina avad konstruktsiooni massi vähendamiseks, 2 – alusplaadi ava konstruktsiooni massi vähendamiseks

Kõikidele valmisprototüübil olevatele nurkadele ja teravatele äärtele anti ümardusraadiused. Ümardusraadiuste olemasolu on oluline tegur kasutusmugavuse ja –ohutuse tagamiseks. Kinnituskohetadel aitavad ümardusraadiused elimineerida pingekontsentratsioonide teket, mis tõstab konstruktsiooni tugevust ja vastupidavust tsüklilistele koormustele, kaasa arvatud vibratsioonile.

Kui esialgse prototüübi mass koos kolmanda osapoole kinnitusega moodustas 159,5 g, siis uue parendatud mudeli kogumassi vähendati 32,5 g võrra. Kogu lõpliku valmistoote moodul kaalub 127 g (Joonis 35). Arvestades lisamaterjali, mida kasutatakse tugevdusribidena ja alusplaadina seadme printimisel on materjali kogukulu 150 grammi. Seadme maksumus on arvestades materjali kulu 3,91 €.



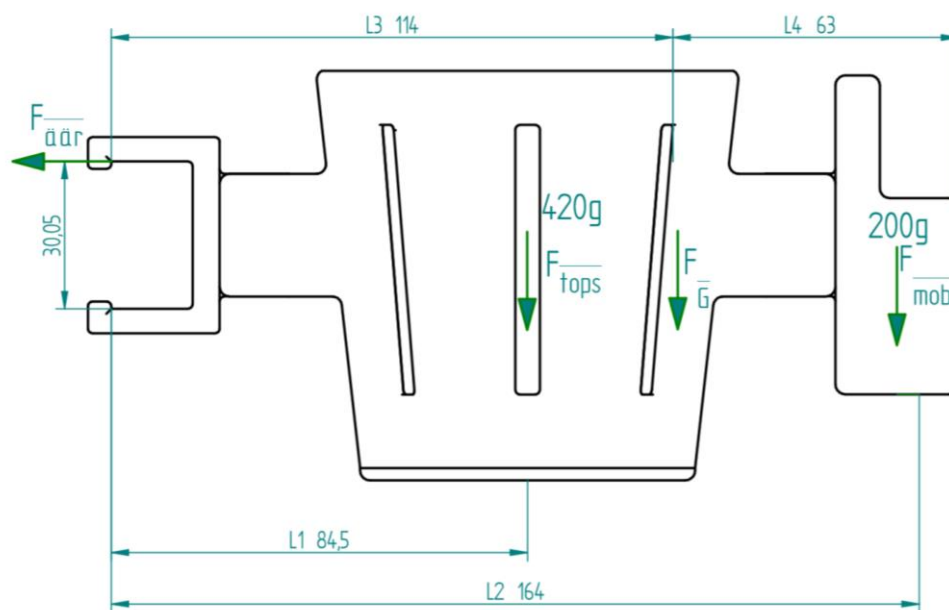
Joonis 35. Valmistoote kaalumise kaalu peal

Täpsemad joonised ja koostu joonis on eraldi välja toodud antud töö lisades (Lisa 14), (Lisa 15), (Lisa 16), (Lisa 17).

8. ARENDATUD PROTOTÜÜBI TUGEVUSARVUTUSED STAATILISE KOORMUSE KORRAL

Staatiliste tugevusarvutuste läbiviimise eesmärgiks on leida seadmele mõjuva jõu ja momentide väärtusi ning võrrelda neid materjali purunemisingega ohtlikus kohas. Materjali purunemiskiir ohtlikus kohas oli tuletatud mehaanilistest purustamiskatsete tulemustest, millest täpsem informatsioon on leitav lisadest (Lisa 4), (Lisa 5), (Lisa 6), (Lisa 7).

Enne arvutuste läbiviimist koostati seadmele vastava joonise koos sellele mõjuvate jõudude, jõuõlgade ja massiga (Joonis 36). Peamised jõud, mis hakkavad konstruktsiooni mõjutama on joogitops koos selle sisse valatud vedelikuga, mille mass on kuni 420 g ning mobiiltelefon, mille mass on kuni 200 g.



Joonis 36. Arendatud tooteprototüübi joonis koos sellele rakendatud jõudude-, jõuõlgade- ja massiga

$F_{\text{äär}}$ – ventilatsioonivõre kinnituse sangale mõjuv jõud, F_{tops} – topsihoidjasse asetatud topsi jõud, F_{mob} – telefonikinnituses oleva telefoni jõud, F_{g} – seadme raskuskese punktis mõjuv jõud, L_1 – jõuõlg alates ventilatsioonivõre sangast kuni topsi poolt rakendatud jõuni, L_2 – jõuõlg ventilatsioonivõre kinnituse sangast kuni telefoni poolt rakendatud jõuni, L_2 – jõuõlg ventilatsioonivõre sangast kuni konstruktsiooni raskuskese punktini, L_4 – jõuõlg raskuskese punktist kuni telefonihoidja ääreni

Esimeseks eeldatavaks ohtlikuks kohaks valiti koostus ventilatsioonivõre kinnituse eesmise sanga nurka. Kohale mõjuv jõud on tähistatud joonisel kui $F_{\text{äär}}$ (Joonis 36). $F_{\text{äär}}$ punktis mõjuva jõu leidmiseks summeerime kõik momendid, mis esinevad süsteemis.

Kõikide momentide leidmiseks kasutame järgmist valemit (1) [20, p. 20]:

$$M = M_1 + M_2 + M_3, \quad (1)$$

kus M_1 – moment punktist $F_{\text{äär}}$ punktini F_{tops}

M_2 – moment punktist $F_{\text{äär}}$ punktini F_{mob}

M_3 – moment punktist $F_{\text{äär}}$ punktini F_g

Seadmele punktis $F_{\text{äär}}$ mõjuv moment vastavalt valemile (2) on:

$$M = F_{\text{tops}} \times L_1 + F_{\text{mob}} \times L_2 + F_g \times L_3, \quad (2)$$

Asendades võrrandis (2) tähiseid arvuliste väärtustega saame järgneva võrrandi (3):

$$\begin{aligned} M &= 420 \times 84,5 + 200 \times 164 + 127 \times 114 = 82\,768 \text{ (g} \times \text{mm)} \quad (3) \\ &= 0,828 \text{ N} \times M. \end{aligned}$$

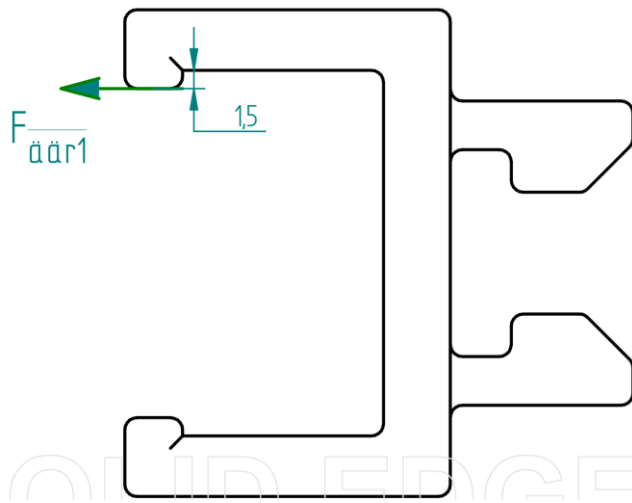
Järgnevalt leiame jõu, mis mõjub süsteemile punktis $F_{\text{äär}}$ (4):

$$M = F_{\text{äär}} \times 0,03005, \quad (4)$$

Asendame võrrandis (4) olevaid tähiseid ja teisendame võrrandi. Selle tulemusel saame järgneva võrrandi (5):

$$F_{\text{äär}} = \frac{M}{0,3005} = \frac{0,828}{0,03005} = 27,55 \text{ N.} \quad (5)$$

Võrrandist (5) tulenevalt vaatleme milline moment mõjub eesmisele sangale (Joonis 37).



Joonis 37. Ventilatsioonivõre kinnituse detaili moment eesmise sanga piirkonnas

Selleks võtame võrrandist (5) saadud tulemust ning korrutame selle läbi kaugusega $F_{\text{ääär}}$ jõust. Valemist saame järgmise tulemuse (6):

$$M = 27,55 \times 0,0015 = 0,041 \text{ N} \times \text{M}. \quad (6)$$

Järgmise sammuna on vajalik leida vastupanumoment ventilatsioonivõre kinnituse sanga punktis (Lisa 16), mille laius on 13 mm ja kõrgus 4,75 mm. Vastupanumomendi leidmiseks kasutame järgmist valemit (7) [21, p. 21]:

$$W_z = \frac{bh^2}{6}, \quad (7)$$

kus b – ristküliku laius

h – ristküliku kõrgus

Ventilatsioonivõre kinnituse sanga punktis on vastupanumoment vastavalt valemile (7):

$$W_z = \frac{13 \times 4,75^2}{6} = 48,89 \text{ mm}^3. \quad (7)$$

Peale momendi ja vastupanumomendi leidmist on võimalik arvutada välja paindepinget ohtlikus kohas, kasutades valemit (8) [21, p. 21]:

$$\sigma_p = \frac{M_z}{W_z}, \quad (8)$$

kus M – moment

W – vastupanumoment

Kasutades valemit (8) arvutame välja paindepinget ohtlikus kohas (9):

$$\sigma_p = \frac{0,041 \times 10^3}{48,89} = 0,839 \text{ MPa}. \quad (9)$$

Nelinurkse prisma katsekeha purustuskatsete tulemusel saadi tõmbetugevuse väärtuseks 2,025 kN (Lisa 2), (Lisa 6) tingimusel, et prinditava katsekeha täituvusaste on 95% ning tõmbejõud on rakendatud seadmele ristikiudu. Materjali purunemispinge leidmiseks leiame katsekeha ristlõikepindalat ning jagame katsete tulemusel saadud purustusjõu väärtust ristlõikepindalaga.

