



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

MAGSAFE 2 60 W ADAPTERI KAITSEKORPUSE OPTIMAALNE KONSTRUKTSIOON

OPTIMAL CONSTRUCTION OF A PROTECTIVE CASE FOR MAGSAFE 2 60 W

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Oskar Orglaan

Üliõpilaskood 155492

Juhendaja: Priit Põdra, vanemlektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (*autori nimi*) (sünnikuupäev:)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

_____ ,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on

_____ ,

(*juhendaja nimi*)

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. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Oskar Orglaan, 155492

Õppekava, peaariala: MAHB02/13 - Mehhatroonika

Juhendaja(d): Vanemlektor, Priit Põdra, 620 3272

Konsultant:(nimi, amet)

..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema: Magsafe 2 60W adapteri kaitsekorpuse optimaalne konstruktsioon

(inglise keeles): Optimal construction of a protective case for the Magsafe 2 60W adapter

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Parem tugevus tootele võimalike löökide vastu
2. Parem kaablite kaitse ning adapteri eluea pikendamine
3. Lihtsam kaablite kerimine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Sarnaste lahenduste väljatoomine koos erinevustega	28.10.2019
2.	3D mudel ning tugevusarvutused	27.11.2019
3.	Lõputöö kirjutamine viimaste muudatustega	09.12.2019

Töö keel: eesti keel.....**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "03" jaanuar 2020 a

Üliõpilane: Oskar Orglaan „16“ oktoober 2019 a
/allkiri/

Juhendaja: Priit Põdra „16“ oktoober 2019 a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....201....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....201....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu.....	8
SISSEJUHATUS	9
1. MAGSAFE 2 LAADIMISADAPTER.....	11
2. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED.....	13
2.1 Apple lahendus.....	13
2.2 PowerPlay.....	16
2.3 FinTie.....	17
2.4 Quirky PowerCurl.....	18
2.5 MAGDOG	19
2.6 Fuse Reel Side Winder.....	20
2.7 Populaarsemate turul olevate toodete võrdlus	22
3. FUSE REEL SIDE WINDERI ANALÜÜS.....	25
3.1 Võimalikud edasiarendused ning muud puudused.....	25
3.2 Valitud murekohad edasiarenduseks.....	29
3.3 Tingimused uuel konstruktsioonil	29
4. KONSTRUKTSIOON NING CAD MUDEL.....	31
4.1 Komponentid 3D mudelil	31
4.1.1 Suur väliskest	32
4.1.2 Sisemine kest.....	34
4.1.3 Adapteri 3D mudel.....	36
4.2 Kogu koost.....	37
5. TUGEVSARVUTUSED	39
5.1 Tugevsarvutuste kokkupõrke pinnad.....	40
5.2 Tugevsarvutuste minimaalsed ja maksimaalsed väärtused	43
5.3 Riskikohad konstruktsioonil	44
5.4 Tulemuste analüüs.....	45
6. MATERJAL.....	47
6.1 Töötingimused.....	47
6.2 Võimalikud materjaligrupid	48
6.3 Polümeeride valik	50
6.4 Tootmine	51
6.5 Materjali valik komponendi alusel.....	52

6.6	Kaal ning materjalikulu hind	54
7.	TULEMUSED	55
8.	TINGIMUSED ENNE MASSTOOTMIST	58
	KOKKUVÕTE	60
	SUMMARY	63
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	66
	LISAD	69
Lisa 1.1	Aluse joonis	69
Lisa 1.2	Alumise väliskesta joonis	69
Lisa 1.3	Ülemise väliskesta joonis	69
Lisa 1.4.	Alumise sisekesta joonis	69
Lisa 1.5	Ülemise sisekesta joonis	69
Lisa 1.6	Magneti joonis	69
Lisa 1.7	Võlli joonis	69
Lisa 1.8	Adapteri joonis	70
Lisa 2.1	Koostu joonis	71
Lisa 3.1	Simulatsiooni tulemused: piki y-telge ülevalt alla, kontakt tekib alumise küljega	72
Lisa 3.2	Simulatsiooni tulemused: piki y-telge alt ülesse, kontakt tekib ülemise küljega	73
Lisa 3.3	Simulatsiooni tulemused: piki x-telge paremalt vasakule, kontakt tekib sulgemiskonstruktsiooni poolse küljega	75
Lisa 3.4	Simulatsiooni tulemused: piki x-telge vasakult paremale, kontakt tekib sulgemiskonstruktsiooni poolse küljega	76
Lisa 3.5	Simulatsiooni tulemused: piki z-telge tagant ette, kontakt tekib küljega, mis asub pikenduskaablist kõige kaugemal	78
Lisa 3.6	Simulatsiooni tulemused: piki z-telge eest taha, kontakt tekib küljega, mis asub pikenduskaablil kõige lähemal.....	79
Lisa 3.7	Simulatsiooni tulemused: piki y-telge ülevalt alla, lahendus tõstetud 45 kraadi, kontakt tekib võlli poolel alumise nurgaga	81
Lisa 3.8	Simulatsiooni tulemused: piki y-telge alt ülesse, lahendus tõstetud 45 kraadi, kontakt tekib sulgemiskonstruktsiooni ülemise nurgaga	82

EESSÕNA

Käesolev lõputöö sõnastati autori algatusel, sest mitu aastat tagasi loodi firma Fuse Reel Ameerika Ühendriikides ning nad soovisid kapitali koguda, et enda esimene toode välja anda. Nende toote eesmärk oli muuta Apple sülearvutitel adapteri kaasaskandmine mugavaks, kuid tehtud töö tundus autorile poolik. Töö on koostatud Tallinnas, Eestis.

Suureks abiks on tööga olnud vanemlektor Priit Põdra, kellel on suur kogemust mehhaanika valdkonnas erinevate toodetega. Tema loengutes on selgeks saanud, et päris palju uutest lahendustest ning parandustest toetub eelnevatele kogemustele, kuidas mingi toode on varem loodud. Hea insener näitab oma võimekust sellega, kui oskab erinevaid lahendusi uue nurga alt kasutada.

Lõputöö kirjutamisel on tugevateks toetajateks olnud Timo Aleste ning Aleksandra Kovaļova. Nemad aitasid rõõmu üles leida töö kirjutamisest ning tegid protsessi lihtsamaks.

Lõputöö eesmärk on Apple MagSafe 2 60 W adapteri kaitsekorpuse optimaalse konstruktsiooni loomine, mis vastaks määratud tingimustele. Palju lahendusi on olemas, kuid ükski ei ole nii populaarseks saanud, et Apple ise hakkaks ametlikult edasi müüma. Peamiseks puuduseks seni on olnud mõned olulised funktsionaalsused ning olemasoleva toote lahendus, mis oleks kooskõlas muude Apple toodetega.

Võtmesonad: Magsafe; adapter; kaitsekorpus; polükarbonaat; bakalaureusetöö

Lühendite ja tähiste loetelu

FEM	- Lõplike elementide meetod	(finite element method)
USA	- Ameerika Ühendriigid	(United States of America)
EVOH	- Etüleenvinüülalkohol	(ethylene vinyl alcohol)
PC	- Polükarbonaat	(polycarbonate)
PCTA	- Durastar polümeer	(Durastar polymer)
PEEK	- Polüeteereeterketoon	(polyetheretherketone)
PPC	- Polüesterkarbonaat	(polyestercarbonate)
PSU	- Polüsulfoon	(polysulfone)
CAD	- Raaljprojekteerimine	(computer aided design)
IIR	- butüülkumm	(butyl rubber)
EVA	- Etüleenvinüülatsetaat	(ethylene vinyl acetate)
NR	- Naturaalne kumm	(natural rubber)
Neoprene, CR	- Polükloropreen	(polychloroprene)
IIR	- Polüisopreenkumm	(polyisoprene rubber)
eIPU	- Polüüretaan	(polyurethane)
SI, Q	- Silikoonelastomeerid	(silicone elastomers)
SBR	- Stüreenbutadieenkumm	(styrene butadiene rubber)

Koertsitiivjõud H_c - Selle jõuga mõõdetakse, kui pidev magnet on. Mida suurem koertsitiivjõud, seda tugevama magnetiga on tegu. See on jõud mis mõjub magnetväljale vastupidises suunas, et magnetväljas mõjuvad jõud oleksid tasakaalus ehk neto magnetisatsioon oleks null. [24]

SISSEJUHATUS

1.aprillil 1976 asutati firma Apple Computer Company, mis on aastaks 2020 üks kõige tuntumaid ja suurima käivega firmasid maailmas. Edulugu algas California osariigis Ameerika Ühendriikides, kui Steve Jobs, Steve Wozniak ja Ronald Wayne hakkasid partneriteks. Nad andsid välja enda esimese toote Apple I, mis oli nende firma esimene arvuti ja ka selle ajastu jaoks üks esimesi.

Apple edulugu arenes tänu visioonile. Autor Simon Sinek kirjeldab oma raamatus „Start With Why“, et enamus firmad loovad toote, siis selgitavad välja, kuidas see parem on ning lõpuks ka siis toote põhjuse, miks see vajalik on. Seega enamus läheneb uuele tootele sellises järjekorras: mida, kuidas, miks. Apple edukus sõltub aga vastupidisest lähenemist autori seisukohast: esmalt miks, siis kuidas ja lõpuks mida [1].

Steve Jobsi elu ajal läheneti igasse probleemi sarnase lähenemisega MIKS-KUIDAS-MIDA, mis tegi Apple enamus tooted teistsuguseks ja maailmas on tekkinud suur kultus nende toodete järgi. Sellest hoolimata iga toode ei ole innovatiivsust näidanud. Esimene iPhone muutis palju, sest eelmine telefon oli nuppudega ning iPhone telefonil polnud neid enam vaja. Esimene iPhone selgelt toetus Apple missioonile: pakkuda parimat kasutajasõbralikkust maailmas. Viimase iPhone mudeli 11 ja iPhone XS erinevus aga enam nii suur ei ole, seega edasiarendus sealt pole enam toimunud.

Samasugune lahkeli on tekkinud MacBooki laadimisadapteriga. Kui esimesed MacBookid töid midagi suursugust uuele turule, siis laadimisadapter Magsafe 2 on jäänud täpselt samasuguseks. Kindlasti igat toodet ei saa nii kergesti arendada, kuid tegemist on üsna olulise murekohaga Apple sülearvutite tootevalikus. Kui MacBook on projekteeritud, et see oleks kaunis, lihtne kasutada, kasutajasõbralik, siis kõik sellega kaasnev võiks vastata samadele väärtustele. See töö ei arutle laadimisadapteri muutmises, kuid selle kasutusviisil.

Nimelt on laadimisadapterit üsna keeruline kaasas kanda, võrreldes sülearvuti endaga, mis soovib paberist õhem olla. Kui sülearvuti on paberist õhem, siis see on väga suur samm tehnoloogias, kuid laadimisadapteri kandmisviis ei ole kaugeltki nii stiilne kui sülearvuti kasutamine. Kuidagi peab neid kaableid alati väänama või mõne muu enda lahenduse leidma.

Töö eesmärk on teha MagSafe 2 laadimisadapteri kaasaskandmine võimalikult lihtsaks ja mugavaks. Sarnaseid lahendusi on juba tehtud, kuid puudujäägid on osadel nii

mitmeidki. Lõputöö autor ise kannab ka neid samu kaableid pidevalt kaasas ning sellel peab olema parem lahendus.

Autor on kasutanud 3D modelleerimistarkvara SolidWorks, et projekteerida kaitsekorpuse, mis kaitseks kaableid paremini ning võimaldaks kaableid lihtsamalt kerida. Töös tehakse tugevusarvutused, et tagada kaitsekorpuse vastupidavus löökidele ühe meetri kõrgusel.

Analoogseid variante on tehtud, neid töös mainitakse, seega on oluline, et kindlad funktsionaalsused on uuel lahendusel olemas. Projekteeritud lahendust lõpuni valmis ei toodeta, seepärast ongi simulatsioonid, FEM analüüsid tehtud. See näitab, kuidas tootele mõjuksid pinged kukkumisel, mis on kõige suurem löögioht. Lõpuks valitakse materjalid CES Edupack 2013 programmi abil.

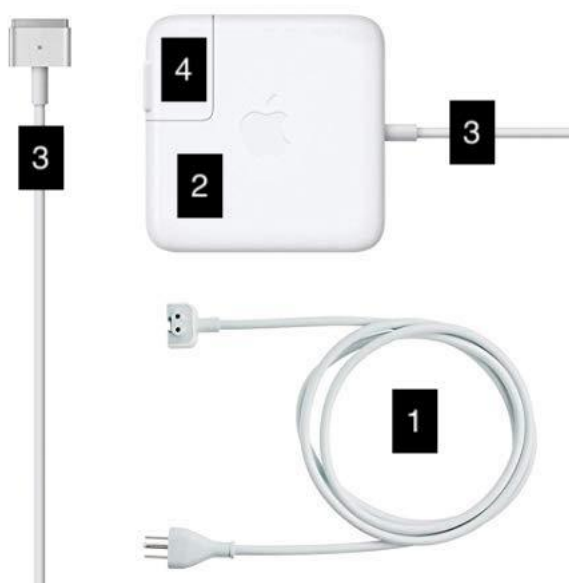
Esimeses peatükis kirjeldatakse adapterit ning selle parameetreid, millele projekteeritakse kaitsekorpuse. Teises peatükis käiakse üle olemasolevad lahendused ning valitakse välja nendest kõige parem. Kolmandas peatükis tuuakse välja puudused sellest lahendusest ning eelmise peatüki käigus välja tulnud puudustest ning seatakse tingimused projekteeritud lahendusele.

Neljandas peatükis kirjeldatakse 3D mudelit: mitmest komponendist see koosneb ning kuidas koost välja näeb. Viiendas peatükis on antud tugevusarvutuste analüüs. Kuuendas peatükis valitakse igale komponendile materjal eelmiste peatükkide põhjal.

Seitsmendas peatükis on kolmanda peatüki lõpus olevad eesmärgid ette võetud ning antud ülevaade toote uue lahenduse õnnestumisest. Kaheksandas peatükis kirjeldatakse veel vajalikke samme, enne kui saab selle toote masstootmisesse saata. Lisades on välja toodud iga komponendi joonised koos koostuga ning simulatsioonide tulemused igalt teljelt.

1. MAGSAFE 2 LAADIMISADAPTER

MagSafe 2 60 W laadimisadapter käib kaasas MacBook Pro 13.-tollise Retina ekraaniga mudelitel, mis tulid välja 2012 sügisel ning 2015 vahemikus. Adapter ise on lihtsalt loodud, mis koosneb neljast suuremast komponendist, nagu joonis 1.1. näitab: pikenduskaabel, laadimisadapter, laadimiskaabel, millega sülearvuti ühendada ning vahetusotsik.



Joonis 1.1 MagSafe 2 laadimisadaptri komponendid:

1 – pikenduskaabel, 2 – laadimisadapter, 3 – laadimiskaabel, millega ühendada MacBook Pro sülearvuti, 4 – vahetusotsik

Vahetusotsik on kahel erineval eesmärgil: väiksem adapter ning rahvusvaheliskus. Esimesel juhul, kui pikenduskaablit vaja pole, siis saab kasutada lihtsat otsikut. Ameerika Ühendriikides ehk Apple koduturul on teistsugused elektrivõrgu-pistikud, seega seal voolu saamiseks kasutatavad klemmid saab adapterisse ära peita. Eestis aga on eraldi lahendus, mis näeb veidi kobakam välja, aga oluliselt ei häiri kasutust. Peamine idee on selles, et kui pikenduskaablit vaja ei ole, siis on üsna minimaalne adapteri suurus.

Enamasti on ikkagi vaja kahe meetrist pikenduskaablit, kuid see sõltub töökeskkonnast. Kui kontoris on pistikupesa kohe arvuti kõrval, siis vahet pole. Näiteks Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogus õppimislauadel on pistikupesad väga lähedal. Siis tekib järgmine probleem, kus pool lauda on adapteriga kaetud, kui kaablid pole kenasti kokku pandud. Erinevalt raamatukogust, igas õpperuumides pole alati võimalik nii lähedale saada pistikupesale, siis on pikenduskaabel kasulik. Samuti lennujaamades on

pistikupesad üsna kaugemale pandud või isegi kui on lähedal, siis keegi teine on istekoha ära võtnud.

Teisel juhul, kui reis on planeeritud näiteks Ameerika Ühendriikidesse või Suurbritannia ja Põhja-Iiri Ühendkuningriiki, siis seal on elektrivõrgu-pistikupesad teistsugused. Selle lahenduseks võib muretseda eraldi üldine pistikupesaotsik, mis panna siis adapteri ja Ameerikas tihti lugu kasutusel oleva tüüp A pesa vahele [2] või siis muretseda just selle piirkonna vahetatav otsik, millega saa väikse jupi adapteri küljes ära vahetada.

Kuna enamasti on ikkagi pikenduskaabel ka kasutuses, siis seda ka eeldatakse töö eesmärki täites. Eesmärk on arendada edasi parem lahendus, kuidas seda adapterit lihtsamalt, esinduslikumalt ja turvalisemalt kaasas kanda.

Apple suur rõhk on mugavusel, seega adapteri välja võtmine kotist peaks olema mugav. Apple on tuntud ka veel hinna poolest, sest suur osa seadmetest tunduvad keskmisest kallimad [3]. Uue adapteri hind otse Apple käest maksab USA turul 79.00USD [4] ning pikenduskaabel samuti 19.00USD [5] ning seda enne makse. Igal kaablil on oht olemas, et mingi ühendus läheb katki ja kaotab ühenduse ning peab ostma uue. Seega 98.00USD peaks maksma selle asendamise eest. Just sellepärast on kaitsekorpusel turvalisus oluline faktor, sest kui see ainult mugavust pakub, kuid eluiga adapterile ei pikenda, siis on toote väärtus kaheldav.

Oluliseks faktoriks peale kaablite pikkuse on adapteri enda parameetrid. Need on antud lisa 1.8 joonisel ning on nihikuga mõõdetud Tallinna Tehnikaülikoolis. Nii laadimiskaabli kui ka pikenduskaabli pikkus d on mõlemal võrdne $d = 2$ m.

2. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED

Siin on ülevaade populaarsematest olemasolevatest lahendustest, kuidas saab seda adapterit kaasas kanda. Kokku on valitud kuus tükki, mis esmapilgul tunduvad kasutajasõbralikud. Peatüki lõpus on siis välja toodud ka iga võimaluse eelised ning puudused, mille alusel jätkatakse parema viisi arendamist. Kaheks kõige tähtsamaks faktoriks on mugavus ja turvalisus.

2.1 Apple lahendus

Magsafe 2 60 W adapter on Apple toode, kuid see ei lähe kooskõlla Apple suurema missiooniga, mis on olla kasutajasõbralik ning tekitada väljakutset traditsioonilistele lahendustele. Pea kõik muud seadmed on olnud innovaatilised, välja arvatud kaablitega majandamine. Viimaste põlvkondade telefonid, kõrvaklapid, kellad ja muud seadmed on varustatud juhtmevaba laadimisvõimalustega, kuid sülearvutiteni pole veel jõudnud. Isegi kui tehnoloogilist võimalust pole veel lõpuni välja arendatud, siis pole kaablitega pea üldse tegeletud.



Joonis 2.1 iBook G3 sülearvuti laadimisadapter paremal ning MagSafe 1 vasakul [6]

Enne Macbook Pro ilmumist oli turul veel iBook G3, millel adapter erines Magsafe lahendusest, mis on joonisel 2.1. MagSafe põhimõte on selles, et see kaabliots, mis arvutisse läheb, on magnetiga kaetud, seega kui keegi peaks kaabli otsa koperdama, siis lendab kaabel sülearvuti küljest ära. Eesmärk on maandada nii kaabli, arvuti kahjustust kui ka inimese kukkumise tagajärgi.

iBook G3 aastast 1999 on Macbooki eelkäija ning selle laadija oli innovaatiline, sest see oli teistsugune ning tegi kasutuse lihtsamaks. Nendel adapteritel oli disainitud kaablite keeramine ümber spetsiaalsesse süvendisse. Järgmine adapter MagSafe 1 selle kaotas ära ning see lahendus õnnestunuks ei osutunud.

Nimelt oli järgmistel adapteritel väiksed kõrvad, nagu näha joonisel 2.2, mille ümber sai kaablid rullida. See ei olnud kahjuks kasutajasõbralik, sest inimesed tegid seda valesti ning painutasid kaableid kõvasti. Kuna just tänu sellele ja ka muudele põhjustele hakkasid kaablid rohkem purunema, siis neid kõrvu enam uutel adapteritel pole. Idee poolest oleks pidanud kerima kaableid nagu joonisel 2.3, kuid see oli massidele liiga keeruline.



Joonis 2.2 Koos kõrvadega MagSafe 2 laadija kaabli vigastusega [7]



Joonis 2.3 Õigesti keritud MagSafe adapter [8]

Kuna neid kõrvu uuel lahendusel pole, siis ongi kasutaja omapäi jäetud. See, kes midagi teistsugust välja mõtleb, sellel on eelis.

2.2 PowerPlay



Joonis 2.4 PowerPlay toode [9]

Firma Above the Fray usub minimalismi ning pakub lisaks rahakottidele ka kaablite majandamiseks tooteid nagu joonisel 2.4 [10]. Konstruktsioon on üsna lihtne, kuidas MagSafe 2 adapterit kokku rullida. Ümber tuleb panna veniv riie, et püsiks hästi paigas. Kummi küljes on nahast ja metallist rull, mille ümber saab siis kaabli rullida.

Eeliseks on kindlasti konstruktsiooni lihtsus nii tootmise kui kasutuse poole pealt. Kotist välja võttes on kohe adapter valmis kasutuseks, ei pea kaableid harutama. Kaablid saab samamoodi lahti rullida, ei tule ühe puntrana koha lahti, mis on hea. Tootja on mõelnud ka isikustamise peale ehk venivat riie on erineva disainiga ning nahka on samuti erinevates toonides.

Samas puuduseks on pikenduskaabli kasutamine, mida sellega on keeruline kasutada. Samuti turvalisuse poole pealt otseselt juurde ei anna. Pigem jääb sama probleem alles, et kasutaja võib liige tugevalt ümber rullida, kuid idee poolest kompaktne lahendus. Hinnaks on määratud 35.00USD tootja poolt.