Katsekeha ristlõikepindalat arvutame välja kasutades ruudu pindala valemit (10):

$$S = a^2, \quad (10)$$

kus S – ruudu pindala

a – ruudu külje pikkus

Asendades valemis (10) ruudu külje pikkuse tähise katsekeha külje pikkusega, saame järgneva tulemuse (11):

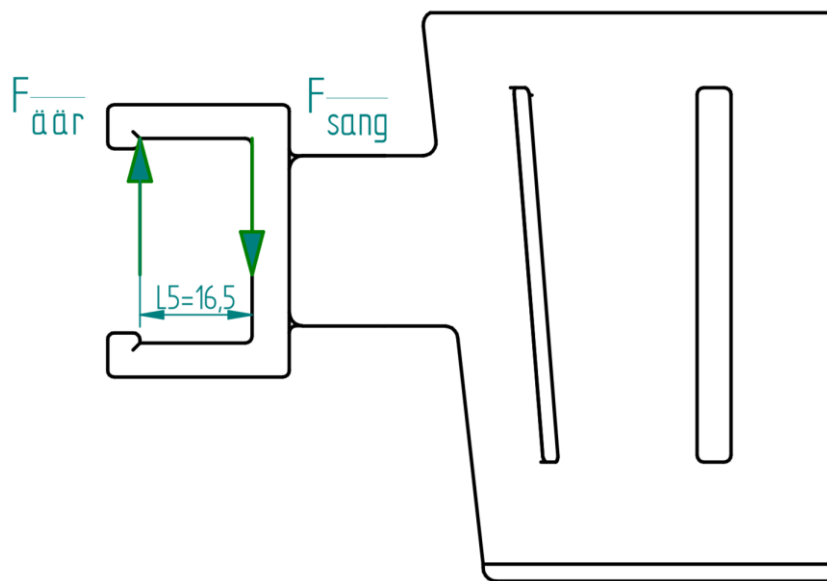
$$S = 10^2 = 100 \text{ mm}^2. \quad (11)$$

Ristlõikepindala 100 mm^2 korral saame järgneva suhte (12):

$$\frac{2025 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2} = 20,25 \text{ MPa} \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right). \quad (12)$$

Paindepinge ohtlikus kohas on arvutuste järgi $0,839 \text{ MPa}$ ning materjali purunemispinge antud kohas on $20,25 \text{ MPa}$. Materjali purunemispinge on oluliselt kõrgem kui paindepinge ohtlikus kohas, mille alusel võib järeldada, et tegemist ei ole ohtliku kohaga.

Teiseks ohtlikuks kohaks on ventilatsioonivõre kinnituse tagumise sanga osa (Joonis 38).



Joonis 38. Ventilatsioonivõre kinnituse teise ohtliku punkti mõjuv jõud
 F_{sang} – ventilatsioonivõre kinnituse tagumisele nurgale mõjuv jõud, L_5 – jõuõlg $F_{ääre}$ ja F_{sanga} jõudude vahel

Ventilatsioonivõre kinnituse tagumisele nurgale mõjuva jõu leiame korrutades nurgale mõjuva jõu konstruktsiooni momendi jõuõlaga lähtudes valemist (1):

$$M = F_{sang} \times L_5, \quad (13)$$

kus F_{sang} – tagumisele ventilatsioonivõre kinnituse nurgale mõjuv jõud

L_5 – kaugus jõudude $F_{äär}$ ja F_{sanga} vahel

Kuna konstruktsioonile mõjuv moment ja jõudude omavaheline kaugus on teada, saab F_{sanga} jõudu leida järgmise arvutusega (14):

$$M = F_{sang} \times 0,0165, \quad (14)$$

F_{sanga} jõu leidmiseks teisendame valemi ning saame järgneva võrrandi (15):

$$F_{sang} = \frac{M}{0,0165} = \frac{0,828}{0,0165} = 50,18 \text{ N}. \quad (15)$$

Paindemomendi leidmiseks ohtlikus kohas korrutame jõu F_{sang} väärtust jõuõlaga L_5 (16):

$$M = F_{sang} \times 0,0165 = 0,828 \text{ N} \times m. \quad (16)$$

Järgnevalt leiame punktis esineva vastupanumomendi. Aluseks võtame ristlõike vastupanumomendi valemit (7) ning tagumise nurga juures oleva materjali ristlõikepindala, mille laius on 13 mm ja kõrgus 5,5 mm (Lisa 16). Selle tulemusel saame järgneva võrrandi (17):

$$W_z = \frac{bh^2}{6} = \frac{13 \times 5,5^2}{6} = 65,54 \text{ mm}^2, \quad (17)$$

kus b – ristküliku laius

h – ristküliku kõrgus

Kasutades valemit (8) arvutame välja paindepinget ohtlikus kohas F_{sang} (18):

$$\sigma_p = \frac{0,828 \times 10^3}{65,54} = 12,63 \text{ MPa.} \quad (18)$$

Paindepinge ohtlikus kohas on arvutuste järgi 12,63 MPa ning materjali purunemispinge on 20,25 MPa. Materjali purunemispinge on antud punktis kõrgem kui paindepinge, aga konstruktsioonile on rakendatud oluliselt suurem koormus kui punktis $F_{\text{äär}}$, mille tõttu on oluline jälgida kui ühtlaselt ja millise suunatusega (risti- või pikkikiudu) on materjal antud kohas välja prinditud.

Detailide kinnituskohtade tugevusarvutust ei teostatud kuna katsetamise tulemusel selgus, et suurema koormuse korral detailid tulevad üksteisest lahti ning purunemiskiiri ületamist andtud kohtades ei toimu. Purunemiskiiri saavutamine detailide liitekohtades on võimalik vaid liimide kasutamisel, aga arendatud prototüübi korral seda ei tehtud.

9. KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli kasutades eelnevalt omandatud joonestamis- ja projekteerimisoskusi raalprojekteerimises konstrueerida ja valmistada 3D-printeri abil keskkonnasäästlikust polümeerist tarbeese. Keskkonnasäästlikuks polümeeriks valiti pikkade alifaatsete süsivesinikahelatega estrite rühma kuuluvat materjali, mille nimetus on poliüaktiid (PLA).

Tarbeplastid nagu polüetüleen (PE), polüpropüleen (PP), polüvinüülkloriid (PVC) ja polüstüreen (PS) on tänapäeval laiemalt levinud kui bioplastide rühma kuuluvad plastid enda maksumuse ja hea töödeldavuse tõttu, aga nende pikk lagunemisperiood, madalad mehaanilised näitajad peale ümbertöötlemist ning vähesed utiliseerimisvõimalused on peamisteks põhjusteks mille tõttu on lähitulevikus vajalik nende osatähtsust oluliselt vähendada ning investeerida bioplastidesse, mille hulka kuulub ka PLA.

Mehaanilised katsed näitasid, et PLA kui materjal on rabe, aga tema mehaanilised omadused on piisavad, et valmistada sellest argipäevaselt kasutatavaid tarbeesemeid, mis ei tööta löökkoormustele. Jäiga ja vastupidava konstruktsiooni valmistamisel on tähtsamal kohal valmistatava eseme materjaliga täiteprotsent ning prinditud materjali kiudude asetus jõu ja momendi rakendamissuuna suhtes.

Detaili valmistamisel on soovituslik kasutada kallimaid printereid, millel on täpsem programmjuhtimise süsteem. Lisaks parematele printeritele aitavad parema materjali struktuuri tagada madalamad printimiskiirused ja ekstruuderi väiksema läbimõõduga printimispea.

Valmistatava tarbeese, milleks oli valitud joogitopsi- ja telefonihoidja, eesmärgiks oli tagada selle modulaarsust, mille abil oleks võimalik kasutatava seadme lahti võtta ning viga saanud detaili uue vastu välja vahetada. Valmistatud ja arendatud tooteprototüüp koosneb kolmest detailist mida liidetakse omavahel kokku sangade abil ilma liimi kasutamata. Ühe detaili purunemisel on võimalik vigastatud detaili koostust eemaldada ning uue detailiga välja vahetada, mis tagab pikema tarbeeseme eluea ning oluliselt tõstab selle parandamisvõimalusi. Valmistoodet ei vaja täiendavaid pakendeid ja on peale puhastust kohe kasutamiseks valmis. Toodete saatmisel on aga võimalik kasutada biolagunevaid pakendeid nagu kartong.

SUMMARY

With this thesis the author focuses on designing and manufacturing an object of utility made from biodegradable polymer using knowledge in computer-aided design and 3D printing technology. The material chosen to be used for production was polylactic acid, also known as polylactide (PLA).

Commodity plastics used in today's manufacturing like polyethylene (PET), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC) and polystyrene (PS) have a bigger market share than biodegradable plastics due to the lesser cost of manufacturing and good processing properties, but their longer period of degradation, low mechanical properties of recycled mass, and scarce options of recycling are the main reasons why the industry should lower their market share and invest in more environment-friendly biodegradable polymers like PLA.

Mechanical tests showed that PLA is a brittle material, but its mechanical properties satisfy the requirements to manufacture the commodity items used in everyday life which are not affected by impact loads. In order to manufacture a rigid and durable product, the infill and fiber orientation in relation to the momentum and force should be taken into account.

In product manufacturing, the structure and quality of the final product is closely related to computerized numerical control algorithms of a particular 3D printer. In addition to that, a slower feed rate of material and a smaller nozzle of the extruding unit aid to achieve better results of 3D printing.