2.3 FinTie



Joonis 2.5 FinTie toode [11]

Firma Fintie on tootnud veidi lihtsama lahenduse joonisel 2.5. Sünteetilisest nahast on välja lõigatud rist, millel üks osa kinnitub adapteri külge. Seejärel tuleb kaablid kerida ümber adapteri ja peale seda risti teised otsad ümber adapteri kinni panna. Lahtised otsad käivad kinni magnetiga. Hinnaks on määratud 3.98USD, mis on üsna odav, võrreldes teiste variantidega.

Eeliseks tootja poole pealt on kindlasti lihtsus, sest on vaja lihtsalt spetsiaalset nahka ning magnetid sinna külge panna. Arvestades materjali paksust, siis väga tugevaid magneteid vaja ole, sest niisama kotis või kaasas kandes lahti ei tohiks tulla, kui just kaablit kangutama ei hakka. Kaitse poolest on hea välise korpuse kate, siis adapter ei saa nii kiiresti kosmeetilist kahju.

Puuduseks on kindlasti pikenduskaabli kasutus. Tootja lehel jääb mulje, et pikenduskaablit ei saaks rakendada või siis magnetid tuleks väga kergelt lahti. Veel üks puudus on kaablite painutamine, mida on pildilt näha, et kaabli ots adapteri küljes on suure painde all. Ühest korrast ei pruugi midagi juhtuda, aga järjepideva kasutusega kindlasti. Puuduseks võib veel arvata jahutusvõimalusega, sest kuigi väline kest on kaitstud, ei ole see õhuliikuvuse suhtes optimaalne.

2.4 Quirky PowerCurl



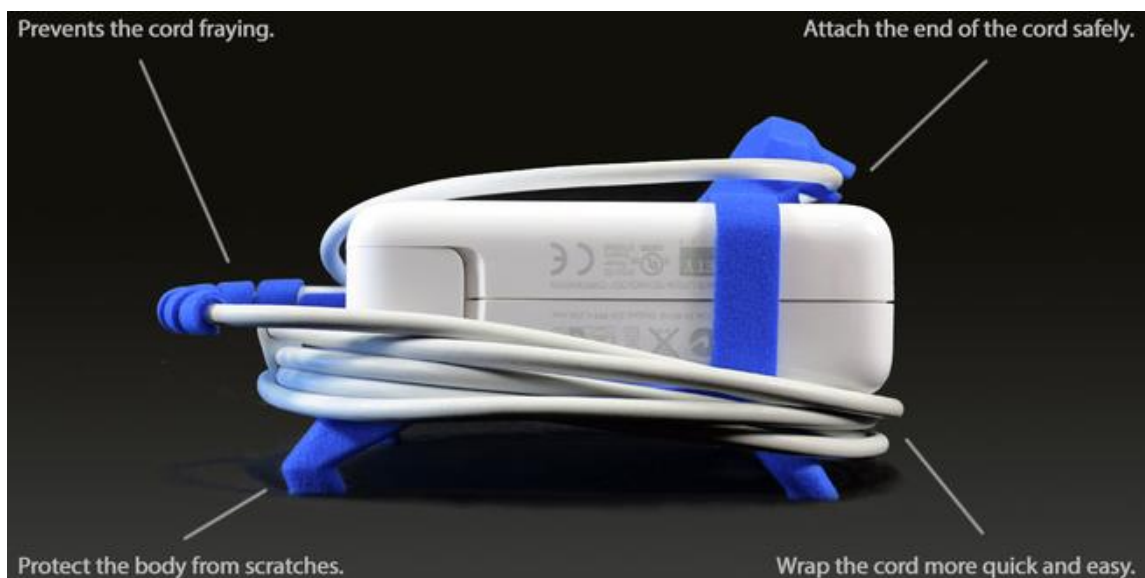
Joonis 2.6 Quirky PowerCurl toode [12]

Firma Quirky on enda lahenduse välja pakkunud üleni kummist joonisel 2.6. Adapteri peab siis sisse asetama ning saab eraldi kerida nii pikenduskaabli ümber kui ka laadimiskaabli. Kaasa tulevad veel väiksed klambrid, mis aitavad eraldada kaableid üksteisest. Hinnaks on määratud 19.95USD.

Eeliseks on kaablite erinev kokku rullimine. Nii saab ise valida, kas adapteri paneb laua peale või paneb põrandale, eeldusel, et pistikupesa on piisaval lähedal. Mõne teise tootega jääb variant jätta adapter õhku rippuma piisava pikkusega või siis kerida rohkem lahti, mille tagajärjel jääb ülearune kaabel lahtiselt. Teine eelis on kindlasti materjal, mis on elastsem löökidele ning ei libise ka töölaua.

Puuduseks on see, et kaablid peab ise käsitsi rullima ümber, mis tähendab, et peab ise jälgima, et kaablid liiga suure pingega alla ei satuks. Teine puudus on välimus, sest kuigi kaablid on hästi hoitud, siis MacBooki kõrval selline toode näeb välja rohkem mänguasjana.

2.5 MAGDOG



Joonis 2.7 MAGDOG toode [13]

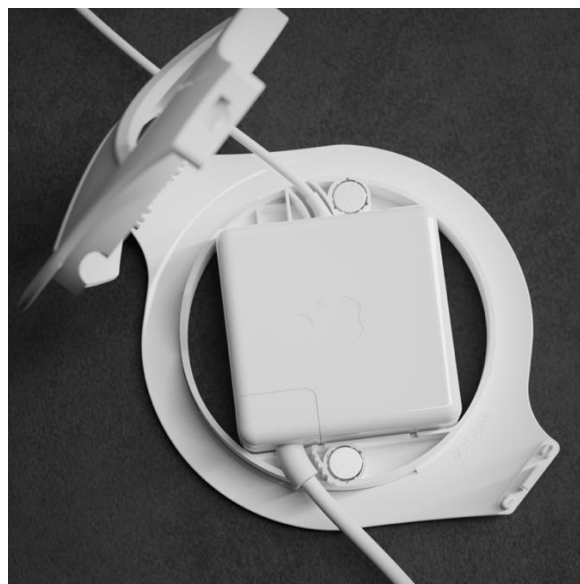
Urbano Rodriguez on välja arendanud toote MAGDOG joonisel 2.7, mis on üsna nutikas lahendus. Toode on kummist, mis on löökidele elastsem, ning üsna minimaalne materjalikulu tundub lõpptootel. Kaabli ots on toetatud eraldi kummiga, mis kindlasti pikendab eluiga. Põhjas on nii öelda koera jalad, mis kaitsevad adapter põhja kriimustuste eest ning kaabli teine ots kinnitub koera suhu. Kaabli ise saab kerida koera jalgade ümber. Hinnaks on määratud 33.90USD.

Eelisteks on kindlasti kaabli otsa tugevdamine ning põhja kaitse kosmeetiliste vigade eest. Kõige atraktiivsem osa on koera disain ja mõte selle taga. Paljud koerad on nii peredes kui ka asutustes just kaitseks võetud, näiteks militaariusused ning muud korrakaitse organisatsioonid. Lisaks veel teame koeri kui loomi, kellele meeldib mingi mänguasi suus ringi käia, siis just seda ongi ära kasutatud. Kaabel käib suhu nagu koerale ikka ja just kaitsebki adaptrit.

Puuduseks on pikenduskaabli kasutamine, mis kontseptsiooni rikub. Pikenduskaabli kaasas kandmine jääks ikka tülikaks, hoolimata lahenduse nutikusest. Teine puudus võib olla kaasas kandmine ka niisama, sest kui adapter ise on 28.6 mm paks, siis koera pea ja jalad lisavad kõrgusele palju juurde. Sülearvuti idee on see, et oleks minimaalne kaasaskantav arvuti: mida õhem, seda parem, jättes funktsioonid ohverdamata. Sülearvuti saab panna peenikesse kotti, kuid siis laadija kaasas kandmine näeb lahe välja, kuid jääb kobakaks. On vaja suuremat kotti või muud lahendust. Viimane puudus on veel välja nägemine. Kuigi toode on kavalalt tehtud, siis ärikohtumisele iga inimene

seda kaasa ei saaks võtta ilma kulme kergitamata: päris mänguasi pole, aga professionaalsena ei saa kirjeldada ka.

2.6 Fuse Reel Side Winder



Joonis 2.8 Fuse Reel Side Winder toode [14]

Firma Fuse Reel on välja 3D-printeriga välja töötanud kompaktsel lahendusel joonisel 2.8. Adapter tuleb asetada plastikust korpuse sisse, mille kaaned kinnituvad nii klõpsu kui magnetitega. Peale seda peab käsitsi keerama käepidemest kuni kaablid on ennast rulli tõmmanud. Kasutades peab mõlemat kaablit samal ajal tõmbama. Samuti see toode on üks universaalsemaid, millele saab ka suuremaid adaptereid sisse panna. Hinnaks on määratud 26.99USD.

Eelisteks on kindlasti pikenduskaabli kasutamine ning kokku rullimine ehk kaablit ei pea ise rullima, see on konstruktsiooniga lahendatud. See on hästi väike, mis mahub hästi sülearvuti kotti, sest toote kõrgus on üsna minimaalseks jäetud. Kinnitus magnetitega on üsna stabiilne ning kaablite otsad on liigse paineta ära kaitstud. Üldiselt on sellel tootel palju rohkem eeliseid kui puuduseid võrreldes konkurentidega ning arvestades töö eesmärki.

Esimeseks puuduseks on materjali valik, sest see on plastikust, mis tundub üsna habras ning libiseb laua pealt. Tootja ei ole garanteerinud ühe meetri kõrguselt löökide vastu. Kuna toode libiseb laua pealt, siis on suur tõenäosus, et maha kukkudes võib katki minna, mida on ka kasutajad väitnud [15]. Materjal ei käi kokku ka Apple missiooniga,

mis loob kvaliteetseid tooteid. Habras toode ei lähe kokku adapteri tootjaga, mis rikub kuvandit [1].

Teiseks puuduseks on üleliigne kaabel lahti kerides, sest ideaalse pikkuse korral pistikupesast sülearvutist jääb toode õhku rippuma või peab kaableid rohkem lahti kerima, mis tähendab, et kas laua peal või põrandal on lahtiseid kaableid liiga palju. Eriti kui toode on põrandal, siis tundub, et tooliga vastu minnes võib see puruneda. See jällegi oleneb töökeskkonnast.

Kolmas puudus on kaablite lahti kerimine, mida saab teha ainult ühte moodi. Lahti tehes peab neid mõlemad poolt tõmbama, sest keskelt lahti keerates hakkavad kaablid takerduma. Sellele lisaks on kasutajad öelnud, et toode on tulnud kergesti lahti, mis tähendab, et sulgemiskonstruktsiooni saab paremaks arendada.

Neljandaks puuduseks on kasutajad rääkinud liigsest kaablite painutamisest [16]. Siin peab kindlasti arvesse võtma, kui tugevalt keegi on kerinud, kuid samas eriti suuremate adapterite puhul on tõesti paine märgatav, mis võiks olla väiksem. Kaitse peale veel mõeldes on põhi lahtine erinevalt pealmisest kattest, mis lisab õhuvoolu, kuid jätab kosmeetiliste vigade riski.

2.7 Populaarsemate turul olevate toodete võrdlus

Tabel 2.1 Ülevaade toodete omadustest ning hinnangud

Toote nimi	1. Pikenduskaabel	2. Kaablite rullimine	3. Kaitstud kaabliotsad	4. Adapteri kest kaitstud	5. Löögisitkus	6. Mugav kasutada	7. Hinna ja toote väärtuse	Kokku
Apple algne lahendus	1	0	0	0	0	0	3*	4/21
PowerPlay	0	2	0	2	2	1	0	6/21
Fintie	0	1	0	2	3*	1	3	10/21
Quirky Powercurl	2	2	0	3	2	1	2	12/21
MAGDOG	0	2	1	2	2	2	1	10/21
Fuse Reel Side Winder	3	3	2	1	1	3	3	16/21

Turul on päris palju erinevaid valikuid, erinedes materjalist kuni kasutusviisideni. Tabelis 2.1 on antud lühike ülevaade, kui hästi valitud omadused tootel kajastuvad võrdluses üksteisega hinnangul nullist kolmeni. Kolm on kõige parem tulemus ning null on kõige kehvem ehk isegi puudulik. Tähtsaim omadus on kindlasti pikenduskaabli kasutamine, kaabliotste kaitse, sest see on otseselt seotud adapteri eluea pikendamisega, ning mugavus kasutusel.

Esimese punkti all on oluline, kas pikenduskaablit saab kasutada ning kui hea see on. Fuse Reel Side Winder toodet kasutades peab kaablid kokku keerama, ei pea ise füüsiliselt rullima kaableid, mis teeb sellest eelise. Quirky PowerCurl lahendusel saab samas pikenduskaabli ning laadimiskaabli eraldi rullida. Apple lahendusel ka võimalus ning teistel pole.

Teise punkti all on tähtis, kuidas kaablid kokku käivad. Fuse Reeli tootel ei pea ise ümber rullima, teistel peab. Fintie on kehvem teistest, seda juhtmed peab kerima ümber kitsama külje ilma materjalita, mis takistaks libisevust, seega peab ise jälgima, et kaablid püsivad külje peal, mis on liigne tegevus.

Kolmanda punkti all on määrav, et kaabliotsad poleks liigeses paindes. Fuse Reeli toode ainukesena takistab painet ning MAGDOG vähemalt toestab laadimiskaablit. Teistel lahendustel sõltub kasutajast: kui kasutaja on rumal, siis painutab kaablid katki; kui on targem, siis rullib painutamata kaablid kokku. Painumata rullimine tähendab, et kaasas kandes, näiteks seljakotis või sülearvuti kotis, võib paine ikkagi avalduda kaabli otsale, kui mõni muu eseme pannakse adapteri peale või surub kõrvalt ehk tekib liigne jõud kõige nõrgemasse kohta.

Neljanda punkti all on otsustav, kui hästi on adapteri väliskest kaitstud kriimustuste eest. Quirky PowerCurl lahendus on parim, sest see on üleni kummist ning ainuke võimalus kosmeetiliseks veaks, on adapteri kukkumisel teravale nurgale. Fuse Reel on teistest kehvem, sest põhjas on adapter täiesti kaitsmata. Mõni millimeeter on õhuruumi, kuid seda võiks olla rohkem.

Viienda punkti all on põhjanev, kui hästi peab toode löökidele vastu. Parim tulemus on Fintie tootel, sest toode ise ei tohiks puruneda: sünteetiline nahk ning magnetid. Adapterit kindlasti nii hästi ei kaitse, kui MAGDOG, PowerPlay ja Quirky. Nõrgim on Fuse Reel Side Winder, sest konstruktsioon sellise materjaliga on üsna habras ning võib puruneda, mida on ka toote kasutajad kirjutanud [15], [17].

Kuuenda punkti all on peamine, et toodet oleks üldiselt mugav kasutada: kokku pakkides, kaasas kandes, lahti pakkides ja kasutades. Olulisem teistest on kaasas kandmine, sest toode võiks olla võimalikult väike, madal teisi omadusi ohverdamata. Fuse Reel Side Winder teeb seda kõige paremini, sest seda peab ainult keerama ning lahti tõmbama. Teisi peab kerima ning kotis jäävad need kobakamaks kui võiksid olla. Fintie võiks lugeda ühe võrra paremaks, sest ideaalses olukorras jääb kõrgus üsna madalaks ning oluliselt adapteri ei suurenda, samas rullimise suhtes on teistel eelis.

Seitsmes punkt võtab kokku, kas toote pakutav väärtus on enda hinda väärt. Apple lahendus saab rohkem punkte, sest tasuta lahendusel hinda just kui poleks. Hinnatud on siis lahendus, mitte adapteri enda hinda. Fintie on kallimaist tootest kümme korda odavam ning enda funktsionaalsus on pisike, kuid 3.98USD eest on üsna hea. Fuse Reel Side Winder on teistest ikkagi kõige parem, sest pakub piisavat väärtust enda hinna juures. Quirky võiks olla veidi odavam, võrreldes teistega, sama võib öelda MAGDOG kohta, kuid seal on kindlasti koera disain ja lahendus hinna tõstjaks, mida ei ole siin võrdluses arvestatud. Sellest hoolimata on kõigist teistest kõige huvitavalt disainitud. Powerplay ei saa siin tulemust, sest on kõige kallim toode, kuid ei paku otsitud väärtust. Kallimaks võib kindlasti teha käsitöö ning naha kasutus, kui see pole sünteetiline nahk.

Viimasena on punktid summeeritud tabelis 2.2 ning nende alusel tekkinud paremusjärjestus valitud omaduste suhtes, arvestades, et kollase taustaga omadused on suurema kaaluga. MAGDOG saab eelise, sest koera disain on teistsugune, on küll kallim, kuid pakub seejuures palju rohkem väärtust kui Fintie. Fintie võrdluses on hinna suhtes märgitud tulemuseks kolm tärniga, sest selle sai just hinna tõttu, kuid samas väärtus eriti suur ei ole.

Tabel 2.2 Paremusjärjestus eelnevast tabelist

Koht	Toote nimi	Tulemus
1.	Fuse Reel Side Winder	16/21
2.	Quirky Powercurl	12/21
3.	MAGDOG	10/21
4.	Fintie	10/21
5.	Powerplay	6/21
6.	Apple algne lahendus	4/21

Järgmises peatükis on lahti kirjeldatud, mida antud töös täpsemalt edasi arendama hakatakse Fuse Reel Side Winder on juba üsna hea lahendus, kuid sellel on mõningad puudujäägid. See võetakse töö aluseks koos eelnevate tingimuste ning kitsendustega.

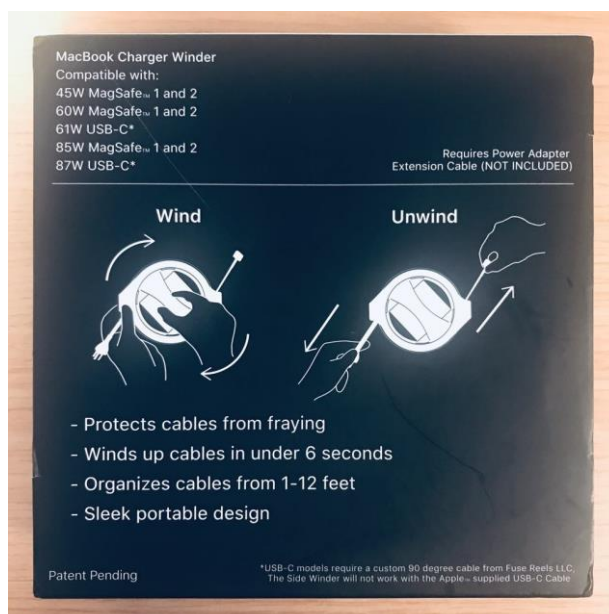
3. FUSE REEL SIDE WINDERI ANALÜÜS

3.1 Võimalikud edasiarendused ning muud puudused

Olemas olev toode on juba teistega võrreldes hea lahendus, kuid seda saab kindlasti edasi arendada. Põhilised puudujäägid esinevad just kasutuse käigus, mis esmapilgul ei tundu kõige olulisemad. Nimetatud on kõige suuremad tähelepanekud, mis garanteeriksid parema toote: esmalt, mis tulid võrdluses välja ning siis, mis konkreetse toote puhul on välja toodud ka teiste kasutajate poolt.

Esiteks on väga hea, et saab pikenduskaablit kasutada, kuid teised kasutajad on maininud, et kaablite kerimine on vahepeal ebamugav [18]. Selle jaoks saab valida näiteks parema materjali, millel pinnakaredus on väikem, või parandada liugelaagerduse konstruktsiooni. Isiklust kogemusest probleem nii suur ei ole, kui toodet õigesti kasutada.

Teiseks, edasiarendusena, võiks kerimisel veel olla vedruga süsteem, mis kerib siis kaablid ise kokku, nagu on näiteks tolmuimejatel. Siin peab arvestama, et toote enda suurus ei suureneks liiga palju. Ideaalis kõrgus ning raskus ei suurene. Tihti on õhukesed sülearvutid õhukestes kottides, mis tähendab, et adapterile liiga palju ruumi ka ei ole. Arvestades, et tootja ise lubab kaablite kokku kerimist kuue sekundiga, nagu näidatud joonisel 3.1, peab arutama, kas vedruga süsteem annaks piisava kaaluga lisaväärtust, kui see muutub üldse piisavalt oluliseks faktoriks.



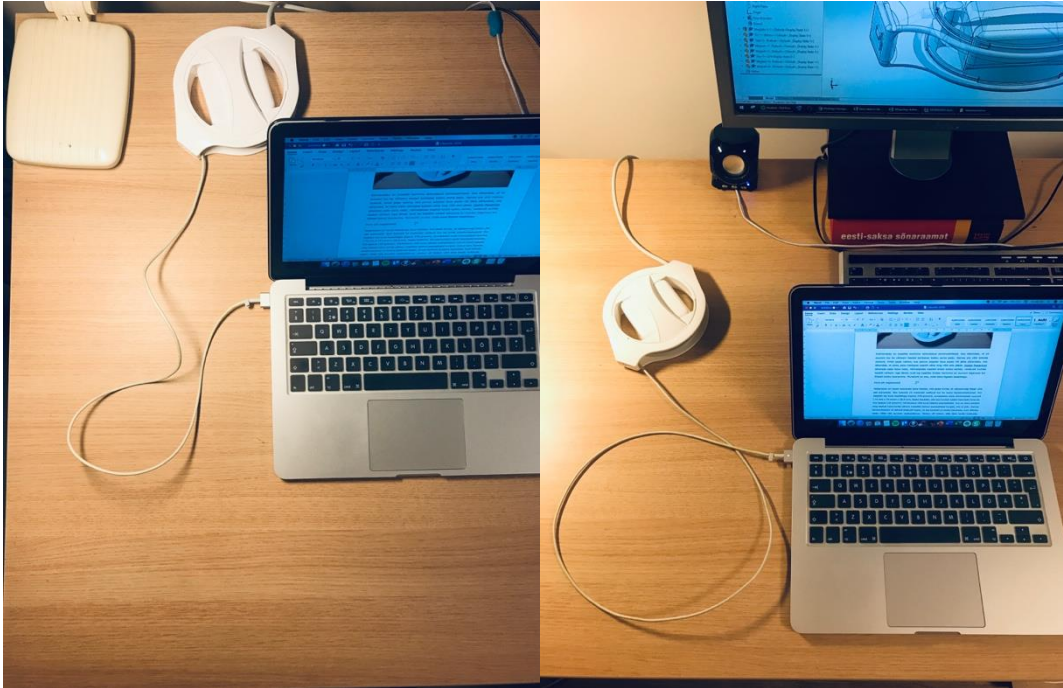
Joonis 3.1 Fuse Reel Side Winder pakendi tagumine kaas, millel kirjas, et 6 sekundiga on võimalik kaablid kokku keerata

Kolmandaks on kaablite kaitse kõige paremini lahendatud võrreldes teistega, kuid siiski on kaabli otstel väike pinge olemas, joonisel 3.2 märgitud ringidega. Selle lahenduseks saab sisemist adapteri hoidja konstruktsiooni niiviisi lahendada, et kaabliots ei oleks paindes. See jällegi tähendab, et peaks suurendama üldist konstruktsiooni, mis läheb vastuollu toote minimaalse suurusega. Kaablite lahti kerimisel, mille jaoks peab siis mõlemat otsa samaaegselt tõmbama, on samuti suurem pinge. Kui nurgad oleks parema raadiusega või oleks voolujoonelisemad, siis pinge oleks väiksem.