The main goal of the design was to make the final product modular, which would improve its repairability and service life – the product consists of three parts joined together by glue-free clamp-based joints, allowing to swap damaged parts out. It is free of packaging and ready to be used after the final refinement. Shipping and handling the product to an end-user is possible by using cardboard-based packaging which is biodegradable and environmentally friendly.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] P. Christjanson, Polümeeriteadus, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2008, p. 279.
- [2] D. S. El-Kadi, Bioplastic production in plastic age, Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller GmbH & Co. KG, 2011, p. 145.
- [3] P. Christjanson, Polümeermaterjalid II, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2007, p. 165.
- [4] G.U.N.T. Gerätebau GmbH, „WP 400 Impact test, 25Nm,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.gunt.de/en/products/engineering-mechanics-and-engineering-design/materials-testing/impact-bending-test/impact-test-25nm/020.40000/wp400/glct-1:pa-148:ca-35:pr-1621>. [Kasutatud 2022 aprill, 2022].
- [5] Siemens AG, „German sensor and image processing manufacturer uses Solid Edge to significantly reduce development times,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/customers/wenglor-sensoric/93035/>. [Kasutatud 16. aprill, 2021].
- [6] Siemens AG, „Industrial mixing and separation machine maker uses Solid Edge to cut design time by 50 percent,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/customers/bp-littleford-solidedge/75296/>. [Kasutatud 16. aprill, 2021].
- [7] Siemens AG, „Rescue equipment maker builds award-winning, life-saving products,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/customers/resqtec/94953/>. [Kasutatud 16. aprill, 2021].
- [8] Siemens AG, „Russian aerospace firm significantly improves productivity using solutions from Siemens Digital Industries Software,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/customers/jsc-lepse/83837/>. [Kasutatud 16. aprill, 2021].
- [9] Siemens AG, „About us,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/company/about.html>. [Kasutatud 14. aprill, 2021].
- [10] Defender, „Car holder Defender CH-126 magnet, ventilation grille,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://defender-global.com/catalog/holders/ch-126-magnet-ventilation-grille>. [Kasutatud 7. märts, 2021].

- [11] GSM маркет 23, „Автомобильный держатель Defender CH-126,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://gsmmarket23.satom.ru/p/371586204-avtomobilnyy-derzhatel-defender-ch-126/>. [Kasutatud 5. märts, 2021].
- [12] GSMarena, „Compare specs,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.gsmarena.com/compare.php3?idPhone1=9840&idPhone2=10237&idPhone3=10152>. [Kasutatud 11. märts, 2021].
- [13] R. Hagen, „Polylactic Acid,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/polylactic-acid>. [Kasutatud 17. aprill, 2021].
- [14] Polymaker, „PolyMax™ PLA,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eu.polymaker.com/product/polymax-pla/>. [Kasutatud 13. aprill, 2021].
- [15] Tallinna Tehnikakõrgkool, „TTK üliõpilased tutvustasid Teeviidal kõrgkooli,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ttk.ee/uudised/ttk-uliopilased-tutvustasid-teeviidal-korgkooli>. [Kasutatud 13. aprill, 2021].
- [16] E3D-Online, „Titan Aero Kit,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://e3d-online.com/products/titan-aero>. [Kasutatud 10. aprill, 2021].
- [17] MakerBot, „MakerBot Smart Extruder+ (for Replicator & Mini) MP07325,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: shorturl.at/noG56. [Kasutatud 18. aprill, 2021].
- [18] Hobby Warehouse, „eSUN PLA+ 3D Filament 1.75mm Black 1kg,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hobbywarehouse.com.au/esun-pla-3d-filament-1-75mm-black-1kg.html>. [Kasutatud 17. aprill, 2021].
- [19] A.I.&E., „Kinzo Adhesive Sticks for Hot Melt Glue Gun Electric Hobby Craft Art DIY,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.amazon.co.uk/Adhesive-Sticks-Electric-Hobby-Craft/dp/B01INQ103S?th=1>. [Kasutatud 13. november, 2022].
- [20] J. S. J. T. L. Dubeikovski, Tehniline mehaanika, Tallinn: Kirjastus "Valgus", 1987, p. 352.
- [21] I. A. H. Kleis, „Rakendusmehaanika,“ 2001. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.ene.ttu.ee/leonardo/rak_meh/Rakendusmehaanika.pdf. [Kasutatud 2. mai, 2022].

LISAD

Lisa 1. Silindrikujuline katsekeha

Lisa 2. Ristkülikukujuline katsekeha

Lisa 3. V-soonega ristkülikukujuline katsekeha

Lisa 4. Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – ristikiudu

Lisa 5. Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) - pikikiudu

Lisa 6. Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – pikikiudu

Lisa 7. Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – pikikiudu

Lisa 8. V-soonega ristkülikukujulise keha purustamiskatsed (löögisitkus)

Lisa 9. 250 ml joogitopsi mõõtmed

Lisa 10. Teise tooteprototüübi topsihoidja

Lisa 11. Teise tooteprototüübi metallplaadi hoidja

Lisa 12. Teise tooteprototüübi telefonihoidja

Lisa 13. Teise tooteprototüübi koost

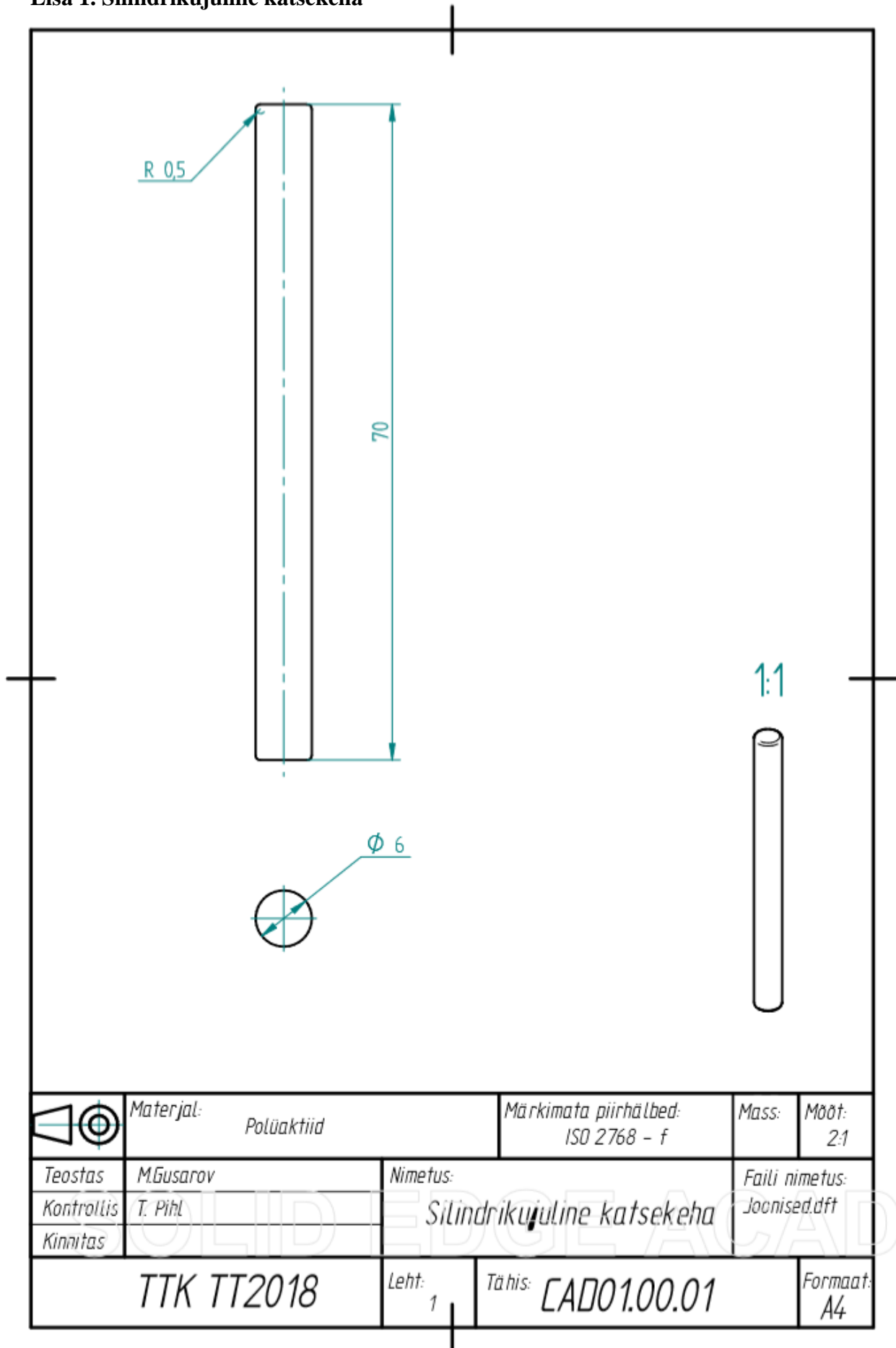
Lisa 14. Arendatud tooteprototüübi joogitopsi hoidja joonis