Joonis 3.2 Pinge kaablitel lahti tõmbamisel

Neljandaks on kaablite kerimine lahendatud sümmeetriliselt. See tähendab, et nii suurem kui ka väiksem kaabel keritakse kokku sama palju. Samas siis võib tekkida olukord, millal peab valima, kas panna adapter laua peale või jätta põrandale, mis tähendab, et oleks palju üleliigset kaablit näha ning võib ette jääda. Quirky PowerCurl lahendas seda üsna hästi, võimaldades kaablid eraldi kokku kerida, vastavalt kumba kaablit rohkem vaja läheb, kuid ise kaablite ümber kerimine on suurem tegevuse kui lihtsalt kokku keeramine. Murekoht on see, mida teha liigsete kaablitega nagu näha joonisel 3.3, kas kuidagi kinnitada toote külge või teha ka erinev kokku kerimine, kuid siiski keeratav.



Joonis 3.3 Liigsed kaablid töölaual

Viiendaks on toode kasutusel üsna habras, mis jätab tunde, et väiksemalgi löögil võib see puruneda. See tuleneb nii materjali valikust kui ka toote konstruktsioonist. Kui adapter ise koos kaablitega kaalub 378 grammi, arvestades enda minimaalset suurust (74 mm x 74 mm x 28.6 mm, lisaks kaablid), siis see tundub veider kasutada korpust, mis kaalub 129 grammi. Võrdlusena võib tuua näiteks pastapliiatsi, mis on üleni plastist ning kaalub kolm korda vähem metallist tehtud pastapliiatsi korgist, mis ei sobi. See ei lähe ka Apple missiooniga kokku [1], mis loob kvaliteetseid kasutajasõbralikke tooteid. Fuse Reel Side Winder jätab katsumise järgi mänguasjaliku tunde. Samas konstruktsioon on tehtud piisavalt tugev, et see kestaks ja saaks kasutada, kuid löökide vastu võiks olla suurem vastupidavus. Varem või hiljem võib ikka toode kukkuda, hooletusest või õnnetusest.

Võrdlusest edasi minnes on selgelt aru saada, miks toode võiks üldse kukkuda. Toode on disainitud nii, et asub ainult põhja peal, sest pealmine kiht ei ole tasapinnas laua või muu alusega. Sealjuures põhi on libe laminaatlaual, spoonlaual, täispuidust laual teiste materjalide hulgas. Libedust ei ole siin töös mõõtnud, kuid Tallinna Tehnikaülikooli õppepindadel kasutades oli isiklikust kogemusest aru saada, et peab hoolas olema, sest maha kukkudes on oht purunemisele. Seda saab lahendada teistsuguse materjaliga kas tervele põhjale või mingile osale.

Kasutajad on veel välja toonud, et sulgemiskonstruktsioon on kehv. See on siis lahendatud magnetitega, mis on üsna tugevad, mis hoiavad keskelt toodet koos ning külje peal on avaga klõps, mis hoiab kinni. Esiagsel kasutusel ei ole aru saada, et see kehv oleks. Kindlasti saaks seda paremaks arendada, näiteks riivi, hoova või konksuga, kuid otsest vajadust esialgu pole.

Viimasena on keeramise idee küll hea, aga ei ole kõige mugavam, mis tuleneb jõuõlast. Samuti nagu autorehve vahetades on suurema padrunvõtmega kergem kui väiksemaga. Tootel on keskkoha laius, mis on mõeldud keeramiseks, 25 mm, kuid see on üsna ebamugav kasutada. Palju lihtsam on keerata adapterit, mida konkreetne toode võimaldab, kuid samuti on sõrmedele ebamugav. Selle arenduseks saab otsustada kas mingisuguse võlli kasuks, nagu on tihti spordis mõõdulintidel, või siis suurendada keskkoha laiust, et oleks mugavam.

3.2 Valitud murekohad edasiarenduseks

Pea igal toodet saab väikeste sammudega paremaks teha, kuid siiski iga samm ei ole vajalik. Lühidalt on tabelis 3.1 kõik puudused ja võimalikud lahendused välja toodud, mis võivad osutada samaks, kuid ei pruugi. Töös on eesmärgiks valitud lahendada viis murekohta kaheksast võimalikust, mis on kollase tooniga märgitud.

Tabel 3.1 Puudused Fuse Reel Side Winder tootel

	Puudus	1.lahendus	2.lahendus	Olulisus
1	Lahti kerimine raske	Väiksem pinnakaredus	Parem liugelaagerdus	Väike
2	Kokku kerimine	Vedru mehhanism	Vänt	Väike
3	Kaablite kaitse	Suurem voolujoonelisus	Parem liugelaagerdus	Keskmine
4	Üleliigne kaabel	Kinnituskoht	Eraldi kerimine	Keskmine
5	Toote haprus	Parem materjal	Tugevam konstruktsioon	Suur
6	Libisemine alusel	Tervel põhjal muu materjal	Libisemisvastane konstruktsioon põhjale	Suur
7	Sulgemiskonstruktsioon	Tugevam	Riiv, hoob, konks või muu lahendus	Väike
8	Keeramise jõuõlg	Jõuõlg suuremaks laiusega	Jõuõlg suuremaks vändaga	Keskmine

3.3 Tingimused uuel konstruktsioonil

Uue lahenduse loomisel on teatavad tingimused olulised, et võiks selle täielikult edukaks lugeda. Üks tingimus on, et valitud probleemid saaks piisava lahenduse. Teine tingimus on see, et uue lahenduse kabariitmõõdud oleks samad või väiksemad Fuse Reel Side Winder lahendusest. Kolmas tingimus on kaal, mis peab olema väiksem või võrdne 622 grammiga, sest vastasel juhul on koos adapteriga kogu mass üle ühe kilogrammi. Need tingimused on lihtsuse mõttes kujutatud tabelis 3.2.

Tabel 3.2 Algse lahenduse kabariitmõõtmed ning uue toode kavandatavad mõõtmed koos kaaluga

Toode	Pikkus [mm]	Laius [mm]	Paksus [mm]	Kaal [g]
Fuse Reel Side Winder	139,7	190,5	38,1	129
Uus	<= 139,7	<= 190,5	<= 38,1	<= 622

Neljandaks peab üle vaatama, kuidas toode peab vastu kukkumisele ühe meetri kõrguselt. Olemas olemaval lahendusel ei ole tootja andmeid väljastanud, et oleks garanteeritud vastupidavus sellistele löökidele. Toode füüsiliselt hinnates võib tõesti eeldada, et purunemine on tõenäoline. Seega seda ei saa numbritega mõõta, kas uus lahendus on vastupidavam kui eelmine, kuid saab anda hinnangu, kuidas toode peab vastu meetri kõrguselt kukkudes. Teiselt küljelt üldiselt tootjad räägivad enda lahendustest alati hästi, seega kui oleks kukkumise suhtes vastupidavus garanteeritud, siis oleks seda kuskil mainitud. Seega võib eeldada, et see tingimus ei ole täidetud ning see on üks eesmärkidest uue lahenduse puhul.

Esmalt on vaja luua konstruktsioon, mis lahendaks valitud murekohad ning püsiks mõõttudes. Seejärel peab tegema tugevuskatsed esialgsete materjalidega. Viimaks peab valima sobiva materjali ja seejärel tootmisvõimalusi ning lõpptulemust hindama.

4. KONSTRUKTSIOON NING CAD MUDEL

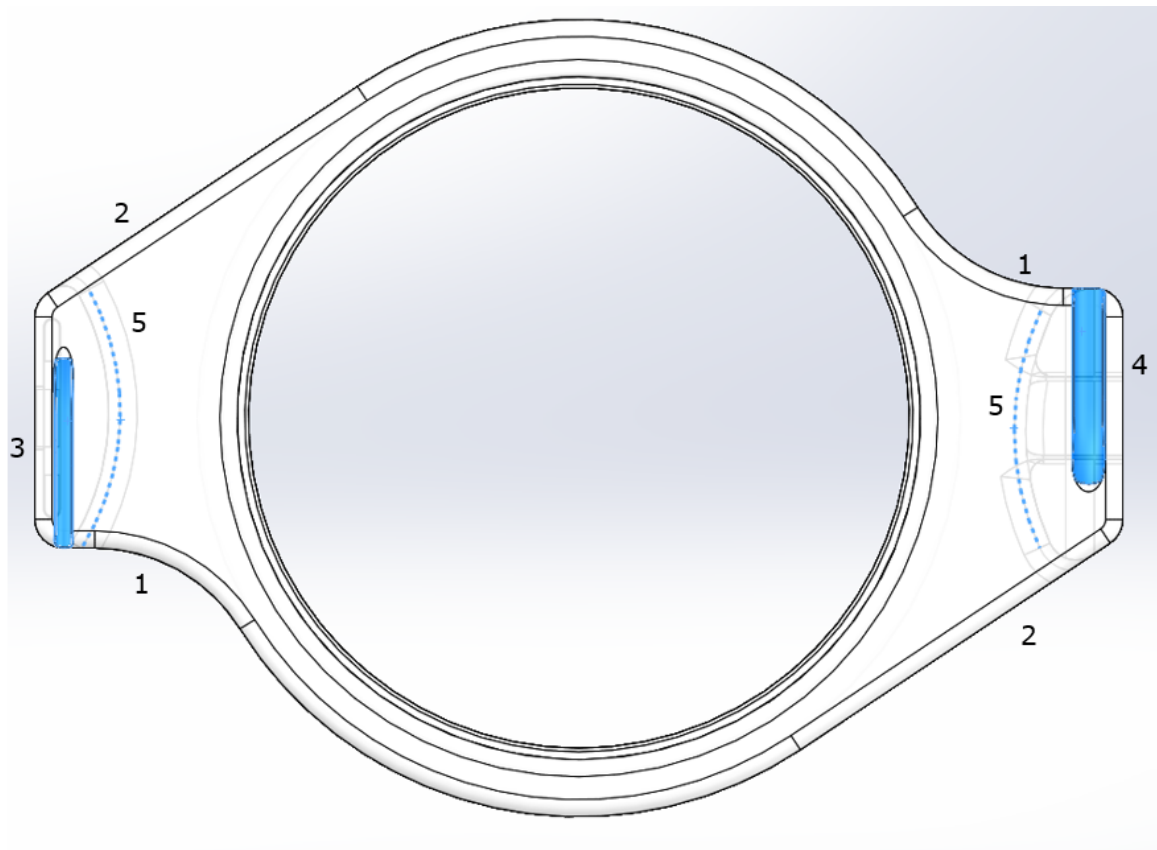
Kõige parem viis konstruktsiooni loomiseks on raalprojekteerimisega, millel on palju erinevaid tarkvarasid. Ühed tuntumad on SolidWorks, Catia ja Autodesk Inventor, millest on selles töös kasutusel esimene. SolidWorks 2018 tudengi versioon on Tallinna Tehnikaülikooli kaudu kättesaadav ning on antud lahenduse jaoks piisav tarkvara. Catia on enamasti kasutatud autode, lennukite ning muude toodete jaoks, mis on järgmine tase.

4.1 Komponentid 3D mudelil

Tervet lahendust ühe osana teha on liiga mahukas, sest detaile on palju. Selle jaoks sarnaselt Fuse Reel lahendusele on osad jaotatud järgmiselt: kesta alumine osa, kesta ülemine osa, alumine adapteri hoidja, ülemine adapteri hoidja, adapter ise, magnet, alus ning kandev võll. Need on üsna sarnased algsele lahendusele esmapilgul, kuid kõik mõõtmed on valitud optimaalsuse järgi, mis oleks kõige paremad just 60 W adapteri jaoks. 3D mudelile ei ole kaableid kujutatud, kuid selle raskusega on arvestatud.

Materjalid kestadele ning adapteri hoidjatele on polükarbonaadist, mis on termoplast. Alus on valitud tavaline kumm ning tala ja magnet on selles faasis programmis valitud roostevabaks teraseks, et saaks konstruktsiooni luua ning sealt edasi arvutusi teha. Loomulikult magneti materjaliks peaks olema neodüüm või midagi sarnast. Materjali peatükis on täpsemalt paika pandud, mis materjal on kõige optimaalsem. Edasi on kirjeldatud üldiselt iga detaili lähenemisviisist ning selle põhjusest.

4.1.1 Suur väliskest

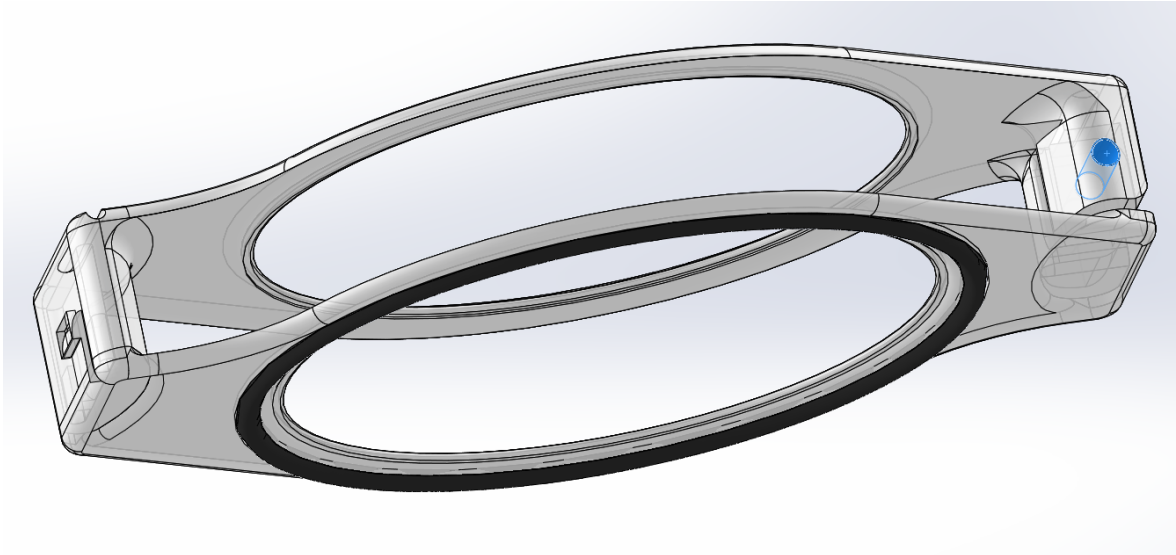


Joonis 4.1 Suure väliskesta kuvatõmmis CAD mudelist pealtvaatest

Kesta kabariidid laiuse ja pikkuse suhtes on samad, mis sobivad tingimustega. Nurgad ja kumerused välisküljel on erinevad, kuid kindlasti olulised. Kuna kaablite kerimine käib päripäeva, siis on oluline, et punktides number üks oleks kindlasti nõgus, sest siis kaabel jääb sinna paremini püsima. Joonisel 4.1 punktides number kaks suurt vahet ei ole, missugune lahendus seal on, kas kumer või sirge. Ainuke faktor seal võib olla materjali kasutus ning tugevus löökide vastu.

Punktis number kolm on kujutatud süvend, kuhu saab peenikese kaabli kinnitada, juhul kui kaablit jääb üle. See on piisavalt lihtne lahendus, mis jätab organiseerituma mulje. Võrreldes joonisega 3.2, siis ühe väikse ringi kaablit saaks kinnitada väga mugavalt. Sama on tehtud punktis 4, kuid siis pikenduskaabli jaoks, mis on paksem. Seega on üleliigse kaabli organiseerimine lahendatud.

Punktides viis on kujutatud kõverat, mis vähendab pinget kaablite lahti kerimisel. Olemasoleval lahendusel võib tõmbamisel nurk järsk olla, mille tõttu see kaar on sisse tehtud, et nurk oleks väiksem. Väiksema nurga puhul on pinge kaablitele väiksem, mis pikendab nende eluiga.

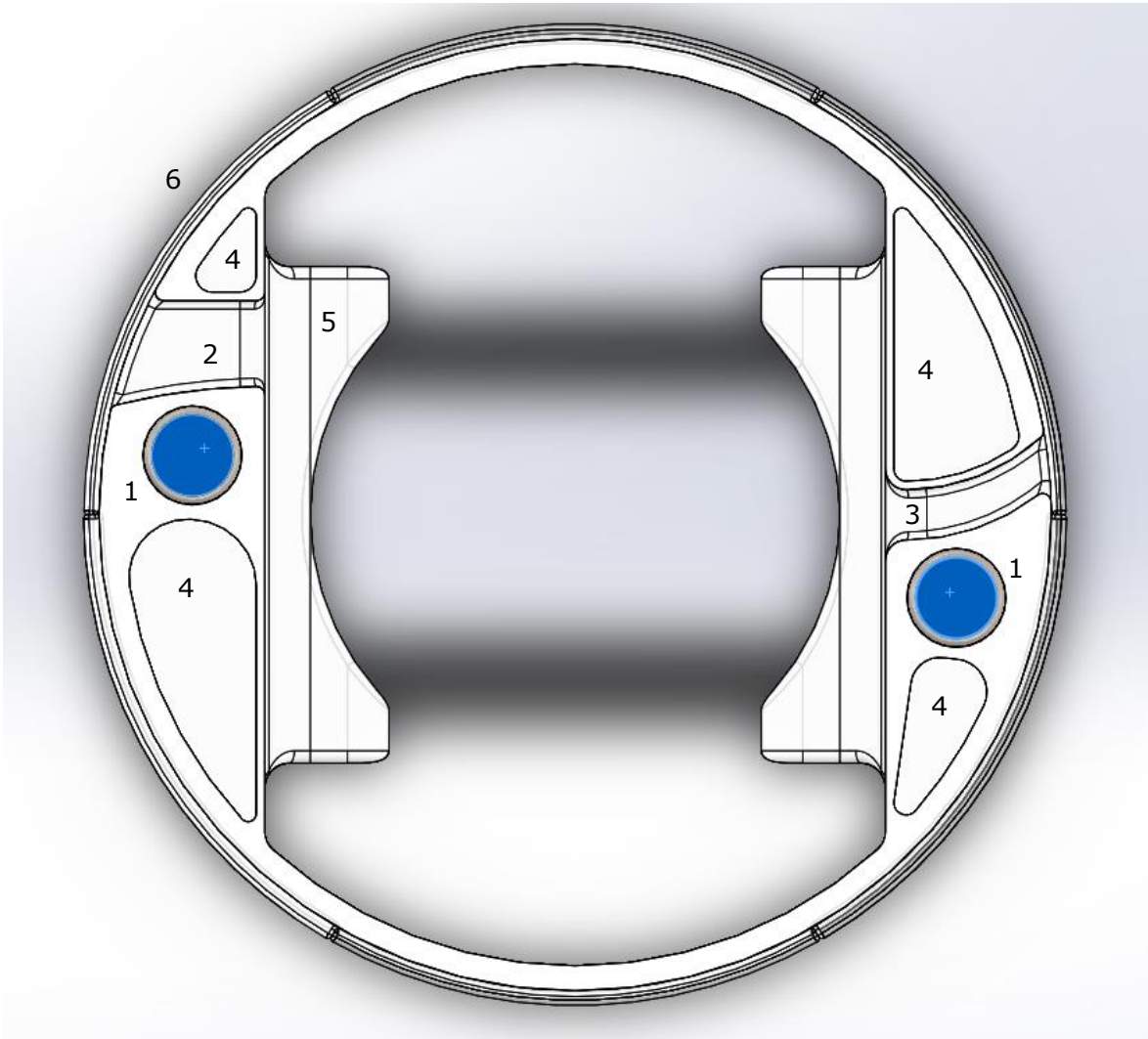


Joonis 4.2 Suure väliskesta kuvatõmmis CAD mudelilt külje pealt

Kestade omavaheline kinnitus jäi sarnaseks originaalse lahendusega. Täpsemalt paremal pool joonisel 4.2 on võll, mis lubab liikuda. Vasakul pool on klõps, mis hoiab siis paigas. See eeldab, et materjal lubab kerget painet ning ei purune pideval kasutusel. Suur vahe kesta paksuses, mis originaalil on alla 2 mm, kuid uuel tootel 3 mm.

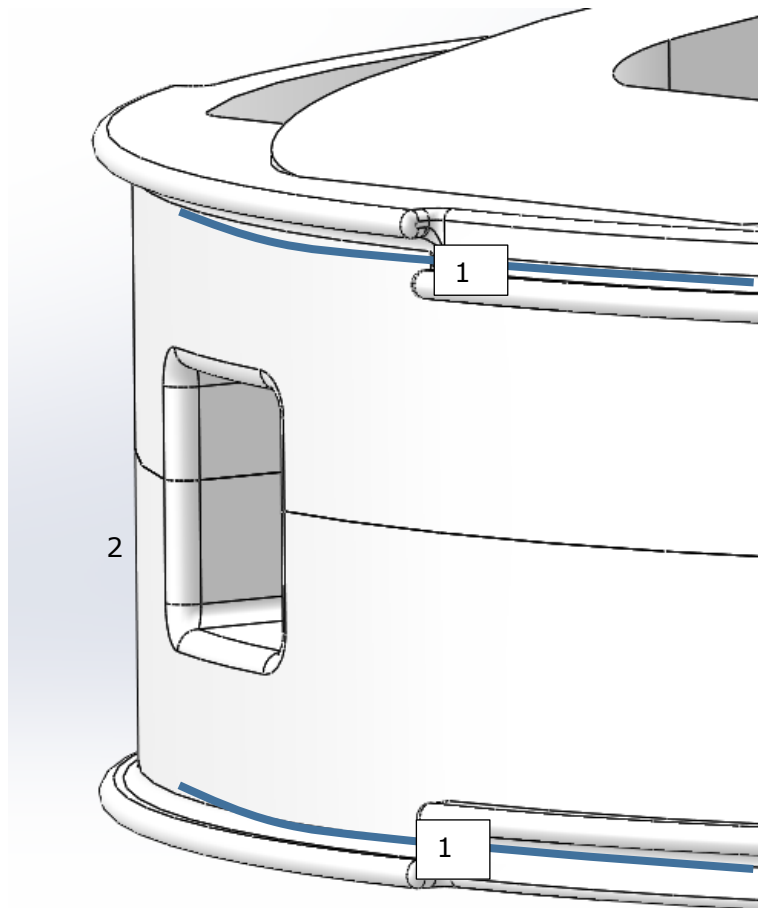
Kesta alla on tehtud süvend, mille sisse on asetatud kummist ring. Kummi või muu sarnase materjali mõte on selles, et lahti tõmbamisel ning muidu laual kasutades toode maha ei kukuks. Kumm püsib tunduvalt paremini laua peal kui plastik, täpsemalt on materjalist hiljem kirjutatud. Konstruktsioone aluse puhul on mitmeid: võib ring olla, võivad lihtsalt lõigud olla, võib tasapinnaga samal tasemel olla või siis ümara pinnaga. Töös on valitud ümara pinnaga alus.

4.1.2 Sisemine kest



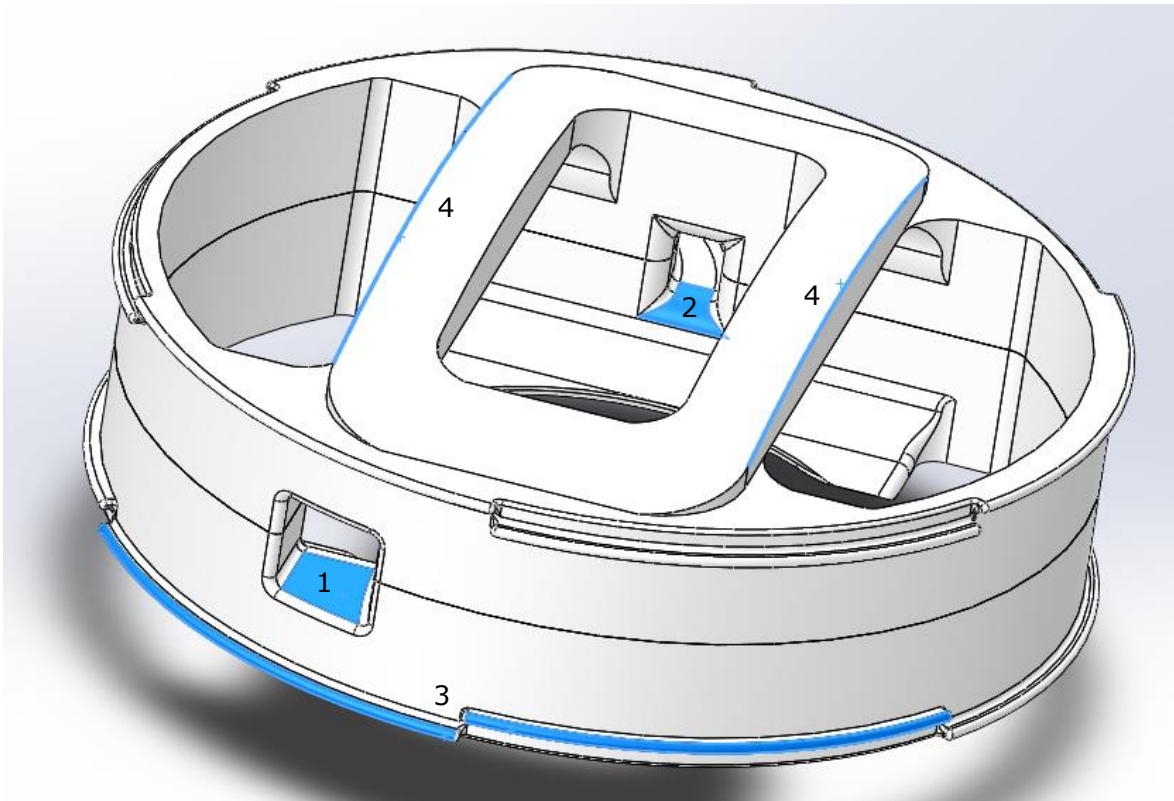
Joonis 4.3 Alumise sisekesta kuvatõmmis CAD mudelilt pealt vaates

Joonisel 4.3 on punktides number üks sinisega märgitud magnetid, mis aitavad konstruktsiooni kinni hoida, nagu ka algsel lahendusel, seal võib muutuda ainult diameeter ja sügavus vastavalt tugevusarvutustele. Punktis 2 on süvend pikenduskaabli jaoks ning punktis 3 laadimiskaabli süvend samuti väikse nurga all, et vähendada suuremat pinget, kaitstes nii kaabliotsi. Kaablid keeratakse ümber väikse kesta, seega on hea, kui süvendid on juba väike nurgaga. Punktides neli on süvendid, sest seal pole materjali vaja. Täpsete tugevusarvutustega saab veel materjalikulu optimeerida. Punktis 5 on märgitud alumise kesta põhi, mille peale siis adapteri ise pannakse. Punktis 6 on märgitud välisküljel asuv kinnituslahendus, mis on sarnane algsele. Tegemist on pildil alumise poolega, kuid ülemise külje sisemine konstruktsioon on peegelpildis tehtud, erinevus ülemise poolega on ainult välisküljel.



Joonis 4.4 Sisemise kesta kuvatõmmis CAD mudelilt pikenduskaabli avause juures

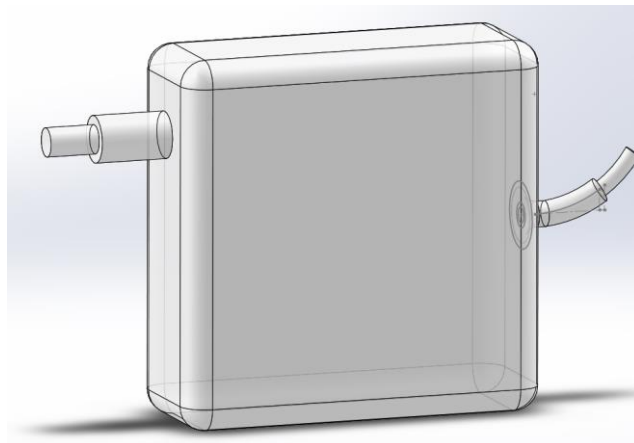
Kinnitussüsteemi põhimõte seisneb selles, et joonisel 4.4 on punktides 1 ühendus suure kestaga, mis on illustreeritud sinise joonega. Suure kesta siseringil on õhuke ring, mis läheb täpselt nendesse punktidesse väikse varuga, see tähendab, et süsteem justkui logiseb, mis ongi nii planeeritud. Punktis 2 on pikenduskaabli ava näidatud külje pealt, mille väliskülje on kumeraks tehtud kaabli otste eluiga arvesse võttes.



Joonis 4.5 Sisekesta kuvatõmmis CAD mudelilt isomeetrise vaatega

Joonisel 4.5 on punktis 1 pikenduskaabli ava, punktis 2 laadimiskaabli ava, punktis 3 on ühendus süsteem märgitud. Punktis neli on välja toodud keeratava konstruktsiooni välisküljed. Üks eesmärkides on lihtsam keeramine, mis nõuab suuremat jõuõlga. Eraldi vända loomine on arvestatav variant, aga kuna eesmärk on võimalikult lihtne ja madal koos teha, siis lihtsam oli haardelaiust suurendada. Kui algsel tootel oli see 25 mm, siis sellel on haardelaius 50 mm väliskülgedest mõõdetuna.

4.1.3 Adapteri 3D mudel



Joonis 4.6 Kuvatõmmis adapter CAD mudelilt isomeetrilise vaatega

Oluline osa koostus on adapter ise, sest tugevusarvutustel on see just kõige suurem koormus. Joonisel 4.6 ei ole adapteri pikenduskaabli kinnituse osa eraldi tehtud, kuna see ei anna täpsusele juurde piisavalt palju. Täpsemaks analüüsiks tuleb kindlasti kasuks, kui ka kaablit on lõpuni modelleeritud, kuid siin on töö konstruktiivsuse suhtes see välja jäetud.

4.2 Kogu koost



Joonis 4.7 Koost lahtises olekus vasakule ning osade kaupa paremal

Üldist koostu vaadates joonisel 4.7 võib esmapilgul lahendus tunduda üsna sarnane, kuid eelnevaid tingimusi täites on muutuseid nii mitmedki. Nii pikkus kui ka laius jäid samaks, kuid kõrgus on tehtud lahendus suurem. Kui tingimuseks oli sama või väiksem, siis 2 millimeetrit paksem. Suurim erinevus tulebki kummi pojast, mis libisemise eest kaitseb. Kui originaalsel tootel oleks ka täpselt sama konstruktsiooniga aluspind, et libisemise eest kaitsta, oleks kõrgus sama.

Oluline on kahe kesta omavaheline ühenduskoht. Originaalne toode on loodud nii, et sisemise kesta saab välimise kesta sisse väänata. See on sama tulemus, mida selle töö tulemusest ootame, kuid kuna tegemist on kontseptuaalse lahendusega, ei saa lõpuni kindel olla, kas see ka efektiivselt toimiks. Sellest hoolimata on käesoleval lahendus sarnane lähenemine, alternatiivina võib kohe nii toota, et kestad olekski üksteise sees.

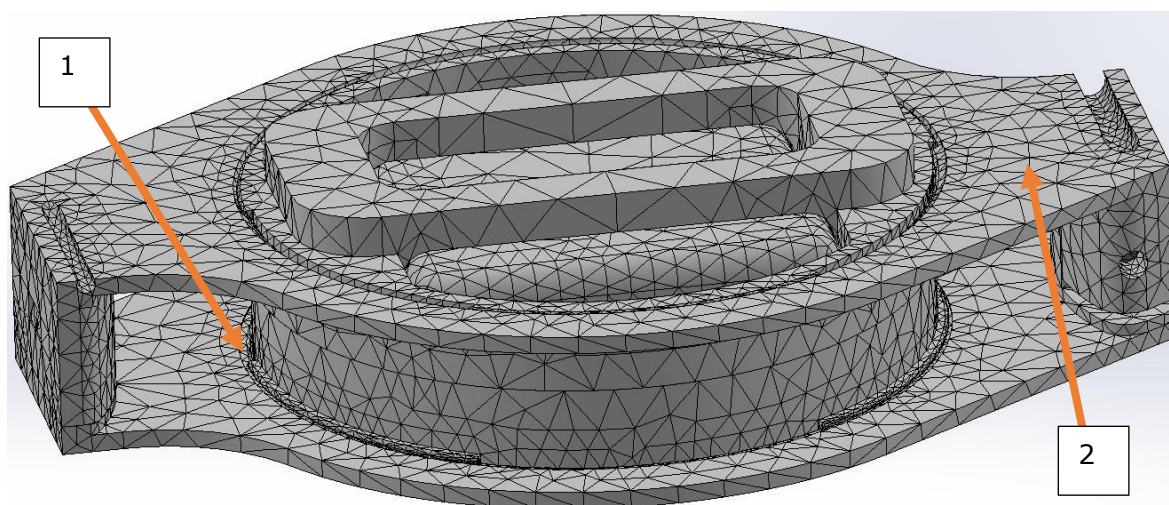
Sellest hoolimata on võimalik teha sama kõrgusega ning ka kummist põhjaga. Järgmises prototüübis on siis vaja liigutada sisemise kesta alus, mis adapterit hoiab, ainult külgedele. See tähendab, et joonisel 4.3 number viis alus kaoks täielikult ning adapter toetuks ainult külgede peal, siis saaks juba 1,5 mm väiksemaks teha. Varuks adapteri ja aluse vahele on hetkel arvestatud 1,2 mm, mida saaks praktilise testimise all paremaks lihvida. Viimasena võib kummist alust veel 1 mm võrra väiksemaks saada, kuid see eeldab, et siis olev kõrgus on piisav, mis kaitseks nii adapteri alumist kesta kui ka libisemise eest. Kuna kõrgus oleks sobiv ilma aluseta, siis hetkel suures plaanis lahendust ebaõnnestunuks ei loe, kuid kindlasti parandatav enne tootmist.

5. TUGEVUSARVUTUSED

Lahenduse paremaks hindamiseks ning vastupidavuse tagamine kukkudes ühe meetri kõrgusel on vaja teha tugevusarvutused. Ideaalis peaks arvutama igast võimalikust nurgast, et saada parim ülevaade, mis on konstruktsiooni kõige nõrgemad kohad. Selle jaoks peab tegema aga väga palju arvutusi, mis võtavad üsna kaua aega. Seepärast on ka nende arvutuste käigus otsustatud veidi lihtsama konstruktsiooni kasuks, kuid ei ole ohverdatud lahendusele omaseid tunnuseid. Tegemist on kontseptuaalse lahendiga.

Kõik tugevusarvutused ja FEM analüüsid on tehtud SolidWorks programmiga ning kasutatud spetsiaalselt juba olemasolevat kukkumiskatset (*drop test*). Heaks alternatiiviks on kindlasti veel ANSYS programm arvutusteks, kuid ühest joont hoides on pea kõik SolidWorks programmiga tehtud. Oluline arvutustel on koostu kvaliteet ning õige ühendamine. Kui koost on valesti ühendatud, siis ei mõju jõud õigesti ning tulemused võib puudulikuks lugeda.

Igal arvutusel peab enne defineerima võrkkonstruktsiooni, mille programm loob, et hoida kokku arvutustega. Igal arvutusel või simulatsioonil on samad parameetrid, mis on kumeruse põhjal loodud. See on parim lahendus, sest koostul on palju kumeraid külgi ning sellega luuakse rohkem elemente vastavalt kumeruse astmele. Mida suurem kumerus, seda rohkem on elemente. Igal võrkkonstruktsioonil on maksimaalne suurus 13.91598017 mm ning minimaalne suurus 2.78319603 mm. See tähendab, et näiteks ruudukujulisel pinnal kumerusi väga pole ning elemendid võivad olla maksimaalse suurusega. Kui tegemist on näiteks ellipsiga, siis nurkades, kus on suurem kumerus või raadius, siis seal on elemendid väiksemad. Igas ringis on vähemalt 8 elementi ning iga elemendi kasvusuhe on 1.6.



Joonis 5.1 Kuvatõmmis võrkkonstruktsioonist enne simulatsiooni

Oluline on see, et igal arvutusel on kasutatud sama võrkkonstrukstiooni. Joonisel 5.1 on näha, et punktis üks on rohkem elemente kui näiteks punktis kaks, mida kirjeldabki kumeruse põhine võrkkonstruktsioon.

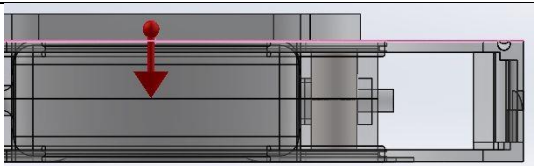

Arvutused on tehtud kaheksast erinevast: x-teljest nii ülevalt kui alt, y-teljest nii ülevalt kui alt, z-teljest nii ülevalt kui alt, 45-kraadise nurga alt kahelt äärmiselt küljelt. Kauguseks maapinnaga on keskkohast 1000 mm ning põrand või kokkupõrke pind on jäik, see tähendab, et ei ole paindub. Enamasti on töökeskkonnas põrand jäik, seega on vaja teada, mis jõud sellel juhul mõjuvad. Programm annab kolme eri tüüpi tulemusi: pingeintensiivsus (von Mises stress) ühikutes MPa, paine ühikutes mm ning ekvivalentne deformatsioon protsentides.

Kõige suuremaid pingeid ning deformatsioone on oodata just kestadete omavahelisel ühendusel, sest need on üsna õhukesed, võrreldes ülejäänud konstruktsiooniga. Teine koht on võlli ühendus, sest võll ise on metallist arvatavasti, mis tähendab et metall surutakse vastu plasti. Plast on reeglina väiksema tihedusega ning lubab suuremat painet. Teistest kohtadest suurt pinget ei tohiks tulla, kui siis sellel pinnal, mis adapterit ennast hoiab tsentris paigal.

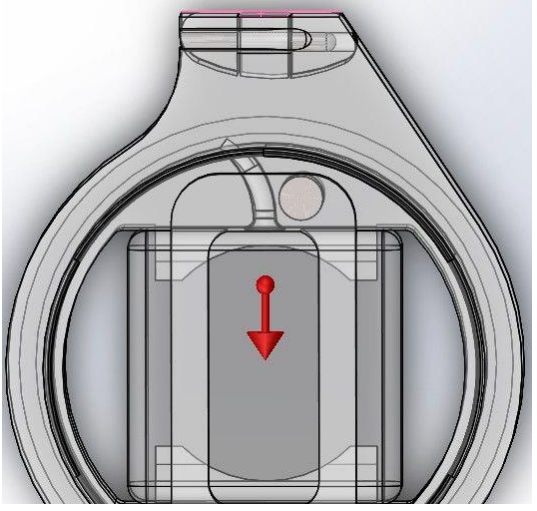
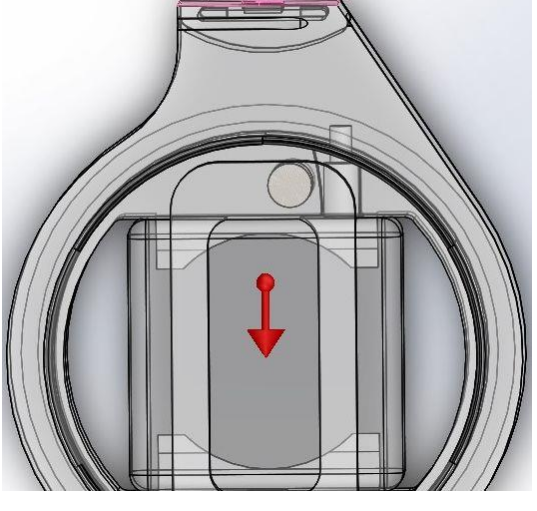
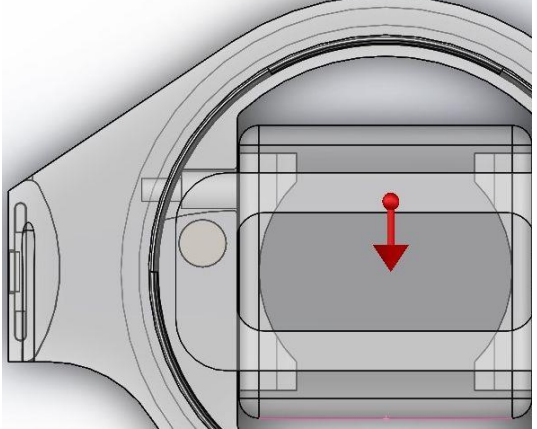
5.1 Tugevusarvutuste kokkupõrke pinnad

Tabelis 5.1 on toodud kõikide arvutuste erinevad pinnad, mis suunas kokkupõrge simuleeriti. Tabeli joonistel on roosaga märgitud telge, mille suhtes toimus kukkumine.

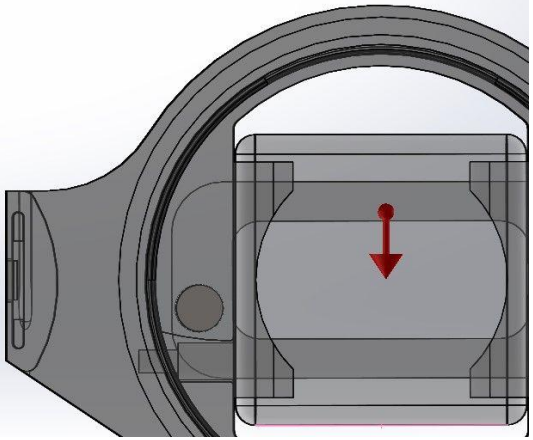
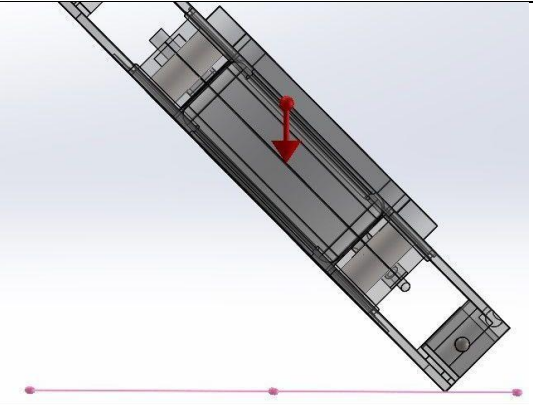
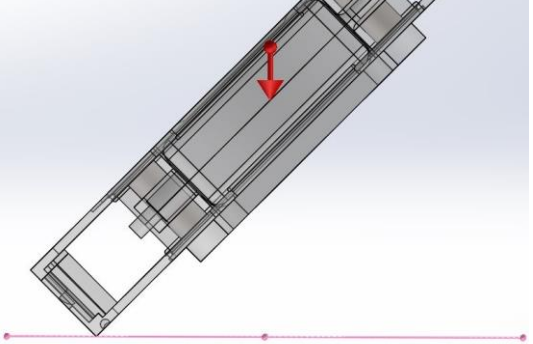
Tabel 5.1 Ülevaade simulatsiooni telgedest

Simulatsioon	Telg/Joonise kirjeldus	Joonis
1	Piki y-telge ülevalt alla, kontakt tekib alumise küljega	
2	Piki y-telge alt ülesse, kontakt tekib ülemise küljega	

Tabel 5.1 järg

Simulatsioon	Telg/Joonise kirjeldus	Joonis
3	Piki x-telge paremalt vasakule, kontakt tekib sulgemiskontstruktsiooni poolse küljega	
4	Piki x-telge vasakult paremale, kontakt tekib võlli poolse küljega	
5	Piki z-telge tagant ette, kontakt tekib küljega, mis asub pikenduskaablist kõige kaugemal	

Tabel 5.1 järg

Simulatsioon	Telg/Joonise kirjeldus	Joonis
6	Piki z-telge eest taha, kontakt tekib küljega, mis asub pikenduskaablil kõige lähemal	
7	Piki y-telge ülevalt alla, lahendus tõstetud 45 kraadi, kontakt tekib võlli poolel alumise nurgaga	
8	Piki y-telge alt ülesse, lahendus tõstetud 45 kraadi, kontakt tekib sulgemiskonstruktsiooni ülemise nurgaga	

5.2 Tugevusarvutuste minimaalsed ja maksimaalsed väärtused

Tabelis 5.2 on ära toodud simulatsioonist saadud maksimaalsed ning minimaalsed väärtused.