Lisa 15. Arendatud tooteprototüübi telefonihoidja joonis

Lisa 16. Arendatud tooteprototüübi ventilatsioonivõre kinnituse joonis

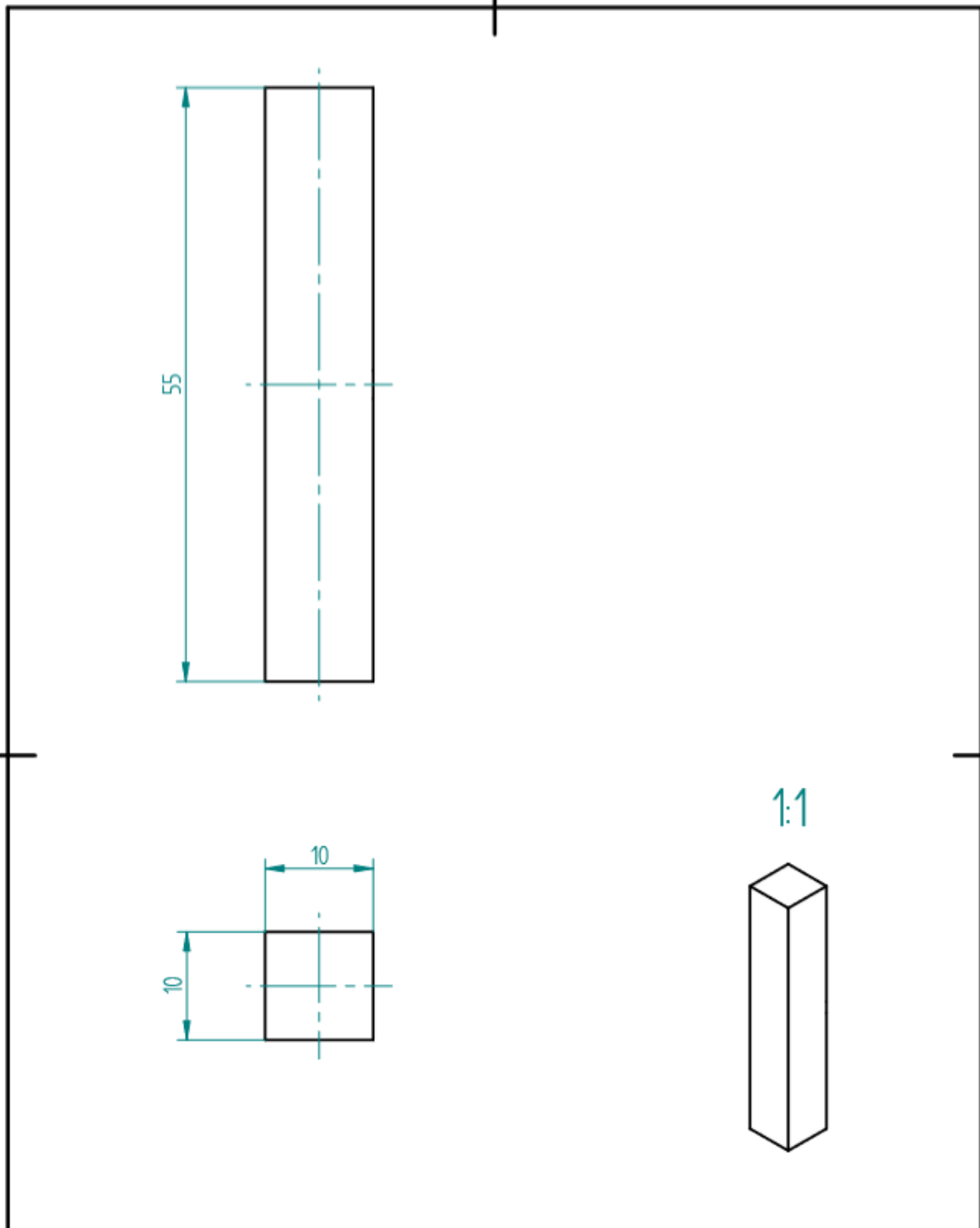
Lisa 17. Arendatud tooteprototüübi koost

Lisa 1. Silindrikujuline katsekeha



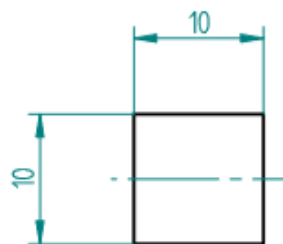
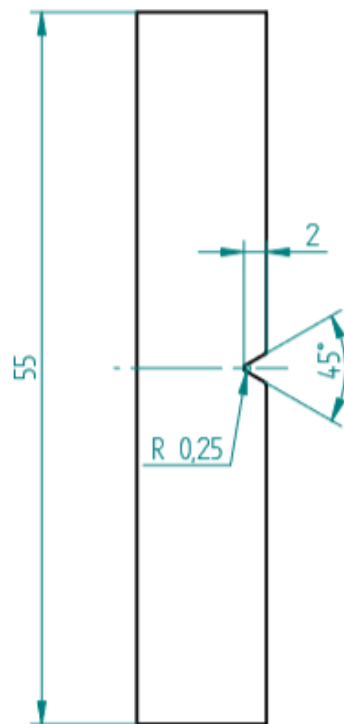
	Materjal:	Polüaktiid	Märgimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
			ISO 2768 - f		2:1
	Teostas	M.Gusarov	Nimetus:	Faili nimetus:	
Kontrollis	T. Pihl	Silindrikujuline katsekeha		Joonised.dft	
Kinnitas					
TTK TT2018		Leht:	Tähis:	Formaat:	
		1	CAD01.00.01	A4	

Lisa 2. Ristkülikukujuline katsekeha

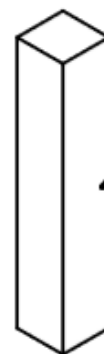


	Materjal:	Polüaktiid	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
			ISO 2768 - f		2:1
Teostas	M.Gusarov	Nimetus:	Faili nimetus: Joonised.dft		
Kontrollis	T. Pihl	Ristkülikukujuline katsekeha			
Kinnitas					
TTK TT2018		Leht:	Tähis:	Formaat:	
		1	CAD01.00.02	A4	

Lisa 3. V-soonega ristkülikukujuline katsekeha



1:1



	Materjal: Polüaktiid		Märkimata piirhälbed: ISO 2768 - f	Mass:	Mõõt: 2:1
	Teostas	M.Gusarov	Nimetus:	Faili nimetus: Joonised.dft	
	Kontrollis	T. Pihl	Ristkülikukujuline katsekeha		
	Kinnitas				
TTK TT2018		Leht: 1	Tähis: CAD01.00.03	Formaat: A4	

Lisa 4. Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – ristikiudu

Katsekehade purustamiskatsed (tõmme)				
Nr	Tüüp	Täituvus	Purustusjõud (kN)	Venivus (mm)
1	Silinder	60%	0.36	3.11
2	Silinder	60%	0.39	3.2
3	Silinder	60%	0.47	4.52
4	Silinder	60%	0.38	2.4
5	Silinder	60%	0.49	2.8
6	Silinder	60%	0.41	2.73
7	Silinder	80%	0.53	3.34
8	Silinder	80%	0.6	3.37
9	Silinder	80%	0.7	3.26
10	Silinder	80%	0.64	3.25
11	Silinder	80%	0.49	2.16
12	Silinder	80%	0.51	3.21
13	Silinder	95%	0.87	2.88
14	Silinder	95%	0.84	2.91
15	Silinder	95%	0.76	2.83
16	Silinder	95%	0.73	2.86
17	Silinder	95%	0.92	3.76
18	Silinder	95%	0.78	2.89
		Keskmine 60%	0.604	3.082
		Keskmine 80%	0.578	3.098
		Keskmine 95%	0.817	3.022

Lisa 5. Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) - pikikiudu

Katsekehade purustamiskatsed (tõmme) - pikikiude				
1	Silinder	80%	1.19	4.17
2	Silinder	80%	1.4	4.61
3	Silinder	80%	1.31	5.31
4	Silinder	80%	1.32	4.9
5	Silinder	80%	1.37	4.25
6	Silinder	80%	1.42	6.52
		Keskmine 80%	1.335	4.96

Lisa 6. Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – pikikiudu

Katsekehade purustamiskatsed (tõmme)				
Nr	Tüüp	Täituvus	Purustusjõud (kN)	Venivus (mm)
1	Nelinurkne-prisma	60%	0.87	9.83
2	Nelinurkne-prisma	60%	0.79	7.53
3	Nelinurkne-prisma	60%	0.93	9.48
4	Nelinurkne-prisma	60%	0.84	7.15
5	Nelinurkne-prisma	60%	0.89	5.49
6	Nelinurkne-prisma	60%	0.96	9.67
7	Nelinurkne-prisma	80%	1.36	6.7
8	Nelinurkne-prisma	80%	1.04	6.89
9	Nelinurkne-prisma	80%	1.44	6.84
10	Nelinurkne-prisma	80%	1.21	6.91
11	Nelinurkne-prisma	80%	1.25	7.15
12	Nelinurkne-prisma	80%	1.16	6.88
13	Nelinurkne-prisma	95%	1.99	9.77
14	Nelinurkne-prisma	95%	2.42	10.01
15	Nelinurkne-prisma	95%	1.91	10.16
16	Nelinurkne-prisma	95%	1.75	8.74
17	Nelinurkne-prisma	95%	1.78	9.64
18	Nelinurkne-prisma	95%	2.3	10.14
		Keskmine 60%	1.301	8.075
		Keskmine 80%	1.243	6.895
		Keskmine 95%	2.025	9.743

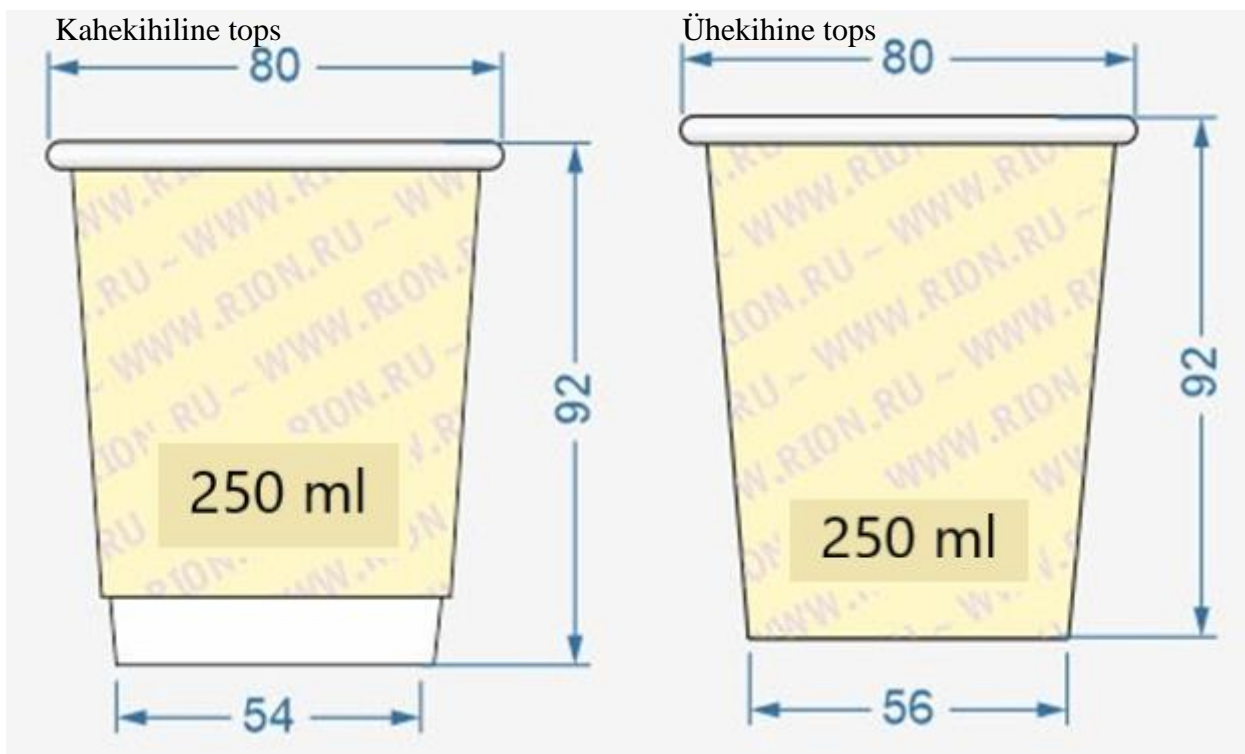
Lisa 7. Silindrikujuliste katsekehade purustamiskatsed (tõmme) – pikikiudu