Tabel 5.2 Tugevusarvutuste ekstremaalsed väärtused

Simulatsioonid	Tüüp	Minimaalne	Maksimaalne
1	Von Mises pinge	3.037e-07 MPa	1.726e+02 MPa
	Deformatsioon	9.485e-04 mm	9.417e-01 mm
	Ekvivalentne paine	5.303e-10	2.358e-02
2	Von Mises pinge	9.681e-09 MPa	7.380e+01 MPa
	Deformatsioon	7.367e-03 mm	1.034e+00 mm
	Ekvivalentne paine	4.869e-12	2.112e-02
3	Von Mises pinge	2.231e-03 MPa	4.225e+02 MPa
	Deformatsioon	4.167e-02 mm	7.776e-01 mm
	Ekvivalentne paine	1.108e-07	8.106e-02
4	Von Mises pinge	7.618e-04 MPa	3.867e+02 MPa
	Deformatsioon	4.462e-03 mm	7.797e-01 mm
	Ekvivalentne paine	3.978e-07	8.230e-02
5	Von Mises pinge	5.024e-04 MPa	7.635e+01 MPa
	Deformatsioon	3.075e-02 mm	7.191e-01 mm
	Ekvivalentne paine	6.190e-08	2.463e-02
6	Von Mises pinge	4.443e-03 MPa	1.273e+02 MPa
	Deformatsioon	2.197e-02 mm	8.802e-01 mm
	Ekvivalentne paine	2.207e-07	3.934e-02
7	Von Mises pinge	1.725e-06 MPa	2.834e+02 MPa
	Deformatsioon	3.694e-02 mm	7.747e-01 mm
	Ekvivalentne paine	1.563e-09	6.555e-02
8	Von Mises pinge	3.603e-14 MPa	7.677e+01 MPa
	Deformatsioon	1.354e-01 mm	8.692e-01 mm
	Ekvivalentne paine	7.846e-18	2.547e-02

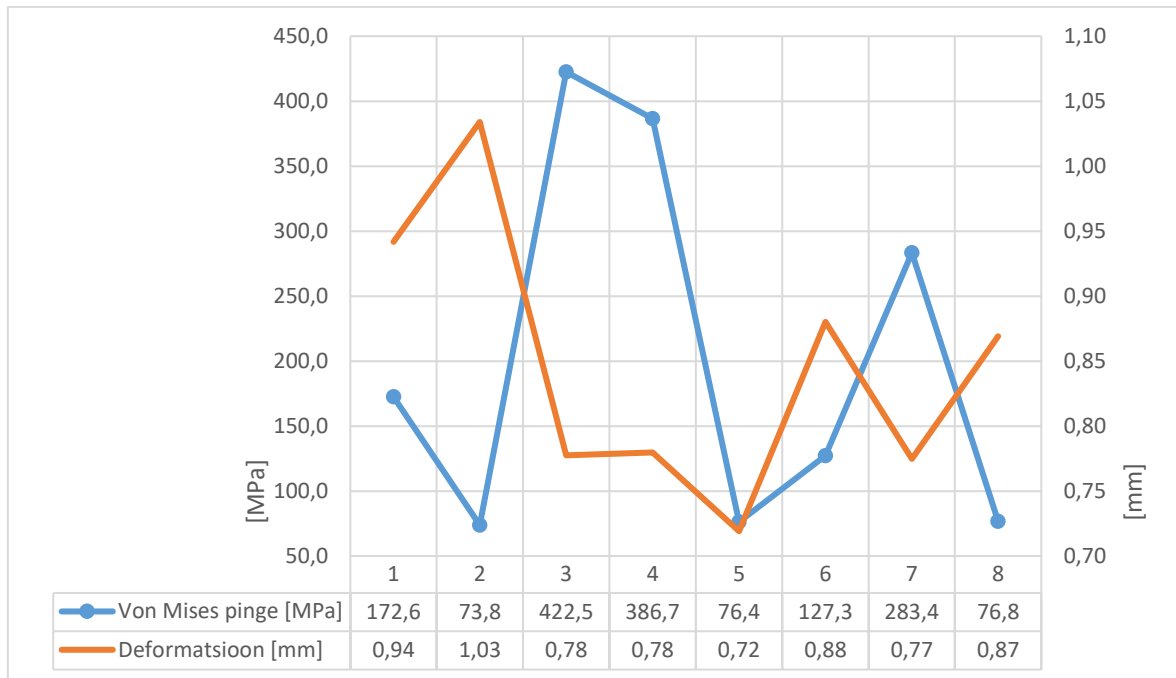
5.3 Riskikohad konstruktsioonil

Tabelis 5.3 on simulatsioonide tulemused kokku võetud ning kirjeldatud, kus on suurimad ohukohad. Tehtud simulatsioonide väärtused on antud lisades: simulatsioonile 1 vastab lisa 3.1 jne.

Tabel 5.3 Riskikohad konstruktsioonil

Simulatsioon	Riskikoht
1	<ol style="list-style-type: none">1. Suurim pinge asub võlli juures2. Ühenduste otstes sisemise ja välimise alumise kesta vahel3. Suurim deformatsioon võlli ja sisemise kesta vahele jäävas alas ülemise kesta peal4. Sisemise kesta välisringil kõige õhema paksusega kumerusel
2	<ol style="list-style-type: none">1. Suurim pinge ühenduste otstes sisemise ja välimise ülemise kesta vahel2. Sisemise kesta välisringil kõige õhema paksusega kumerusel3. Suurim deformaatsioon ülemise kesta äärtel, eriti sulgemise juures
3	<ol style="list-style-type: none">1. Suurim pinge ja deformatsioon ühenduste otstel, asub risti löögiga
4	<ol style="list-style-type: none">1. Suurim pinge ja deformatsioon ühenduste otstel, asub risti löögiga
5	<ol style="list-style-type: none">1. Suurim pinge ühenduste otstel, mis kõige lähemal löögile2. Deformatsioon üle 50% mudelist üle 0.6 mm
6	<ol style="list-style-type: none">1. Suurim pinge löögi juures2. Deformatsioon üle 50% mudelist üle 0.7 mm
7	<ol style="list-style-type: none">1. Suurim pinge ühenduste otstel, mis kõige lähemal löögile2. Suurim deformatsioon löögi ja sisemise kesta vahelisel alal välimise kesta peal
8	<ol style="list-style-type: none">1. Suurim pinge ühendustes otstel2. Suurim deformatsioon ülemise kesta siseringil ühenduste keskkohas

5.4 Tulemuste analüüs



Graafik 5.1 Simulatsioonist saadud tulemused

Arvutuste väärtusi ning suurimate väärtuste asukohti vaadates graafikul 5.1 saab teha tingimused järgmiseks tegevuseks. Suurim pinge tekkis simulatsioonidel kolm ning neli ehk kui toode kukkus kas sulgemiskonstruktsiooni või võllipoolse väliskülje peale. Suurim mõjuv pinge ühel hetkel oli 422,5 MPa ning 386,7 MPa, mis on ülejäänud tulemuste võrreldes üsna suur. See tähendab, et peab valima sellise materjali, mis peab sellistele löökidele vastu või muutma konstruktsiooni.

Suurim deformatsioon oli just teisel simulatsioon, kuid tulemust analüüsidest tekib suurim deformatsioon ülemise väliskesta välisringil, millel otsest kontakti teiste komponentidega pole. Seal mõjub kukkumisest tulnud löögi järelmõju tsentrisit väljapoole. Ohtlikum on just deformatsioon ühenduste juures ning üldiselt ei ole deformatsioonide skaala liiga suur.

Maksimaalsetest väärtustest võib toode hetkel oma kuju muuta esialgselt rahuolekust 0,72 mm kuni 1,03 mm. Simulatsioonist kaks tulnud maksimaalne deformatsioon on lihtsustatult võttes 2,56 % kogu toote kõrgusest, mis ei ole liiga suur. Palju ohtlikum on pinge simulatsioonides kolm ja neli, kus see mõjub just kestadete omavahelistele ühendustele ehk täpsemalt ühenduste otstele, mis saavad siis just nurkadesse suurima löögi.

Selle riski maandamiseks võib kaaluda kuue ühenduspunkti asemel kaheksat nii üleval kui all või siis muuta dimensiooni ühendustel. Kaheksa ühenduspunkti on parem, sest et siis ei teki suurim pinge ühenduste otstele vaid hoopis keskosasse, mis on kumeram. Järgmine võimalus on muuta ühenduse tüüpi ennast, näiteks liuglaagri või muu sarnase lahendusega, kuid see muudaks konstruktsiooni keerukamaks, nii modelleerimise, tootmise kui ka hinna suhtes, mis hetkel olevate tulemustega ennast veel ei õigusta.

Konstruktsiooni tulemusena võib öelda, et kõige suurema üldise riskiga kohad on kestade omavaheline ühendus ning ka võlli ühendus. See tulemus oli ka oodatud. Adapter ise ei avaldanudki nii palju mõju tsentri enda alusele, mis on veidi üllatav, kuid hea tulemus konstruktsioonile.

Siinkohal on tegemist ikkagi limiteeritud tugevusarvutustega lihtsustatud konstruktsioonile kaheksast erinevast, mis on töö piires piisav hulk. Enne lõplikku tootmist on kindlasti soovitatav teha arvutused lõpliku mudeliga ning rohkematel telgedelt.

Veel võib mõelda, kas toode võiks vastata turul populaarseks saanud Ameerika Ühendriikide Kaitseministeeriumi poolt väljastatud katse meetodi standarditele MIL-STD-810H. Lisas B punktis 516.8 on täpselt kirjutatud, mis tingimused peavad olema täidetud, et saaks katse edukaks lugeda. Kõige loogilisem nendest oleks vastavus transpordist saadud löögile, millest on kirjeldatud alapunktis 2.2.2 täpsemalt jaotise all, sest see on kõige suurem oht, et toode kukub.

Leheküljel 516.8-33 on eraldi näidatud, mis kõrguselt on valitud kukumine ning mitu korda erinevatelt telgedelt. Kuna toode kaalub alla 45.4 kg, siis on kõrguseks määratud 122 cm. Kokku peaks kukkuma toode 26 korda, mis kataks iga tasapinnalise külje, iga ääre ja nurga [19].

6. MATERJAL

Materjali valikul on oluliseks töötingimuste analüüs, materjali valikukriteeriumid valida ning siis lõpuks materjali enda valimine. Toode võiks ideaalis jõuda masskasutajateni, seega esialgne partii suurus on 1000 ühikut orienteeruvalt.

6.1 Töötingimused

Reeglina on toode kasutusel siseruumides töökeskkonnas, mis tähendab, et temperatuuri ekstreemväärtused olulised ei ole. Sellest piisab, kui toode vastab keskmisele õhutemperatuurile, mis on seadusega kooskõlas. Adapter võib vahel kasutades kuumaks muutuda, millest ametlikke andmeid ei ole, kuid inimesele katsudes isiklikust kogemusest ohtlik see kuumus ei ole.

Füüsikalistest teguritest on oluline tihedus, millest sõltub toote mass. Toode peab olema piisavalt kerge, muidu muudab kasutaja elu teisiti keerulisemaks. Keemilistest teguritest on oluline plastide korrosioon. Polümeeride lagunemist mõjutavad kuumustemperatuur ning mehhaanilised pinged [20]. Korrosioonist olulisemad on tegelikult siinkohal just mehhaanilised omadused.

Tugevusarvutustest sai üsna suured pinged kukkumisel ühe meetri kõrguselt. Kui kõrvale jätta kaks kõige kõrgemat väärtust, siis 283,4 MPa on löögist tulnud koormus, millele võiks olla vastupidavus. See tähendab, et oluline on löögisitkus ja tõmbetugevus. Pikenemine on oluline, et mõõta materjali plastsust löökide suhtes. Kontaktväsimumus võib olla veel oluline faktor, sest et toode sisemine kest ja välimine kest on kogu aeg üksteisega ühenduses. Sisemist kesta peab keerama, seega omavahel tsentris küljed hõõruvad üksteist.

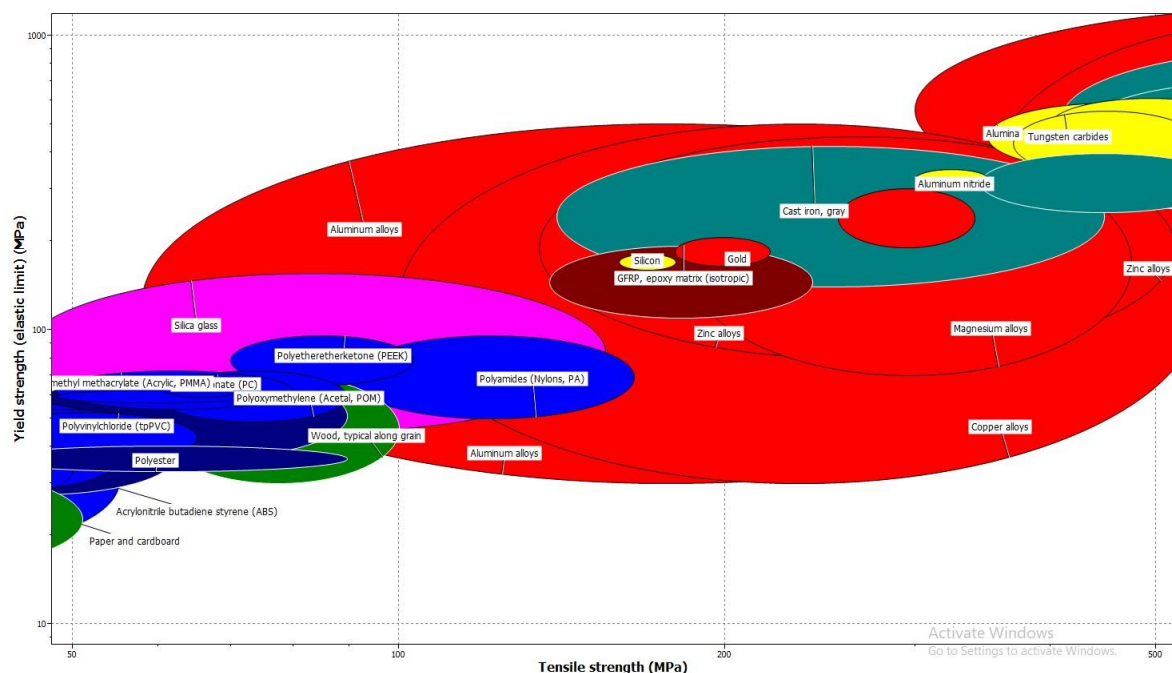
Tootmine peaks jääma võimalikult kergeks, kuid see oleneb materjali valikust. Praeguse konstruktsiooni juures peab arvestama, et materjal oleks painutatav, sest sisemise kesta peab välimise sisse painutama tsentris. Igast materjalist saab toote valmis teha, aga selle juures on oluline nii hind. Hind sõltub nii materjalist kui ka tootmisviisist. Arvestades teisi konkurente, siis kogu kulu üle 30 USD ei tohiks olla, muidu võib müügihind liiga kallis olla. Isegi kui toode on väga hästi tehtud, liiga suur hind lõpuks ei õigusta sellest saadud väärtust.

Kõiki tegureid vaadates on võtmenõueteks pikenemine, tõmbetugevus ning kaal. Materjali valiku puhul on kasutatud CES Edupack 2013 versiooni, millel on 3905 erinevat

materjali andmebaasis. Esmalt on vaadatud väiksemaid materjaligruppe ning sealt edasi mindud.

6.2 Võimalikud materjaligrupid

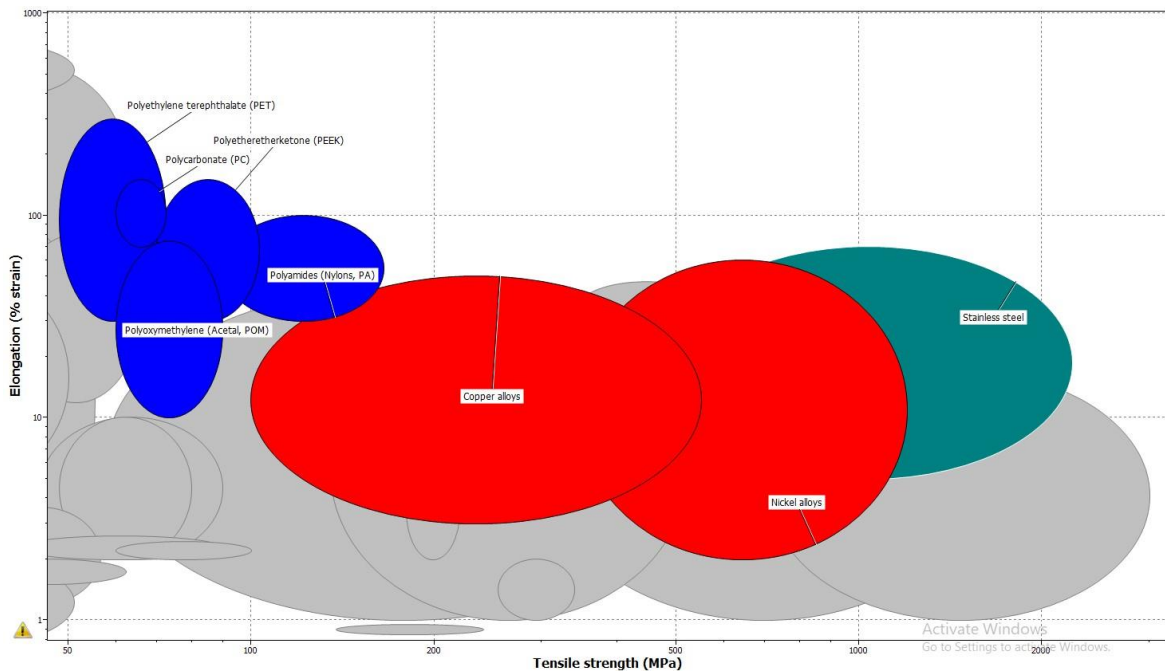
CES Edupack programmi kataloogist on graafikule 6.1 võetud nii tõmbetugevus ühikutes MPa ning voolepiir, mis on antud ühikutes MPa. Ideaalis on otsitud sellist materjali, mis oleks löökide suhtes elastne ehk plastset deformatsiooni ei teki. Esmalt vaatame materjali, mis puruneb saadud suurima väärtuse puhul.



Graafik 6.1 CES Edupack graafik materjaligruppidest: x-teljel in tõmbetugevus, y-teljel voolepiir

Tõmbetugevus on skaalal 50 kuni 500 MPa ning voolepiir on 10 kuni 1000 MPa. Siit joonistub selgelt välja mitu erinevat materjaligruppi. Punasega on märgitud mitte-ferriitsed metallid ning halli tooni on ferriitsed metallid. Kollasega on märgitud nitritid-, karbiidkeraamika teiste hulgas, pruuniga on märgitud polümeerkomposiidmaterjalid. Need kõik justkui sobivad tugevustingimustega.

Valikust välja jääb ränidioksiid roosana, sinisega märgitud termoplastid, tumesinisega termosetid ning rohelisega looduslikud materjalid. Sellel graafikul ei ole märgitud aga pikenemist protsentides, mis näitab paremini elastset deformatsiooni, palju inimene seda materjali suudab ise painutada. See on oluline just komponentide omavahelisel ühendamisel.



Graafik 6.2 CES Edupack graafik täpsematest materjaligruppideist: x-teljel tõmbetugevus, y-teljel pikenemine (elongation)

Pikenemist arvesse võttes graafikul 6.2 jäävad valikusse üksikud materjaligrupid: niklisulamid, vasesulamid, roostevaba teras, polükarbonaat (PC), polüetüleen tereflataat (PET), polüeteereeterketoon (PEEK), polüamiidid, polüoksümetüleen. Arvestades, et kuna materjali peab painutama komponentide ühendamisel, siis sulamid ja teras valikutesse ei sobi sellise konstruktsiooniga. Pikenemise protsent nendel metallidel on alla 70 %.

Metallid ning muud väikse pikenemise väärtusega materjalid sobiksid siis, kui konstruktsioonis oleks teistsugune ühendus kahe kesta vahel. Näiteks kui sisemise kesta alumine või ülemine osa koosneks veel eraldi kahest osast: sisemine kiht, mis jääb väliskestast sissepoole, ning välimine kiht, mis käib väliskesta peale. Need omavahel tuleks siis kinnitada nii, et välimine kest jääks selle ühenduse vahele. Siis peab tagama, et ühendus kergesti lahti ei tuleks. Teine variant on väliskesta ülemine või alumine osa teha omakorda kaheks erinevaks tükiks. Siis saaks teha sooned, mis lähevad üksteise sisse.

Samas on tegemist nii väikse konstruktsiooniga, et saab ka lihtsamalt kasutada polümeere, mis on programmi poolt kõik ka termoplastsed. Valides polümeereid peab tõdema, et vastupidavust ühe meetri kõrguselt kukkudes ei saa selle konstruktsiooniga tagada. Konstruktsioon piisavalt hea hetkel, sest et kuigi pingetel olid suured väärtused, esinesid need igal simulatsioonil ainult üksikutes kohtades. Suures plaanis ülejäänud mudelile nii palju pinget korraga ei mõjunud.

6.3 Polümeeride valik

Tabel 6.1 Sobivate polümeeride tegurid

Materjal	% Pikenemine painest	Tõmbetugevus [MPa]	Surumistugevus [MPa]	Tihedus [g/cm ³]	Hind [EUR/kg]
PCTA (täidiseta)	25 - 250	50.9 - 77.6	48.8 - 74.5	1.2 - 1.22	3.67 - 4.9
PEEK (täidiseta)	30 - 150	70.3 - 103	118 - 130	1.3 - 1.32	78.9 - 86.8
PSU (10% mineraaltäidis)	50 - 100	86.3 - 95	82.8 - 91.2	1.29 - 1.31	10.9 - 12.4
PSU (tulekindel)	50 - 100	87.9 - 100	125 - 276	1.24 - 1.25	11 - 12.6
PPC (täidiseta)	90 - 120	71 - 77	74.2 - 81.9	1.19 - 1.2	3.92 - 4.31
PC (kõrge viskoossus)	110 - 120	62.7 - 72.4	69 - 86.2	1.19 - 1.21	3.26 - 3.59
PC (madal viskoossus)	110 - 150	62.7 - 72.4	69 - 86.2	1.19 - 1.21	3.26 - 3.59
EVOH (täidiseta)	18 - 330	60 - 80	61.1 - 85.9	1.12 - 1.2	6.11 - 6.71

Polümeeridest, millel on kõige suurem pikenemine, jäi alles 8 erinevat kujutatud tabelis 6.1, millel on piisav pikenemine, see tähendab vähemalt 100 %. Tõmbetugevus aitaks paremini kaardistada valikut, kuid surumistugevus annab parema arusaama, mis materjal eelistatum võiks olla. Tulekindel PSU on väga heade omadustega tugevuse suhtes ning oleks mehhaaniliste omaduste poolest esimene valik.

Planeeritud konstruktsioonil on ruumala suurus CAD mudelil ümardatult 150 cm³, mille järgi saab arvuti nii eeldatava massi kui ka hinna 1000 tüki kohta. Hinna arvutamiseks peab massi korrutama hinnaga. Massi arvutamiseks peab ruumala korrutama tihedusega:

$$m = V * \rho \quad (1)$$

Tabel 6.2 Polümeeride tüki mass ning partii hind

Materjal	Mass [g]	1000 tk hind [EUR]
PCTA (täidiseta)	183	896,70
PEEK (täidiseta)	198	17186,40
PSU (10% mineraaltäidis)	196,5	2436,60
PSU (tulekindel)	187,5	2362,50
PPC (täidiseta)	180,0	775,80
PC (kõrge viskoossus)	181,5	651,59
PC (madal viskoossus)	181,5	651,59
EVOH (täidiseta)	18,0	1207,80

Tabelis 6.2 on valikust kõige soodsam on PC, mille madala viskoossusega materjal on mehaaniliselt eelistatum. PSU (tulekindel) hind on neli korda kõrgem, mis tundub palju, aga samas see materjal saab pingetega paremini hakkama. Olenevalt tootmise lihtsusest saab ühe või teise kasuks otsustada. Temperatuuride väärtustega sobivad mõlemad kasutusse toatemperatuuril.

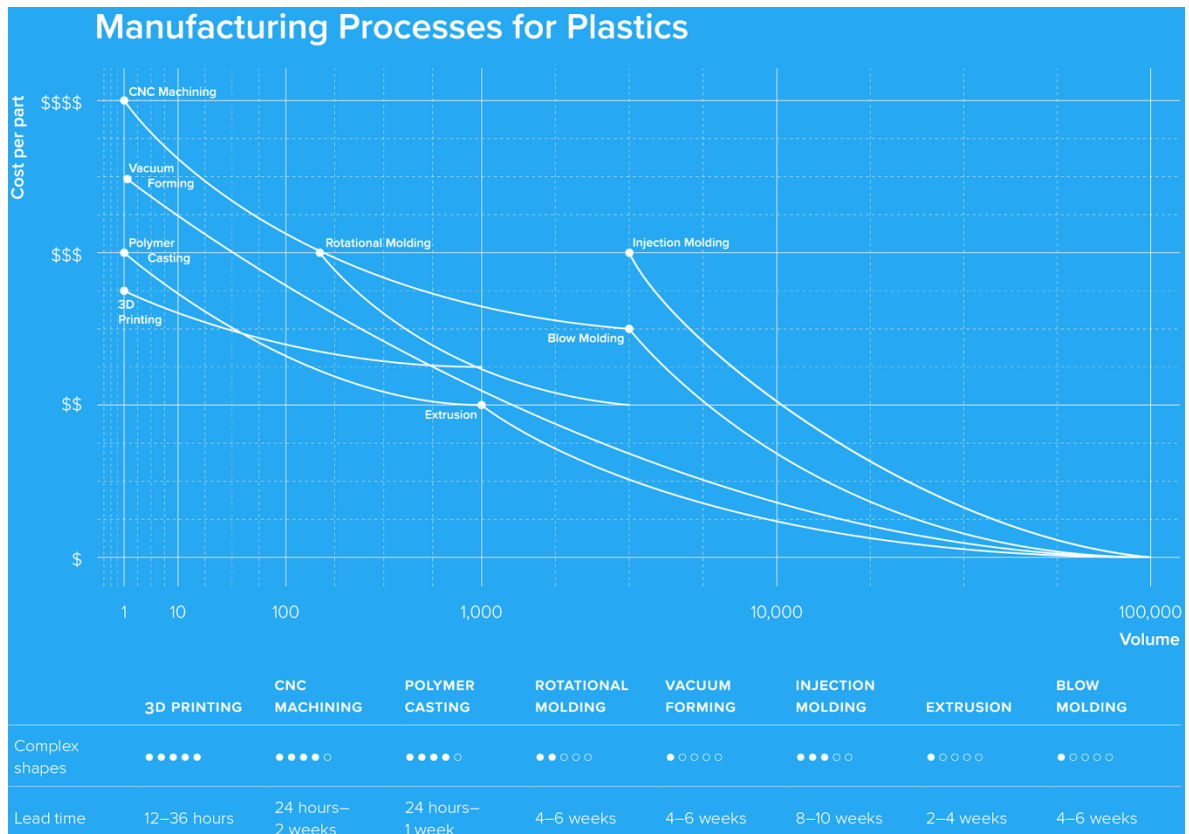
Teistel materjalidel ei ole omadused ja hind piisavad, et õigustaks enda väärtust. EVOH on kaks korda kallim, kuid surumistugevus nõrgem. PPC veidi kallim, kuid surumistugevus nõrgem. PSU mineraaltäidisega on väiksem surumistugevusega kui tulekindel PSU. PEEK on liiga kallis, PCTA on surumistugevus nõrgem.

6.4 Tootmine

Tulekindlast PSU materjalist on tooted peamiselt injektsioonvormimise või ekstrusiooni kaudu toodetud. See on tavapärase plastidele, kuid see nõuab eraldi vorme ning tähendab koostööd ettevõttega, kellel on sellised masinad. Tavapäraselt need masinad on üsna kallid ning valitud partii suurus ei õigusta masina hankimist. Lisaks sellele peaks vormid tootma, mis peavad täpselt õiged olema masstootmise jaoks. Puuduseks on see, et kuna tegemist on prototüübiga, siis oleks seda vaja eelnevalt testida ka füüsiliselt. See tähendab, et vormi kvaliteet tuleks madalam, kuid üksiku osa hind kõrgem.

PC madala viskoossusega materjalist on tooted peamiselt ekstrusiooni või erinevate vormimiste kaudu toodetud, nagu näiteks joonisel 6.1. Vormimiste alla kuuluvad paljud

erinevad tüübid: injektsioonvormimine, vaakumvormimine ja 3D printimine teiste hulgas. See teeb materjali üsna paindlikuks tootmise suhtes. 3D printimisega näeb tulemust kohe ning ei pea kolmandat osapoolt ootama, et saaks vormide kohta tagasisidet. See eeldab 3D printeri olemasolu, kuid nende hinnad on kordades väiksemad kui injektsioonvormimismasinad näiteks.



Joonis 6.1 Plastide erinevad töötlusviisid [21]

Seega esialgseks materjaliks sobib kõige paremini PC madala viskoossusega. See ei ole vastavuses tugevusarvutustega praeguse konstruktsiooniga, kuid 3D printides see on kõige lihtsam variant. Nii saab mitu erinevat konstruktsiooni välja printida ning katsetada ka füüsiliselt. Siis saab veenduda toote kvaliteedis enne masstootmisesse minemist. Kui toode on lõplikult valmis ning rahuldab kõiki soovitud nõudeid, siis võib kaaluda ekstrusiooni võimalusi tootmiseks.

6.5 Materjali valik komponendi alusel

Koostus on kokku 8 erinevat komponenti, mille seas on 4 erinevat materjali kasutusel. Kõige olulisem oli materjali valik just kestadel, sest selle tugevusarvutused olid kõige olulisemad. Alus peab olema kummist või sarnasel elastomeeril, mis takistaks liikumist

laminaatpindadel. Magnet peab olema magnetilisest materjalist ning võll võib olla tavalisest terasest. Adapteri materjal on Apple enda poolt kindlaks määratud, kuid tootja pole ise seda info laialdaselt avalikustanud, kuid mitme mitteametliku allika järgi on arvatavasti tegemist ka PC materjaliga [22].

Aluse materjalil nii olulisi töötingimusi ei olegi, peasi, et kaitseks libisemise vastu. CES Edupack programmist on lihtsamatest variantidest välja toodud 8 elastomeeri: IIR, EVA, NR, neopreen, isopreen, eIPU, silikoon ning SBR. Nendest kõige odavam on EVA, mida kasutatakse jooksujalatsitel taldadeks ning järgmine kõige odavam on NR. Maksimaalne kilohind on 1,75 EUR EVA materjalil ning 3,22 EUR NR materjalil. Aluse planeeritud ruumala on $4,24 \text{ cm}^3$ e ning materjali maksimaalne tihedus on vastavalt $0,95 \text{ kg/cm}^3$ EVA ning $0,93 \text{ kg/cm}^3$ NR, mis teeb 1000 tüki materjalikulu hinnaks 7,05EUR EVA materjaliga ning 12,71 EUR NR materjalil. Materjale peab testima füüsiliselt, kumb parema laminaatpinnal toimib, kuid omaduste poolest suurt vahet ei tundu olevat. EVA võib programmist saadud info alusel olla veidi libedam, kuid vajab katsetust. Simulatsioonides on samuti NR valikus, mistõttu jääb praegu eelisvalikuks. NR tootmismeetodite hulka kuulub ekstrusioon, lateksi kastmine, vormimine ning ka kalandreerimine CES Edupacki andmebaasi põhjal. Kuna mudel nõuab kindlat kuju, siis ekstrusioon või vormimine on kõige parem valik, hoides nii materjalikulu väiksena. Selle tootmisprotsess valik ei ole nii oluline, sest kuju on lihtne võrreldes kestadega.

Magnetite valikul on oluline, et tegemist magnetitel oleks kokkutõmbejõud nii tugev, et suudaks kestasid koos hoida, kuid et lubaks kesta avada ka. Välisel vaatlusel on Fuse Reel Side Winder tootel kasutusel neodüümmagnetid. CES Edupack pakub veel välja sulamid alumiiniumist, niklist ning koobaltist (AlNiCo), Metglasi amorfsed sulamid nii raua, koobalti kui ka raua ning nikli baasil, viimasena samariumkoobaltmagnetid. Samariumkoobaltmagnetid on kõige kallimad ehk 19,00EUR/kg, mis jätab need valikust välja. Amorfsed magnetid jäävad ka valikust välja enda amorfse omaduse tõttu. AlNiCo sulamid on magnetiliselt tunduvalt nõrgemad kui neodüümmagnetid: koertsitiivsus AlNiCo 8C sulamil on $1,18e5 \text{ A/m}$ ning neodüüm 24 magnetil on $5,97e5 \text{ A/m}$. Seega vahe on pea kümnekordne.

Kindla neodüümmagneti valik sõltub soovitud tugevusest. Originaalsel lahendusel on magnetid näiliselt piisava tugevusega. Enne magneti valimist peab mõõtma magnetomeetri või jõumõõturiga, mis magnetid on paigaldatud ning vastavate väärtustega uue valima. Programmis on läbivaks tiheduseks $6,01 \text{ kg/cm}^3$, ruumala tuleb mudelist $1,41 \text{ cm}^3$, hinnaks on 4,47 EUR/kg, mis teeb partii hinnaks orienteeruvalt

151,13EUR. Neodüümmagneteid toodetakse tihti paagutamisel, kuid lihtsam on tellida või osta mõne muu tootja käest õiges suuruses õige tugevusega magneteid.

Võll on väga pisike ning selleks sobib süsinikteras AISI 1020, mille tõmbetugevus on 490 MPa. Tihedus on $7,9 \text{ kg/cm}^3$, mudeli ruumala on $0,81 \text{ cm}^3$, hind on 0,486 EUR/KG, mis teeb partii hinnaks orienteeruvalt 3,12EUR. Lihtsaim tootmine on tõmbamine, peale mida peab õige pikkus jupid lõikama, millel järgneb pinnatöötlus.

6.6 Kaal ning materjalikulu hind

Tabel 6.3 Komponentide materjalid, partii mass ning hind

Nr	Komponendi nimetus koostus	Kogus	Materjal	Partii kaal [kg]	Partii hind [EUR]
1	1.1 Alus	1	NR	3.95	12.71
2	1.2 Alumine väliskest	1	PC madal viskoossus	181.5	651.59
3	1.3 Ülemine väliskest	1	PC madal viskoossus		
4	1.4 Alumine sisekest	1	PC madal viskoossus		
5	1.5 Ülemine sisekest	1	PC madal viskoossus		
6	1.6 Magnet	4	Neodüümmagnet	33.81	151.13
7	1.7 Võll	1	AISI 1020	6.41	3.12
Kokku partii kaal [kg]				225.67	
Üksiku partii kaal [g]				225.67	
Kokku partii materjalikulu [EUR]:				818.54	
Üksiku toote materjalikulu [EUR]:				0.82	

Solidworks programmist saadud CAD mudeli kogumass on 220.42 g, mis on väga täpne tulemus võrreldes lõpuks valitud materjalidega. Kestade massi on CAD mudelist 15.21 g raskem ning magnetid on 10.07 g kergemad, aluse ning võlli erinevus CAD mudelist on 2,5 %. See tähendab, et tugevusarvutustel oli mass üsna heas tasakaalus, kuid edasistel katsetel peaks sisestama valitud materjalide täpsed väärtused.

Tabelis 6.3 näidatud materjalikulu hind on ühe toote kohta üsna madal. Sellele lisandub veel tootmiskulu, mis sõltub partii suurusest ning lõplikust prototüübi versioonist. Sellele peab otsa liitma veel inseneri töökulu ning lõpuks kasumisoovi, et see ennast ära tasuks ka. Hinna suhtes ei saa öelda, kas toode tuleks odavam või mitte, kuid see ei olnud ka töö eesmärk hinnaga võistelda. See on üks võimalikest materjalivalikutest, mis praeguse töö käigus lõplik, kuid füüsilistel katsetel võib materjal muutuda, näiteks alus, mida on ka mainitud.

7. TULEMUSED

Tabel 7.1 Algselt püstitatud eesmärgid, valitud lahendus ning selle edukus

		Puudus	Lahendus	Edukus	Kommentaar
1	1	Kaablite kaitse	Suurem voolujoonelisus	Täielik	Uue lahenduse raadiused on suuremad
	2	Üleliigne kaabel	Kinnituskoht	Täielik	Loodud kinnitus
	3	Toote haprus	Paksem ja tugevam konstruktsioon	Osaline	Ei ole tagatud vastupidavus löögile 1 meetri kõrguselt, kuid on tugevam võrreldes originaaliga
	4	Libisemine alusel	Kummist põhi	Täielik	Lisatud kummist alus
	5	Keeramise jõuõlg	Jõuõlg suuremaks laiusega	Täielik	Kaks korda suurem jõuõlg
	6*	Lahti kerimine raske	Suurem voolujoonelisus	Osaline	Kaableid kaitstes sai lahendatud ka see probleem
2	1	Pikkus	Sama	Täielik	
	2	Laius	Sama	Täielik	
	3	Kõrgus	2.1 mm suurem	Arendatav	Ilma kummist aluseta oleks edukas, kuid see on tähtsam, seega peaks konstruktsiooni tunduvalt muutma, et oleks täielik edukus
3	1	Kaal	96.67 g raskem originaalist	Täielik	Saab veel massi vähendada
4	1	Tugevus kukkumisel 1 meetri kohta	Konstruktsioon ja materjal	Puudub	Otsustati konstruktsiooni ja materjali kasuks

Esimese tingimuse tabelis 7.1 all olid konstruktsiooni omadused, mida sai parandada modelleerimisega, millest viis tükki olid võtmetingimused ning kuues puudus sai lahendatud teiste lahenduste kõrvaltulemusena juhuslikult. Toote haprus jäi ikkagi puuduseks ning seda ei saanud lahendada täiel määral. Kui antud konstruktsioonis oli tugevusarvutused juba sellised, siis Fuse Reel Side Winder tootel ei saa olla paremad tulemused, sest konstruktsioon ise on paksem ja suurem mitmest kohast. Seda saab

järeldata näiteks simulatsioonist x-telgedel. Kui löögipind oleks veel väiksem, siis järelikult mõjuksid sinna veel suuremad pinged, mis kanduvad edasi ülejäänud mudelile.

Teise tingimuse all oli kabariitmõõtmel, mis pidid jääma samaks või väiksemaks. Pikkus ja laius sai kohe algul paika pandud ning see on hästi tehtud. Kõrgus on uuel mudelil suurem, sest konstruktsiooni all asub naturaalsest kummist alus, mis lisab 2 mm kõrgusele juurde, mis ongi sisuline vahe. Seda saab ära hoida, muutes adapteri hoidmise aluseid ehk mis adapterit tsentris hoiab kõrguse suhtes sisekestas. Kandvad talad peab liigutama ainult külgede peale, mis arvatavasti suurendab sisekesta välist raadiust, kuid sealt saab 1.5 mm kõrgusest kokku hoida. Lisaks on varuna jäetud CAD mudelile ruumi. Adapteri enda paksus on 28.6 mm, mis tähendab, et sisekesta kõrgus peab jääma sama. Alumisele väliskestale peab jääma kummiriba, mis võiks olla vähemalt 2 mm, kuid füüsilisel katsetusel võib ilmuda ka, et 1.5 mm sobib. Tähtis on selle kõrguse valimisel, et adapteri pind poleks kontaktis aluspinnaga. See tähendab, et keeratava osa ehk jõuõla kõrgus keeramisel võib jääda maksimaalselt 8.5 mm kõrguseks või peab teistsuguse jõuõla konstrueerima, mis oleks liigendiga ning rahuolekus oleks veel madalam kui algsel tootel. Kuna eesmärk oli libisemist takistada, mis oli tähtsam eesmärk, sealt need lisa millimeetrid tulid, siis kõrguse tingimust ebaõnnestunuks ei arvesta, aga lõplik toode saab ikkagi olla sama või väiksema kõrgusega.

Kolmanda tingimuse all oli kaal, mis valitud materjaliga tuli 96.67 g raskem algsest tootest. See teeb koos adapteri ja kaablitega kaaluks kokku 603.67 g, mis ei ole liiga palju. Samas peab mainima, et kogukaal on rohkem kui kolmandik sellest sülearvutist (MacBook Pro 13-tollise 2015 aasta alguse väljalase kaalub 1.58 kg [23]), mille jaoks adapter loodi, teiste sülearvutite hulgas. Kaalu tingimus on täidetud, see ei läinud liiga raskeks, aga kindlasti saab CAD mudelist teha sisselõikeid veel, et vähendada materjali. Sel juhul peab jälgima, et pinged liiga suureks ei lähe kui mudelil seinad väga õhukeseks lähevad, sest adapteri kaal jääb ikka samaks.

Neljandaks tingimuseks oli tugevusarvutustega uue mudeli vastupidavuse tagamine ühe meetri kõrguselt, mida ei õnnestunud teha. Arvestades, et uuel mudelil on nii mõnedki parameetrid paksemad, näiteks väliskesta sisemise ja välise ringi omavaheline kaugus ning sama väliskesta paksus, siis võib järeldata, et esialgsel tootel olid tulemused kehvemad. Selle mudeli võib ka nii toota, et vastaks tugevusarvutustele, kuid see tähendab, et peaks kas konstruktsiooni või materjali muutma. Alumiiniumsulamid on üsna tugevad ning selle materjalivalikuga oleks püstitatud

tugevus tagatud, aga see eeldab konstruktsiooni muutmist. Praeguse lahendusega kaaluks alumiiniumist toode koos adapteri ja kaablitega 857.2 g. Lahendust peaks muutma õhemaks, sest täpsemalt vanandatud alumiiniumsulami 7000 seeria tõmbetugevused võivad ulatuda 620 MPa, mis jätaks ka varuteguri tulemustele. Peale õhendamise ning materjali kokkuhoidmise nurkadest on vajalik lahendada uus kinnitussüsteem või siis teistsugune laagersüsteem, mis lubaks kaablid ümber sisekesta keerata. Samuti kui hõõruda üht alumiiniumist keha teise alumiiniumist kehaga, siis on selle hõõrdetegur üks suurimaid, mis järelkult nõuab väga head pinnatöötlust. Pinnatöötlus on oluline nii konstruktsiooni enda liikuvusele kui ka kaablitele, et kaablite eluiga ikkagi pikeneks. Tegemist on kontseptuaalse lahendiga.

Võrreldes Fuse Reel Side Winderi lahendusega, siis on see lahendus funktsionaalsuse alusel parem. Üleliigsed kaablid ei tekita segadust ning jätab parema mulje, mis läheb kokku Apple missiooniga. Kaablite lahti tõmbamisel on mudeli nurkadel suurem voolujoonelisus, mis vähendab pinget kaablitele ning pikendab eluiga. Toode ei libise lihtsalt laualt maha, vaid püsib tänu kummist alusele. Keeramisel on jõuõlga suurendatud, mis ei tundu esmapilgul oluline, kuid igapäevasel kasutamisel hakkab häirima.