Katsekehade purustamiskatsed (tõmme) - pikikiude				
1	Nelinurkne-prisma	80%	3.278	10.72
2	Nelinurkne-prisma	80%	2.893	9.919
3	Nelinurkne-prisma	80%	3.311	10.66
4	Nelinurkne-prisma	80%	2.962	10.43
5	Nelinurkne-prisma	80%	2.773	10.51
6	Nelinurkne-prisma	80%	3.305	10.58
		Keskmine 80%	3.087	10.47

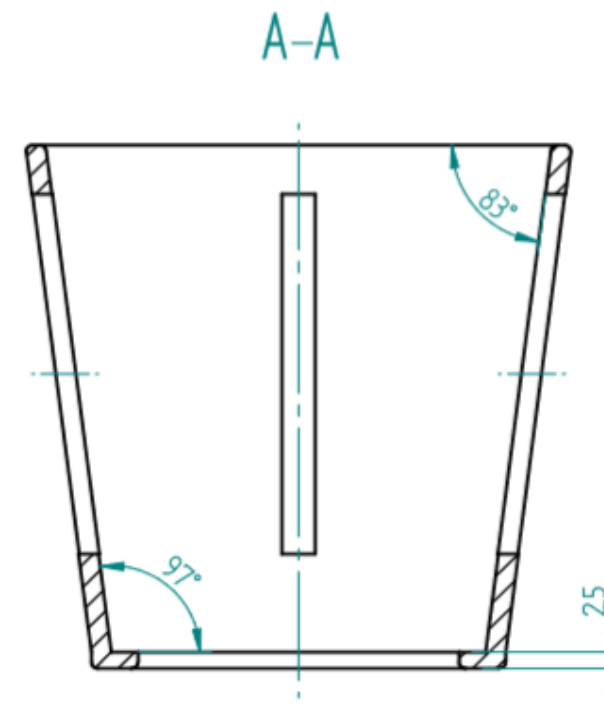
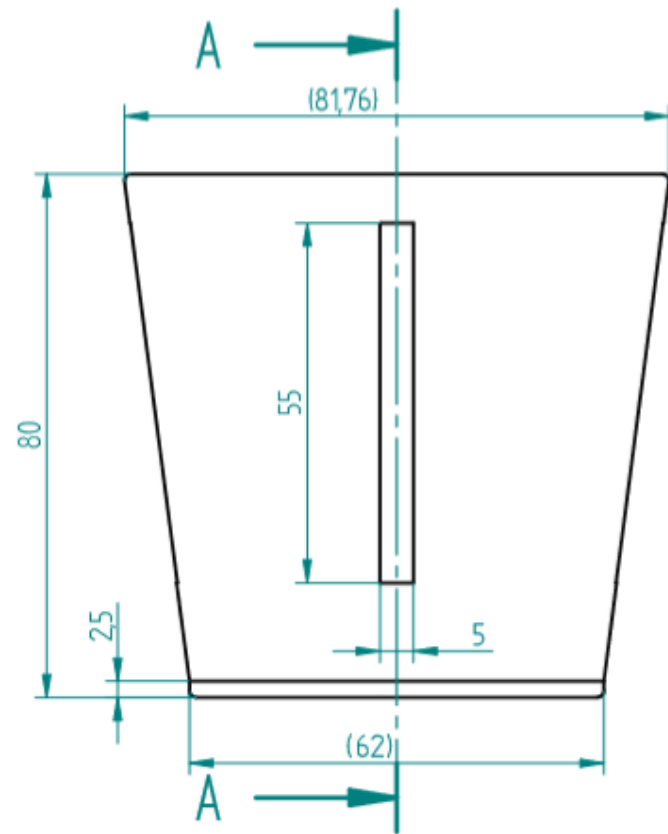
Lisa 8. V-soonega ristkülikukujulise keha purustamiskatsed (löögisitkus)

Katsekehade purustamiskatsed (löögisitkus)				
Nr	Tüüp	Täituvus	Purustusjõud (Nm)	Tüübi kesk (Nm)
1	Prisma risti k.	60%	4	
2	Prisma risti k.	60%	4.1	
3	Prisma risti k.	60%	3.9	4
4	Prisma piki k.	60%	3.7	
5	Prisma piki k.	60%	4	
6	Prisma piki k.	60%	3.7	3.8
7	Prisma risti k.	80%	4.7	
8	Prisma risti k.	80%	5	
9	Prisma risti k.	80%	5	4.9
10	Prisma piki k.	80%	4.6	
11	Prisma piki k.	80%	4.2	
12	Prisma piki k.	80%	4.1	4.3
13	Prisma risti k.	95%	4.9	
14	Prisma risti k.	95%	5	
15	Prisma risti k.	95%	4.8	4.9
16	Prisma piki k.	95%	4.9	
17	Prisma piki k.	95%	4.7	
18	Prisma piki k.	95%	5.1	4.9
		Keskmine 60%	3.900	
		Keskmine 80%	4.600	
		Keskmine 95%	4.900	