Kabariitmõõtmetest on kõrgus suurem, kuid enam ei libise, mis on olulisem. 2 mm erinevust kaasas kandes märkavad vähesed kasutajad just igapäevasel kasutusel. Kumm all võib takistada libedust kotti või portfelli toodet pannes, kuid see on vajalik. Toode on ümardatult 100 g raskem, kuid adapteri ning sülearvuti kaal on juba kokku 1.96 kg, siis tavaline kasutaja ei märka, et kott või portfell oleks ümardatult 225 g raskem. Tugevusarvutuste suhtes on toode tugevam kui algne variant, kuid lõplikult ei ole kukkumiste vastu kaitstud ikkagi. Selle materjalivaliku ja mudeli juures on see siiski parim tulemus.

8. TINGIMUSED ENNE MASSTOOTMIST

Esimesena peab kõrguse muutma mudelil väiksemaks või samaks, mille viisidest on eelmise peatükis kirjutatud. See tähendab, et CAD mudelit peab hakkama sealt edasi arendama. Kui see on tehtud, siis peab tegelema tugevusarvutustega.

Teisena on tugevusarvutuste edukas tulemus võimalik, kuid küsimus seisneb, kas see probleem vajab üldse piisavat tähelepanu. Arvutuste lihtsustamiseks võib muuta kukkumise kõrgust keskmise laua kõrguse juurde. Keskmiseks lauaks võib valida Tallinna Tehnikaülikoolide töölaud loengusaalides, õpperuumides, raamatukogus ja muudes kohtades. Arvestades, et PC materjali surumistugevus on 86.9 MPa peab vastavalt arvutustele ehk üldse uue materjali valima.

Kolmandaks uue materjali valikul peab jälgima kaalu, et oleks piisavalt kerge ega teeks kasutaja elu liiga raskeks. Samal ajal peab olema materjaliga tagatud, et adapteri eluiga pikeneks. Kui PC ei anna soovitud tulemust, siis peab plastidest vaatama metallide, hübriid- ning komposiitmaterjalide poole.

Neljandaks, kui otsustada uue materjaligrupi kasuks, siis peab konstruktsiooni muutma, sest samasugust laagersüsteemi ei saa siis kasutada. See tähendab, et CAD mudelit peab veel edasi muutma, et tagada piisavalt sujuv keeramine.

Viiendaks enne masstootmist on oluline materjalid füüsiliselt läbi katsetada. Tootele peab tegema kukkumiskatsed keskmise laua kõrguselt igalt teljelt, et kinnitada arvutuste reaalsus. Sealjuures peab jälgima, et toode jääks terveks ning et adapter ei saaks liigselt viga. Liigne vigastus tähendaks toote teravat sisselõiget või muud ebamäärast deformatsiooni.

Kuuendaks lisaks kukkumiskatsetele peab materjali ka enne analüüsima. Selleks, et püsida kooskõlas Apple missiooniga, peab toode välja nägema ning ka füüsilisel katsumisel tunduma kui kõrgema klassi toode. Tootest peab jääma elamus, et tegemist on kvaliteetse lahendusega ning et igapäevaselt kasutades tekib mulje, et see on midagi lihtsat ning luksuslikku. Selle jaoks peab materjalid enne läbi proovima, mida ei saa ainult numbritega kirjeldada.

Seitsmendaks peab selgeks tegema vajaliku magneti tugevuse. Praeguses lahenduses on see katsetamata. Seda saab teha tugevusarvutusega ehk missugused jõud mõjuv sisekestade tsentris, kukkudes erinevatelt telgedelt. Teades seda jõudu saab valida magneti, mis oleks nendele jõududele piisav jõud vastupidises suunas.

Kaheksandaks on praegusel tootel palju materjali, sest eesmärk oli toode tugevamaks muuta. Lõplikul lahendusel on eesmärk kaal võimalikult väikseks saada. Seda saab teravamate kumeruste ning muude nurkade abil teha. Järgmine tase on sisestruktuuride loomine, kas samast materjalist või hoopis muust. Üheks võimalikuks mingid osad alumiiniumkärjega, kuid peab meeles pidama, et toode ei tohiks maksta üle 40EUR.

Üheksandaks peab üle vaatama FEM analüüsist tulnud riskikohad tabelis 5.3. Seekordses mudelis liiga suuri riskikohti ootamatutes piirkondades ei olnud, küll aga pinge oli suur. Pinge on teatavasti defineeritud suhtena, kus jõud mõjub mingile pinnale. Seega uuel CAD mudelil jõudu ei saa muuta, kuid pindala saab kindlasti optimeerida.

Kui kõik need tingimused on täidetud, mitte just selles järjekorras, siis on mudeli konstruktsiooni poole pealt piisavalt tehtud. Küsimuse alla jääb tugevusarvutuste olulisus, kas see õigustab vaeva potentsiaalse väärtusega. Kui muu konstruktsiooni ja materjaliga saab seda teha, siis kindlasti peab, kuid polümeerida materjaligrupist materjali valides see tundub ebatõenäoline. Peale seda on vaja masstootmine muuta võimalikult efektiivseks.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärk oli leida parem lahendus praegusele Apple MagSafe 2 60 W adapterile, kuidas seda kaasas kanda nii, et oleks mugav ning ka kaitseks adapterit ennast. See on oluline teema, sest et ülejäänud Apple tooted on innovatiivsed ning nende missioon on luua kasutajasõbralikke tooteid [1]. Adapteri praegune kasutus on jäetud kasutaja enda teha, mis paljudele tähendab kaablite takerdumist.

Esmalt defineeriti täpselt adapter ning selle kõik komponendid. Seejärel anti ülevaade kõikidest parimatest võimalustest, kuidas siiani on saanud adapterit kaasas kanda. Turul ei ole liiga palju häid erinevaid võimalusi, sest iga sellise tootega üritatakse kabariitmõõtmel madalad hoida, mis takistab erinevaid lahendusi ja kreatiivsust, mis on mõistetav. Adapter on õhukese sülearvuti jaoks loodud, seega kõik sellega seonduv peaks olema nii väike kui võimalik.

Turu ühed parimad valikud olid Fuse Reel Side Winder, Quirky PowerCurl ning ka MAGDOG lahendus, mis teistest on erilised. MAGDOG on küll vahva koera disainiga, kui kahjuks pikenduskaabli kasutust ei soodusta ning Quirky PowerCurl on väga algne variant mugavast lõpptootest. Seega võeti aluseks Fuse Reel Side Winder ning analüüsiti toote häid ja halbu külgi. Teades neid puudusi, defineeriti lõputöö eesmärgid, mille suunas töö on kirjutatud.

Neid tingimusi, mis on kajastatud tabelis 7.1, arvesse võttes pidi esmalt looma CAD mudeli tervest konstruktsioonist. Kokku tuli 8 erinevat komponenti: alus, ülemine ja alumine väliskest, ülemine ja alumine sisekest, magnetid, võll ja adapter ise. Adapteri mõõdud on originaaliga täpselt samad ning ei ole autori looming, vaid mudeli taasloomine, et saaks simulatsioone katsetada.

Peale koostu valmimist baseerus suur osa tööst tugevusarvutustel või FEM analüüsidel, sest üheks tingimuseks oli toote vastupidavus kukkumisele 1 meetri kõrguselt. Selle jaoks valiti 8 erinevat telge, millelt simulatsioone teostati SolidWorks tarkvara abil. Analüüsidel nende tulemuse väärtusi pandi kirja CAD suhtes riskikohad ehk kus on 3D mudelil kõige ohtlikumad kohad, mis edaspidiselt töötlemisel vajavad rohkem tähelepanu. Kuna ohtlikumad kohad olid täpselt seal, kus neid oli oodata, nii kestadevahelistes ühendustes kui ka võlli ühenduse juures, siis mudelil suuri muutusi ei tehtud.

Tugevusarvutustest lähtudes oli järgmine samm kõige optimaalsema materjali valimine. Arvestades töötingimusi leiti esmalt materjaligrupid, millest võiks toote kestad olla

valmistatud. Vaadates nii arvutusi kui materjale sai kiiresti selgeks, et sama konstruktsiooniga toodet ei saa valmistada nii, et tugevus kukkumise vastu oleks garanteeritud.

Seega oli kaks varianti: kas luua uus konstruktsioon, mis tähendaks uut ühendusviisi kestade vahel nt mõnda liuglaagrit, mis lubab kasutada ka metalle või jätkata sama konstruktsiooniga ning leida sobiv materjal, olles ohtlik kukkumiste suhtes.

See on keeruline kukkumise tugevust garanteerida, sest et kui materjal on metallide grupist, siis kaal kohe suureneks pea kahekordselt ehk adapter koos korpusega võib kaaluda peaaegu 1 kg. Arvestades lihtsust ning püüdes olla kasutajasõbralik, lisaraskus kotis ei ole see viis. Uut ühendusviisi otsides on kindlasti liuglaager üks eelistatumaid, mis jällegi suurendab parameetreid nii pikkuselt, laiuselt kui ka võib olla kõrguselt ning kindlasti kaalu suhtes.

Töö käigus tekkis arusaam, et sellist vajalikku materjali veel ei ole olemas, mis kataks kõik parameetrid, kuid praegune konstruktsioon on võimalikult lihtne ning kerge, seega otsustati plastide kasuks.

Materjalikulu hinnaks tuli marginaalne summa: ühe tüki kohta 0.82EUR. Tegemist on ikkagi üsna väikse detailiga, kuid kuna see on piisavalt keerukas, täpsemalt keerukas valmis toota, siis tootmiskulud võivad suurema summa võtta. Seda siin töös ei ole tehtud.

Kõik tingimused ja eesmärgid võeti uuesti käsile töö lõpus, et kuidas on sellega õnnestunud ning suures plaanis läks hästi. Kukkumiskindel toode ei ole, kuid sellega saab edaspidi tegeleda kas magistritöös või mujal. Muude tingimuste suhtes on töö edukas, sest vajalikke funktsionaalsust sai lisatud: kaablitel parem kaitse, vähem pinget kaablitel, lihtsam kokku ja lahku keerata, liigsed kaablid on väga hästi lahendatud. Üheks suurimaks osaks, mis takistab kukkumiste juhtumist, on kummist alus, mis otseselt löökide vastu ei aita, kuid vähendab riskantsete olukordade tekkimist.

Edasist käiku arvestades on põhiosa viimases peatükis antud ülevaade, mis oleks vaja enne teha, kui kaaluda masstootmist ning sellega seonduva välja arvestamist. Arvestades Apple üldist missiooni luua kõrgklassi tooteid, on suur tähtsus materjali katsetamisel inimese puudutusel, sest numbritega seda tulemust ei saa tunda, kas esemel on piisav kvaliteedifaktor või mitte.

Autor on enda tööga rahule jäänud, sest kaua on selle probleemi peale mõeldud ning nüüd on ka lahendatud selline versioon, mida ise meeleldi kasutada sooviks. Tugevuse garanteerimine jäi puudulikuks siin töös, kuid see on kontseptuaalne laheng ning nii kerge ja lihtsa konstruktsiooniga on sellist vastupidavust löökidele raske pakkuda. Küll aga pakub huvi alumiiniumsulamiga ning uue konstruktsiooni sama probleemi lahendus. Ühtlasi vastava seeria sülearvutid on ise alumiiniumsulamist valmistatud, sest see võib lisada esteetilise väärtuse lisaks.

Pikemas perspektiivis see lõputöö keskendus ainult 60 W adapterile, mis on spetsiifilisuse suhtes hea. Järgmine mudel võiks olla ühilduv ka teiste adapteri suurustega, mida Apple toodab, ning järgmine samm on lahendus loomine sülearvutitele, millel jookseb peal Microsoft Windows. Tavaliselt need arvutid on tehtud firmade Dell, Samsung, Lenovo etc poolt ning iga adapter on väga teistmoodi, seega on keeruline luua toodet, mis sobiks igale adapterile.

SUMMARY

The goal of this thesis was to find a better solution to current Apple MagSafe 2 60 W power adapter, in the sense of how to carry it the most comfortable and protective way. It is an important topic, because the rest of Apple products are innovative, and their mission is to create user-friendly products [1]. The current way how to use it has been left to the user, which for many means tangled cables.

First the power adapter and its components were defined in order to give an overview of the all the best solution, how a user can carry the adapter. There are not that many good solutions on the market, because every product like this needs to be small in size, which hinders different and creative solutions, which is understandable. The power adapter is made for a thin laptop, so everything which is connected to it should be as small as possible as well.

The best options on the market were Fuse Reel Side Winder, Quirky PowerCurl and also MAGDOG, which are more special than others. MAGDOG has a cool dog design but doesn't support the usage of an extension cable and Quirky PowerCurl is a very basic version of the comfortable to use end product. As a basis the thesis focused on the Fuse Reel Side Winder and analyzed its advantages and disadvantages. Knowing these shortcomings, the goals of the thesis were defined.

These goals and conditions are given in table 7.1, in order to meet the requirements, one had to first create a CAD model of the entire construction. In total there were 8 different components: the base, top and bottom outer shell, top and bottom inner shell, magnets, shaft and the adapter. The adapter has the original size and is not a creation by the author, it was only recreated to run simulations.

After completing the assembly, most of the thesis focused on stress analysis, because one of the requirements was to withstand a drop test from 1 m. For that 8 different planes were chosen to run simulations on SolidWorks. After the simulations all the critical points were marked, meaning where are critical areas, which may need more attention in further modelling. Since the critical points were exactly where expected, near the connection between two shells and by the shaft, then the model didn't receive big adjustments.

The next step was choosing the most optimal material. Knowing the conditions set by stress analysis the main goal was to find a material for the shells. Looking at both stress

analysis and materials it became quickly clear, that with this CAD model it is not possible to create a product, which would withstand the drop test.

So, there was 2 options: either to create a new construction, which would mean a new type of connection between the two shells, maybe some sort of bearing, which would also allow the use of metals or continue with the same construction and find the next best material, while being susceptible to falls.

It is difficult guarantee the strength against the falls, because if the material would be made out of metal, then the weight would almost double so the adapter with the protective case would weigh almost 1 kg. Considering simplicity and the desire to be user-friendly, this is a not a good way. Looking for a new connection type, such as a ball bearing is probably one of the most preferred, it would increase the total parameters in length, width, maybe height and definitely weight.

During this thesis it became clear, that the necessary material does not exist yet, which would cover all requirements, but since the current model is simple, light the thermoplastics were chosen as the material group.

The material cost was a marginal sum of 0.82EUR per piece. It is a pretty small detail, but since it is complex enough, specifically complex to manufacture, then the manufacturing costs may the large amount of a price. These costs have not been calculated in this work.

All requirements and goals were given a look in the end of the thesis to rate the success and in the big picture it was a success. The product does not withstand drop test, but it can be solved in master's thesis or elsewhere. Among other requirements the result is pleasing, because desired functionality was added: the cables have a better protection, less stress on cables, it's easier to wind up and apart, excess cables are very well organized. One big part which stops the product from falling is the rubber base, which doesn't strictly protect against a drop, but will decrease the likelihood of a risky situations.

Looking towards the next step, the last part of the main work has an overview what needs to be done, before to consider any mass production and calculating necessary steps for that. In regard to Apple's overall mission to create high-quality products, there is grave importance in material testing by a user, because one can decide with numbers, whether an object feels high-quality or not.

The author is pleased with his result, because this problem has been there and back again and finally it is solved in a way, that the user would like to use as well.

Guaranteeing strength against a drop was unsuccessful, but it is a conceptual solution, in order to create a product so light and with a simple construction it is difficult withstand these kinds of shocks. Although it is very fascinating, how this could be solved with aluminum alloys as material and solving the same problem. Also, the corresponding series of laptop are made of the same material, so it could add an aesthetic look to it.

On a further note, this thesis focused only on 60 W power adapter, which is well chosen in order to be precise. In the future however the next model should also be compatible with other sizes of adapter by Apple and the next step after that is figuring out what to do with laptops running Microsoft Windows. Usually computers running that system are made by Dell, Samsung, Lenovo etc. and each adapter is very different, so it's difficult to create a one-size-fits-all product.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Sinek, S. (2009). *Start with why: how great leaders inspire everyone to take action*. New York: Penguin Group. pp. 37-51.
- [2] Plug & socket types. *Worldstandards*. Loetud aadressil <https://www.worldstandards.eu/electricity/plugs-and-sockets/> 03.01.2020
- [3] Fowlerm, G.A., & Van Dam, A. (2018). Your Apple products are getting more expensive. Here's how they get away with it. *Washington Post*. Loetud aadressil <https://www.washingtonpost.com/technology/2018/12/06/your-apple-products-are-getting-more-expensive-heres-how-they-get-away-with-it/> 18.12.2019
- [4] Apple 60W MagSafe Power Adapter (for MacBook and 13-inch MacBook Pro). *Apple*. Loetud aadressil <https://www.apple.com/shop/product/MC461LL/A/apple-60w-magsafe-power-adapter-for-macbook-and-13-inch-macbook-pro> 03.01.2020
- [5] Power Adapter Extension Cable. *Apple*. Loetud aadressil <https://www.apple.com/shop/product/MK122LL/A/power-adapter-extension-cable> 03.01.2020
- [6] Apple iBook puck and brick chargers before MagSafe. *Wikimedia Commons*. Loetud aadressil https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apple_iBook_puck_and_brick_chargers_before_MagSafe.jpg 03.01.2020
- [7] Pilt halvasti keritud MagSafe adapterist. Loetud aadressil <https://robpegoraro.files.wordpress.com/2015/03/frayed-macbook-air-charger.jpg> 03.01.2020
- [8] Pilt õigesti keritud MagSafe adapterist. Loetud aadressil <http://cdn.osxdaily.com/wp-content/uploads/2013/12/wrap-full-magsafe-adapter.jpg> 03.01.2020
- [9] Pilt PowerPlay tootest. Loetud aadressil https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/710y%2BZAddLL._SL1500_.jpg 03.01.2020
- [10] Products. *Above the Fray*. Loetud aadressil <https://abovethefray.co/collections/all> 03.01.2020

- [11] Pilt FinTie tiitest. Loetud aadressil https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61rNU5W1OGL._SL1000_.jpg 03.01.2020
- [12] Pilt Quirky PowerCurl tootest. Loetud aadressil https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61aF3CT2uwL._SL1000_.jpg 03.01.2020
- [13] MAGDOG - The Bodyguard of your MagSafe! (85w). *Shapeways*. Loetud aadressil <https://www.shapeways.com/product/4PXHPG2ES/magdog-the-bodyguard-of-your-magsafe-85w> 03.01.2020
- [14] SIDE WINDER - MACBOOK CHARGER WINDER. *Fuse Reel*. Loetud aadressil <https://fusereel.com/collections/macbook-organizers/products/the-side-winder-macbook-charger-winder> 03.01.2020
- [15] Broken after less than 4 months. *Amazon*. Loetud aadressil https://www.amazon.com/gp/customer-reviews/R307AWMTE33XSZ/ref=cm_cr_arp_d_rvw_ttl?ie=UTF8&ASIN=B07BB8DFBW 03.01.2020
- [16] BROKEN. *Amazon*. Loetud aadressil https://www.amazon.com/gp/customer-reviews/R2G52J50EBNFI4/ref=cm_cr_getr_d_rvw_ttl?ie=UTF8&ASIN=B07BB8DFBW 03.01.2020
- [17] Broke inside my bag. *Amazon*. Loetud aadressil https://www.amazon.com/gp/customer-reviews/R3BLGSZDRCIUGS/ref=cm_cr_getr_d_rvw_ttl?ie=UTF8&ASIN=B07BB8DFBW 03.01.2020
- [18] Clunky and rewinding is a pain. *Amazon*. Loetud aadressil https://www.amazon.com/gp/customer-reviews/R2AYTFN4OXU1SN/ref=cm_cr_getr_d_rvw_ttl?ie=UTF8&ASIN=B07BB8DFBW 03.01.2020
- [19] Environmental engineering considerations and laboratory tests. (31.01.2019). *Part 2: Shock: MIL-STD-810H Method 516.8*
- [20] Kulu, P., Kübarsepp, J., Laansoo, A. & Veinthal, R. (2015). *Materjalitehnika I: Tehnomaterjalid*. Tallinn: TTÜ kirjastus.
- [21] Guide to Manufacturing Processes for Plastics. *formlabs*. Loetud aadressil <https://formlabs.com/blog/guide-to-manufacturing-processes-for-plastics/> 03.01.2020

- [22] Docto, D. & Dr.Cogdell. *University of California, Davis - Department of Design*.
Loetud aadressil <http://www.designlife-cycle.com/apple-5w-usb-power-adapter>
03.01.2020
- [23] Apple MacBook Pro 13-Inch "Core i5" 2.7 Early 2015 Specs. *Everymac*. Loetud
aadressil https://everymac.com/systems/apple/macbook_pro/specs/macbook-pro-core-i5-2.7-13-early-2015-retina-display-specs.html 03.01.2020
- [24] Ashby, M. CES Edupack 2013 andmebaas