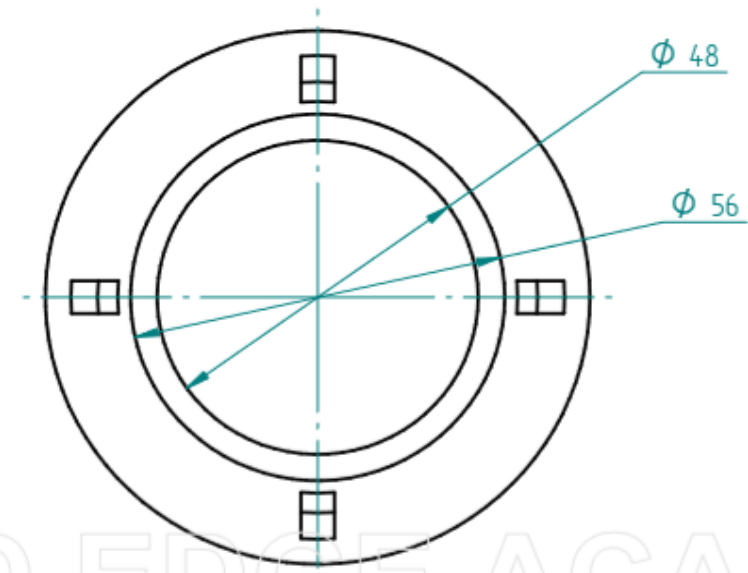
Lisa 9. 250 ml joogitopsi mõõtmed



Lisa 10. Teise tooteprototüübi topsihoidja



1:2

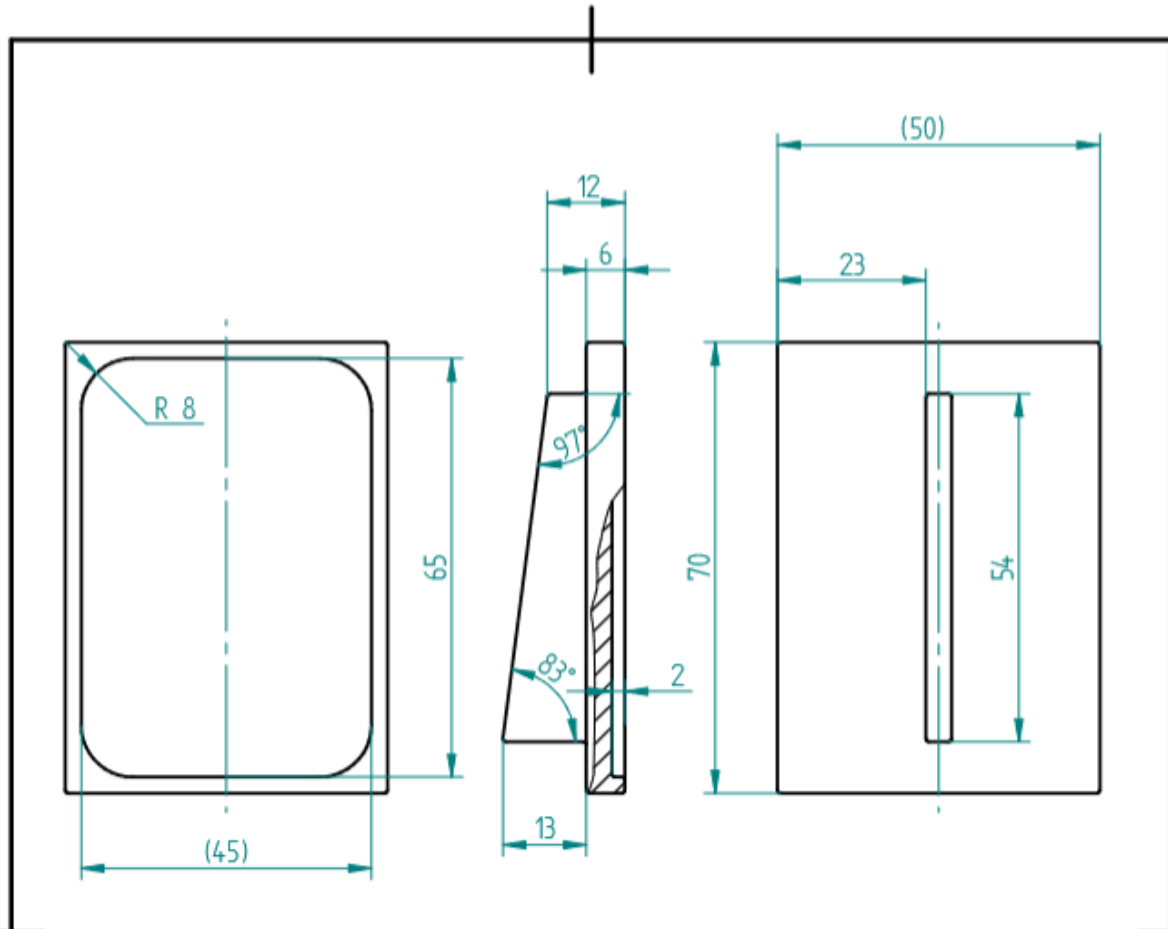


1. Sulgudes mõõtmed teatmelised
2. Märkimata ümardusraadiused R0,5

	Materjal:	Polüaktiid	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Moot:
			ISO 2768 - m	0.034	1:1
	Teostas	M.Gusarov	Nimetus:	Faili nimetus:	
Kontrollis	T.Pihl	Topsihoidja		CUP_HLDR.dft	
Kinnitas					
TTK TT2018		Leht:	Tähis:	Formaat:	
		1	CAD02.00.01	A3	

SOLID EDGE ACADEMY COPY

Lisa 11. Teise tooteprototüübi metallplaadi hoidja



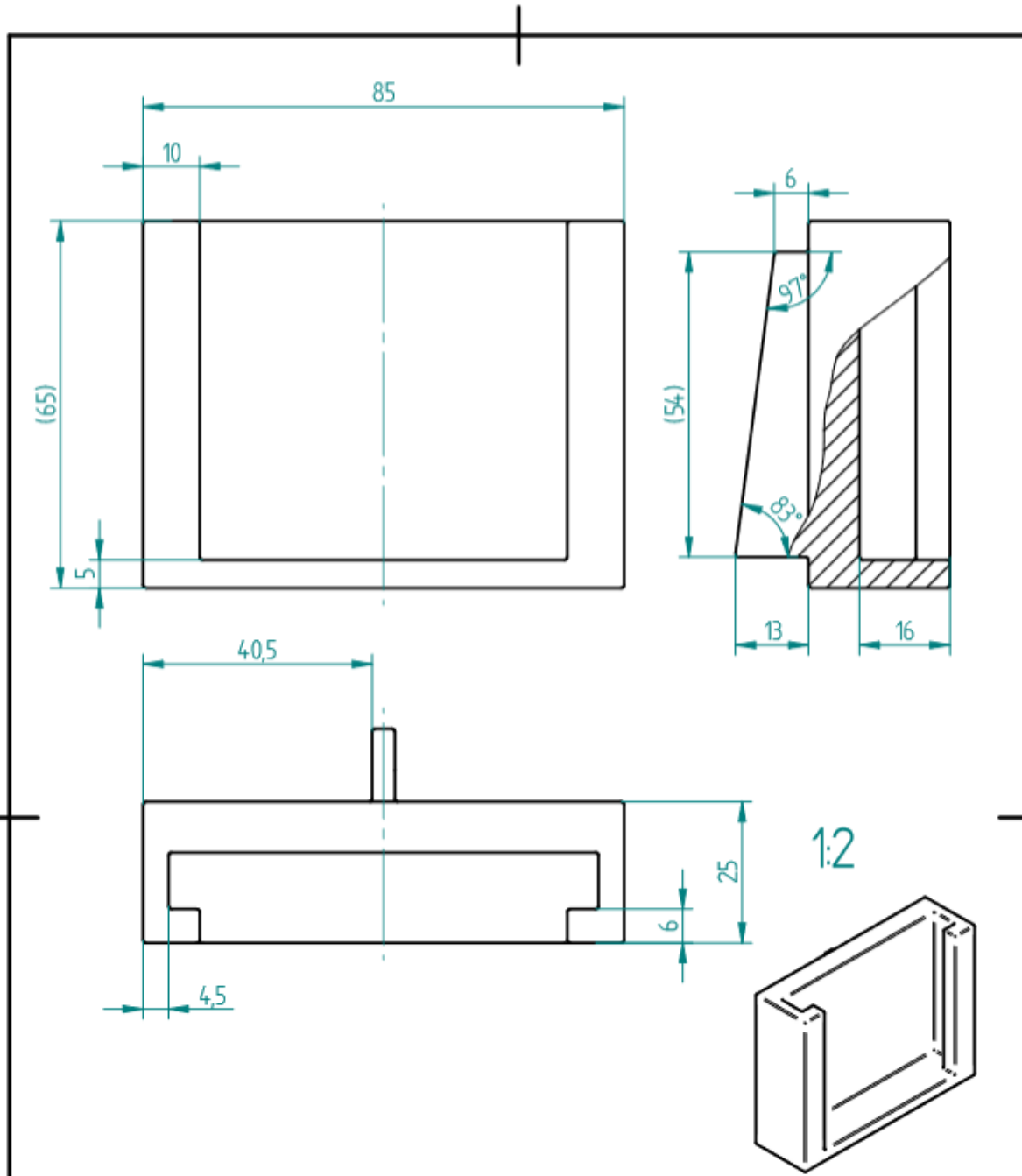
1:2



1. Sulgudes mõõtmed teatmelised
2. Märkimata ümardusraadiused R0,5

	Materjal: Polüaktiid		Märkimata piirhälbed: ISO 2768 - f	Mass: 0.010	Mõõt: 1:1
	Teostas: M.Gusarov	Nimetus: Metallplaadi hoidja		Faili nimetus: CUP_HLDRdft	
Kontrollis: T.Phl					
Kinnitas:					
TTK TT2018		Leht: 1	Tähis: CAD02.00.02	Formaat: A4	

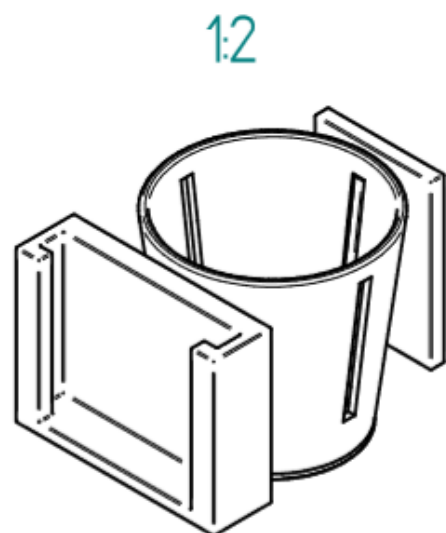
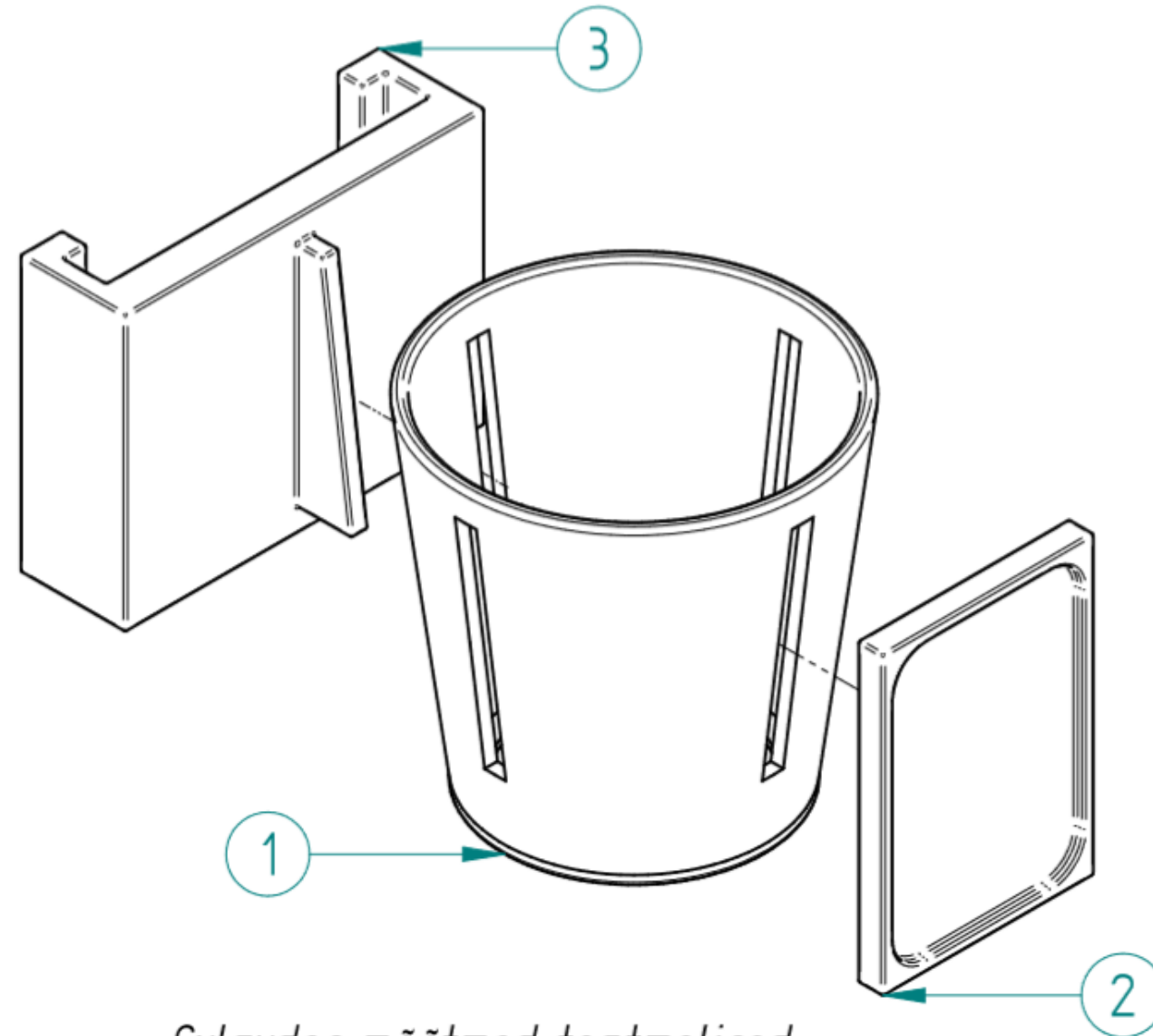
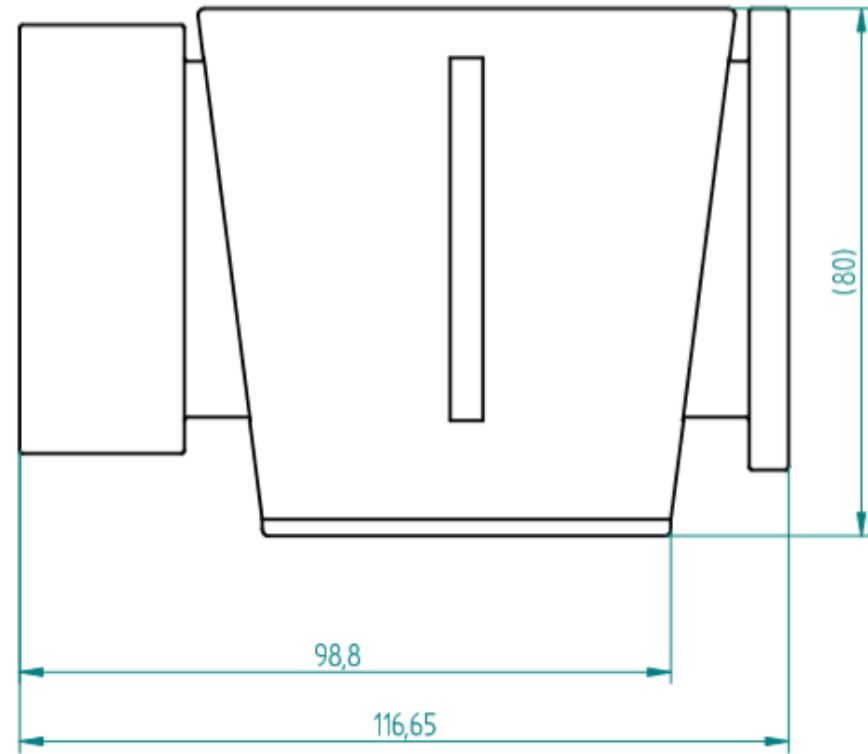
Lisa 12. Teise tooteprototüübi telefonihoidja



1. Sulgudes mõõtmed teatmelised
2. Märkimata ümardusraadiused R0,5

	Materjal: Polüaktiid		Märkimata piirhälbed: ISO 2768 - m	Mass: 0.0425	Mõõt: 1:1
	Teostas M.Gusarov	Nimetus: Telefonihoidja		Faili nimetus: CUP_HLDR.dft	
Kontrollis T.Pihl					
Kinnitas					
TTK TT2018		Leht: 1	Tähis: CAD02.00.03	Formaati: A4	

Lisa 13. Teise tooteprototüübi koost

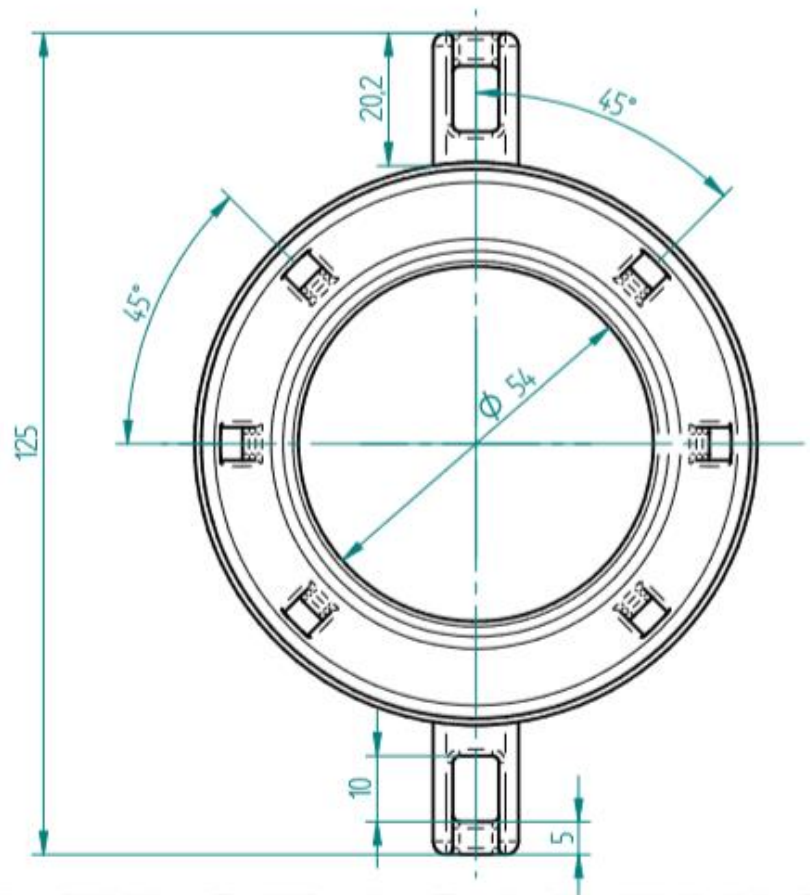
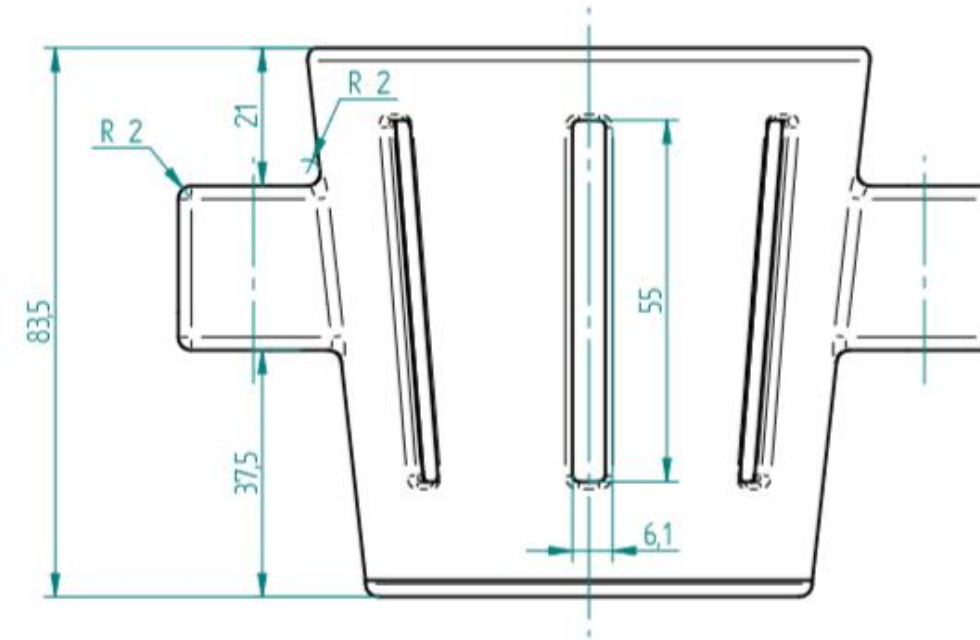
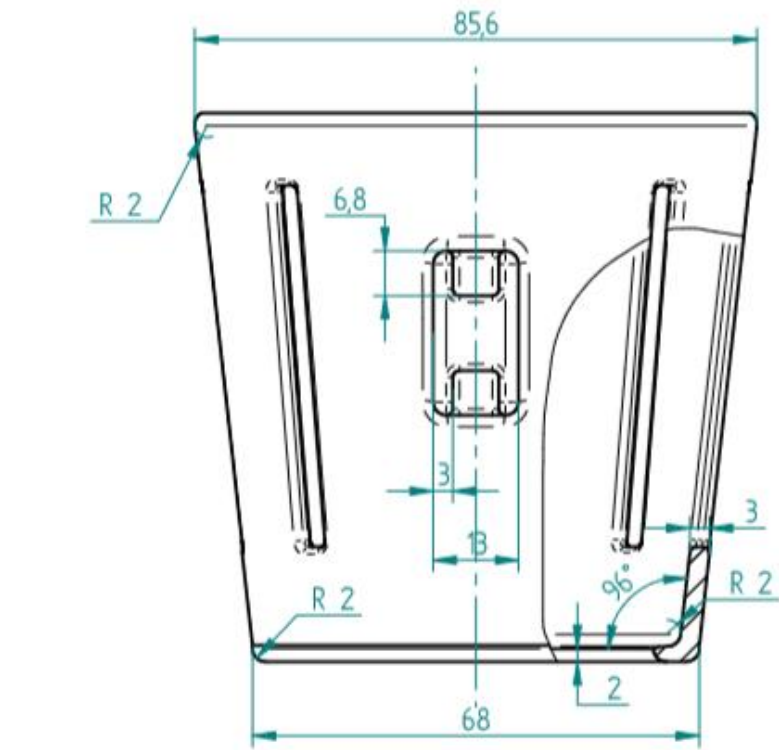


Sulgudes mõõtmed teatmelised

3	Telefoni hoidja	CAD02.00.03	1	
2	Metallplaadi hoidja	CAD02.00.02	1	
1	Topsihoidja	CAD02.00.01	1	
Osa	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkused
	Materjal: Polüaktiid	Märkimata piirhälbed: ISO 2768 - f	Mass: 0.0865	Moot: 1:1
Teostas	M.Gusarov	Nimetus: Tpsi- ja telefonihoidja koost	Faili nimetus: CUP_HLDR.dft	
Kontrollis	T.Pihl			
Kinnitas				
TTK TT2018		Leht: 1	Tähis: CAD02.00.04	Formaat: A3

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Lisa 14. Arendatud tooteprototüübi joogitopsi hoidja joonis



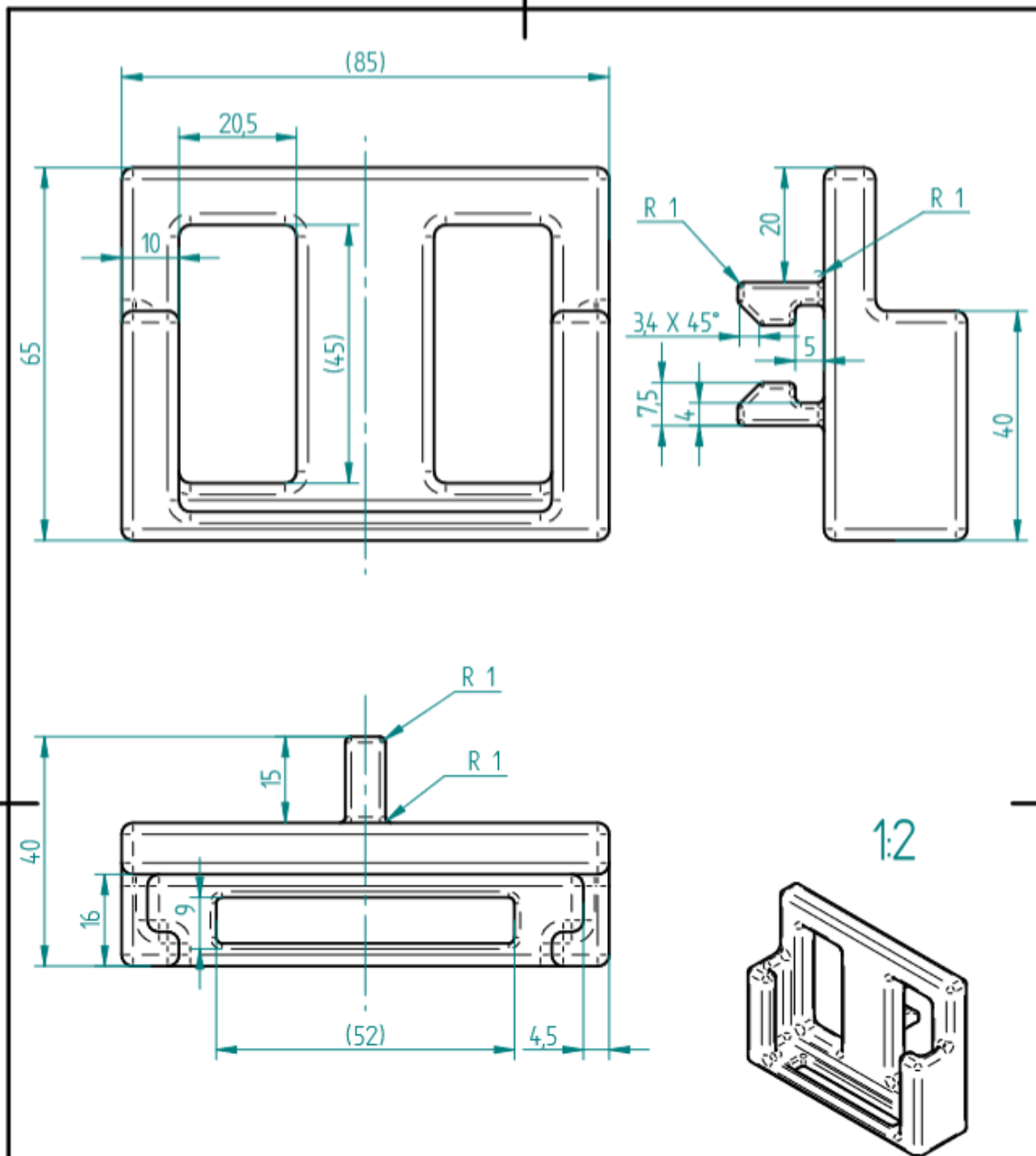
1:2

1. Sulgudes mõõtmelised teatmelised
2. Märkimata ümardusraadiused R1

	Materjal:	Poluaktiid	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Moot:
			ISO 2768 - f	0.071	1:1
Teostas	M.Gusarov	Nimetus:	Topsihoidja	Faili nimetus: CAD_DWG.dft	
Kontrollis	T.Pihl				
Kinnitas					
TTK T2018		Leht:	Tähis:	Formaat:	
		1	CAD03.00.01	A3	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

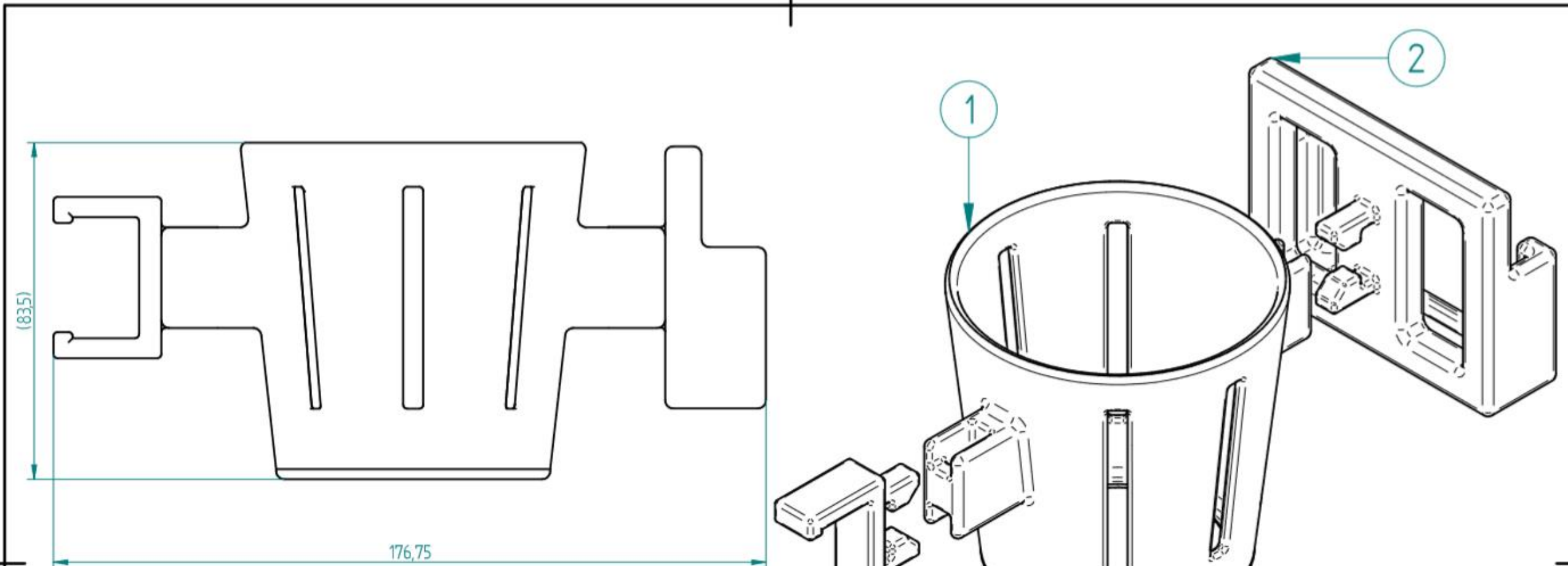
Lisa 15. Arendatud tooteprototüübi telefonihoidja joonis



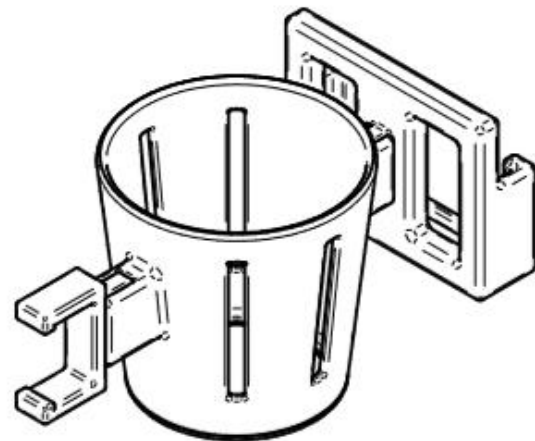
1. Sulgudes mõõtmelised teatmelised
2. Märkimata ümardusraadiused R2

	Materjal:	Polüaktiid	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
			ISO 2768 - f	0.0435	1:1
Teostas	M.Gusarov	Nimetus:	Telefoni hoidja	Faili nimetus: CAD_DWG.dft	
Kontrollis	T.Pihl				
Kinnitas					
TTK TT2018		Leht:	Tähis:	Formaat:	
		1	CAD03.00.02	A4	

Lisa 17. Arendatud tooteprototüübi koost



1:2



Sulgudes mõõtmed teatmelised

3	Ventilatsioonivõre kinnitus	CAD03.00.03	1	
2	Telefoni hoidja	CAD03.00.02	1	
1	Topsihoidja	CAD03.00.01	1	
Osa	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkused
	Materjal: Polüaktiid	Märkimata piirhälbed: ISO 2768 - f	Mass: 0,127	Mõõt: 1:1
Teostas	M.Gusarov	Nimetus:	Faili nimetus: CAD_DWG.dft	
Kontrollis	T.Pihl	Topsi- ja telefonihoidja koost		
Kinnitus				
TTK T2018		Leht: 1	Tähis: CAD03.00.04	Formaat: A3

SOLID EDGE ACADEMY COPY