LISAD

Lisa 1.1 Aluse joonis

Lisa 1.2 Alumise väliskesta joonis

Lisa 1.3 Ülemise väliskesta joonis

Lisa 1.4. Alumise sisekesta joonis

Lisa 1.5 Ülemise sisekesta joonis

Lisa 1.6 Magneti joonis

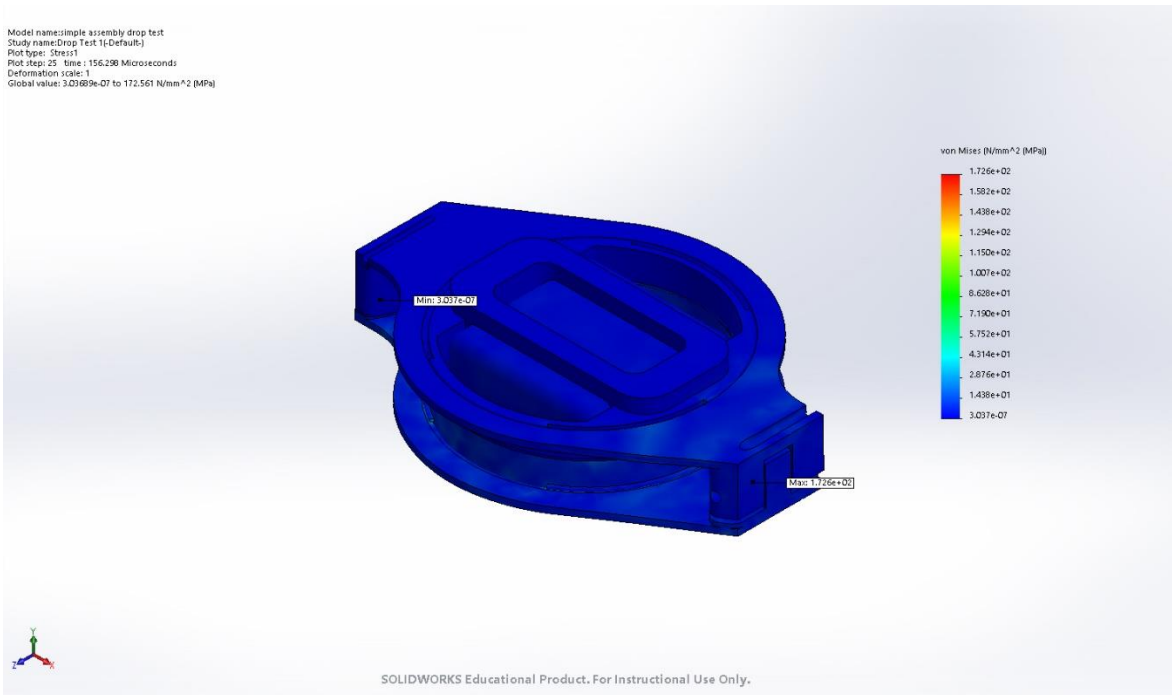
Lisa 1.7 Võlli joonis

Lisa 1.8 Adapteri joonis

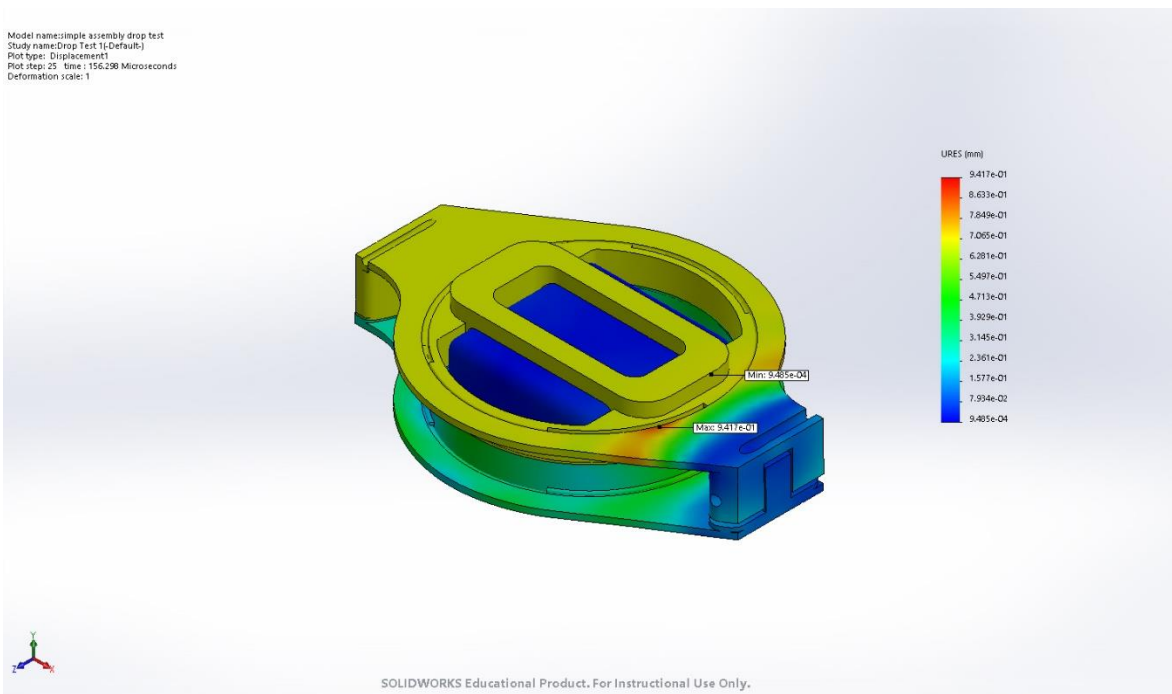
	Leht/Lehti: 1/1 Mõõtkava: 1:2	Bakalaureusetöö	1.8 Adapter
	TAL TECH INSENERITEADUSKOND	Koostaja: Oskar Orglaan Juhendaja: Priit Põdra	01.01.2020
	Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	MagSafe 2 60 W adapteri kaitsekorpuse optimaalne konstruktsioon	

Lisa 2.1 Koostu joonis

Lisa 3.1 Simulatsiooni tulemused: piki y-telge ülevalt alla, kontakt tekib alumise küljega

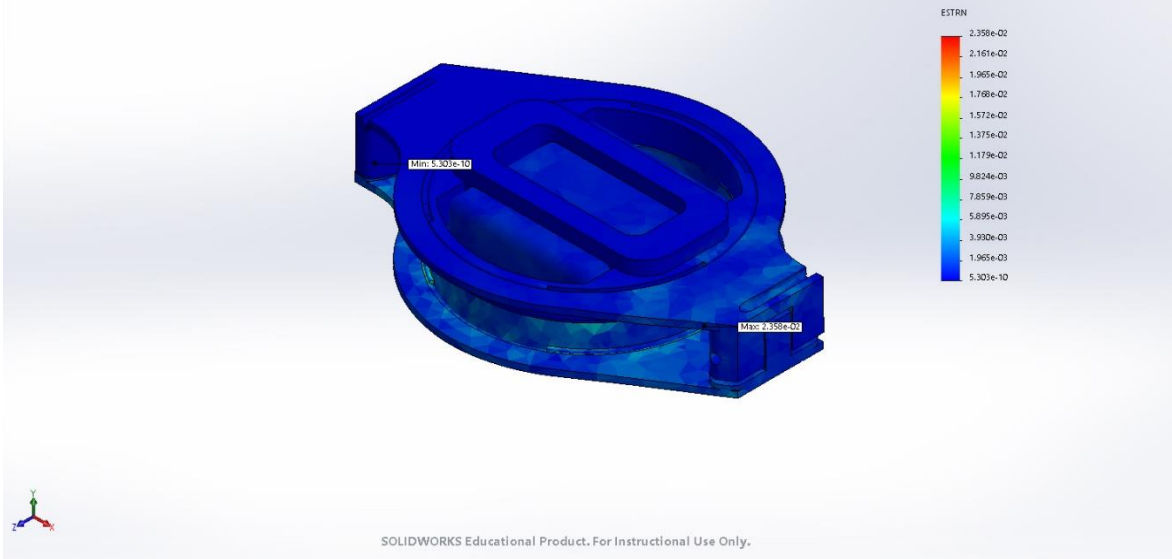


Joonis 3.1.1 Pingeintensiivsus (von Mises pinge)



Joonis 3.1.2 Deformatsioon (Displacement)

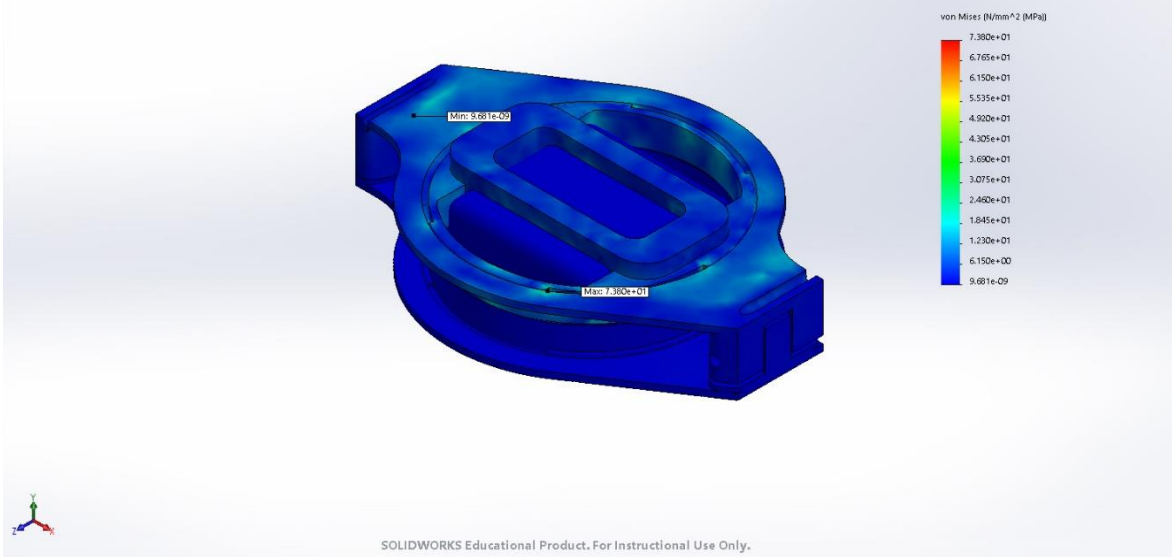
Model name:simple assembly drop test
Study name:Drop Test 1(-Default-)
Plot type: Strain1
Plot steps: 25 time : 156.298 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 5.30319e-10 to 0.0235782



Joonis 3.1.3 Ekvivalentne pinge (Equivalent strain)

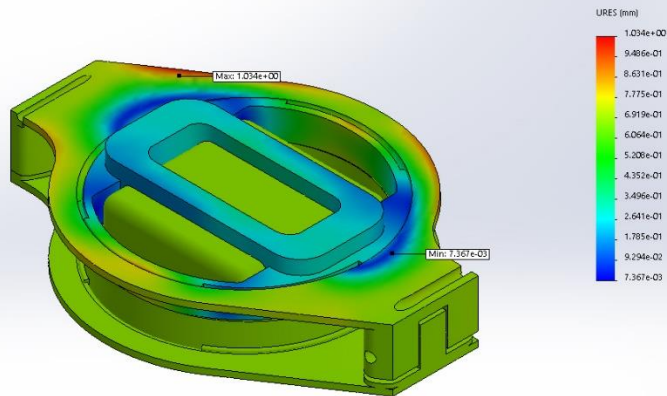
Lisa 3.2 Simulatsiooni tulemused: piki y-telge alt ülesse, kontakt tekib ülemise küljega

Model name:simple assembly drop test
Study name:Drop Test 2(-Default-)
Plot type: Strain1
Plot steps: 25 time : 156.298 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 9.68069e-09 to 73.8028 N/mm² (MPa)



Joonis 3.2.1 Pingeintensiivsus (von Mises pinge)

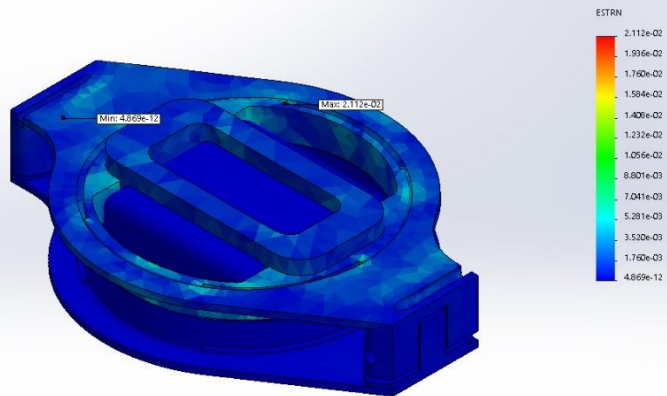
Model name:simple assembly drop test
Study name:Drop Test 2(Default)
Plot type: Displacement
Plot steps: 25 time : 156.298 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 0.00736696 to 1.03421 mm



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Joonis 3.2.2 Deformatsioon (Displacement)

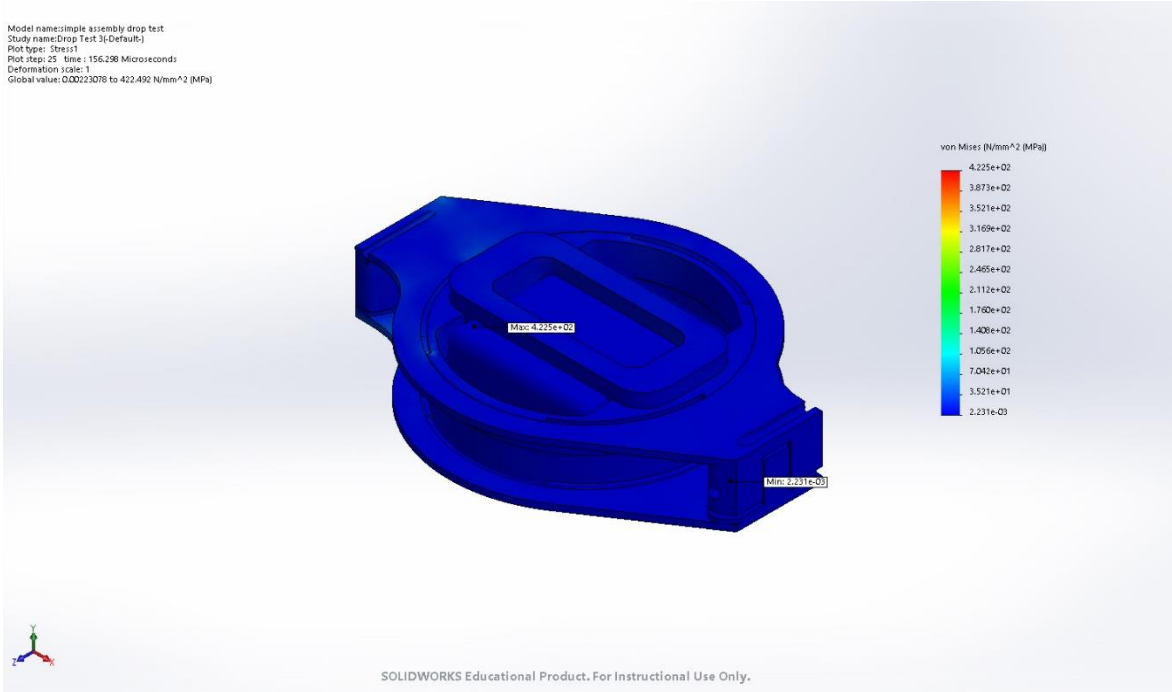
Model name:simple assembly drop test
Study name:Drop Test 2(Default)
Plot type: Strain
Plot steps: 25 time : 156.298 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 4.86921e-12 to 0.021122



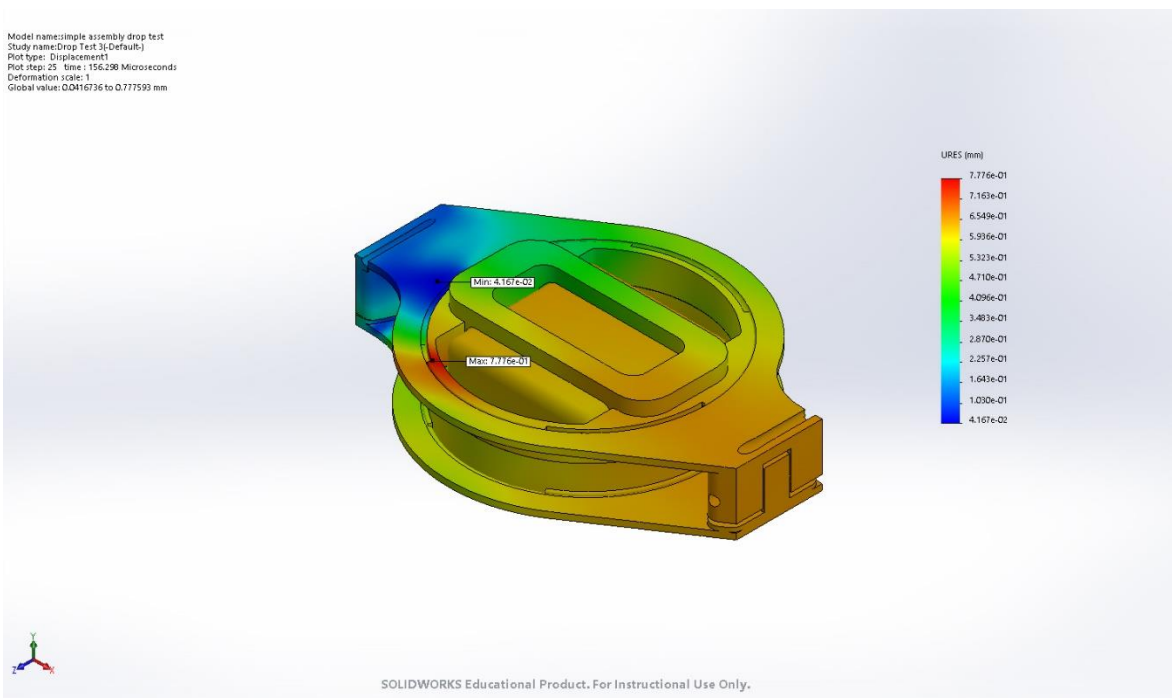
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Joonis 3.2.3 Ekvivalentne pinge (Equivalent strain)

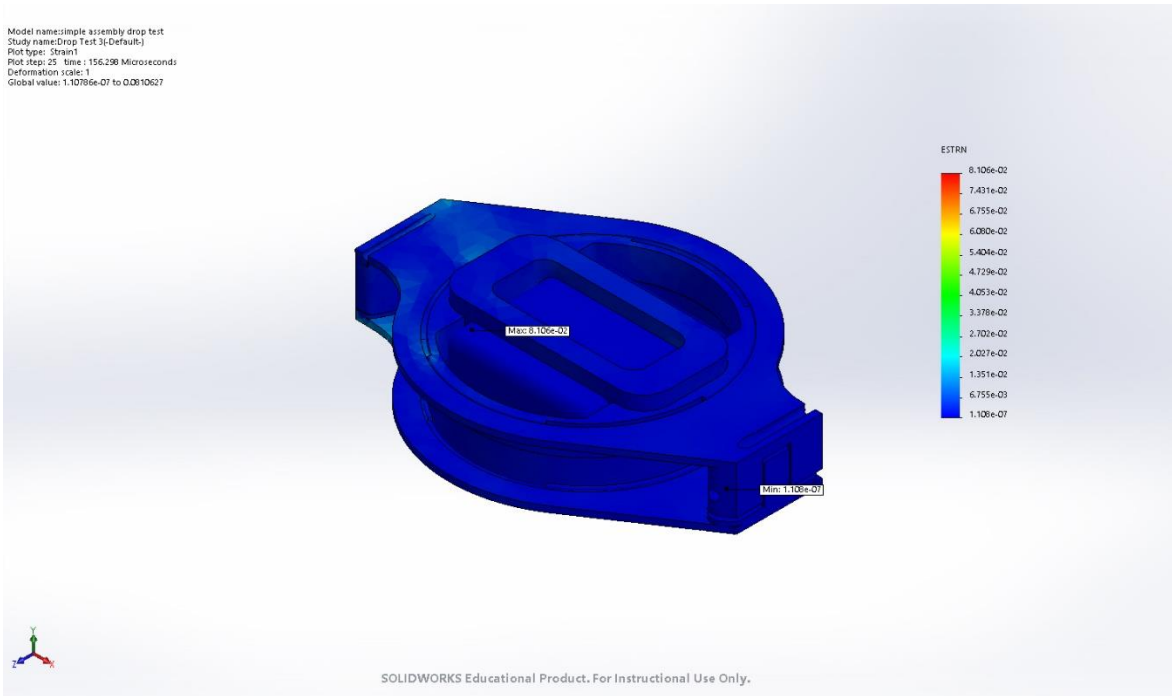
Lisa 3.3 Simulatsiooni tulemused: piki x-telge paremalt vasakule, kontakt tekib sulgemiskonstruktsiooni poolse küljega



Joonis 3.3.1 Pingeintensiivsus (von Mises pinge)

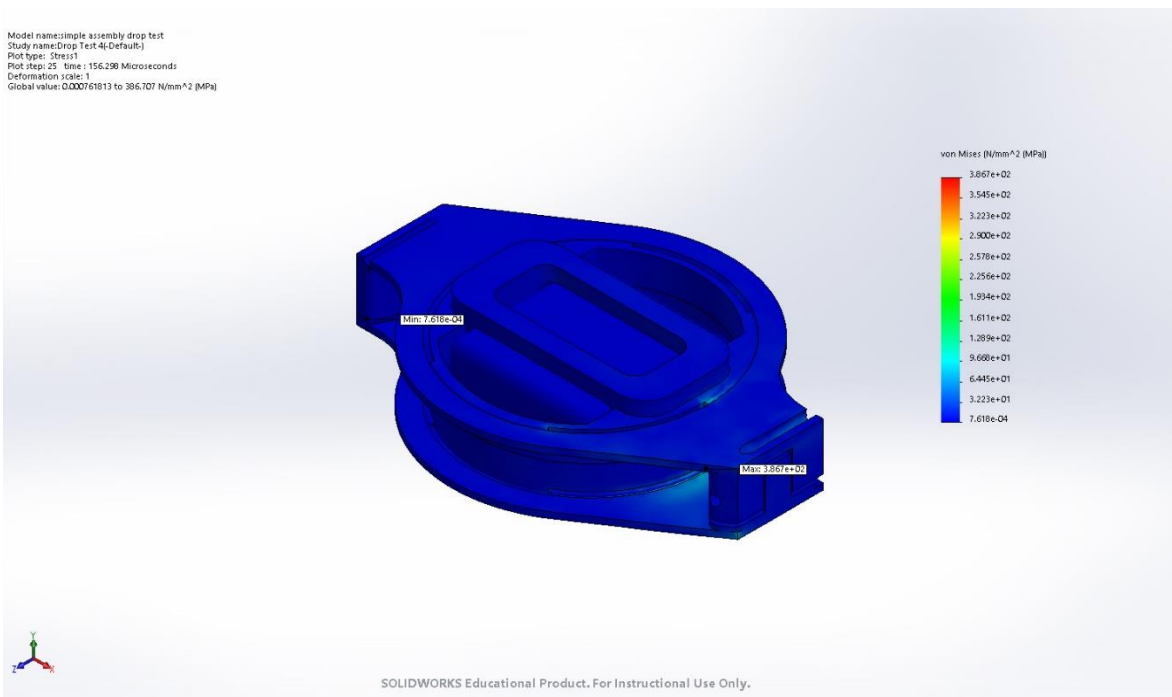


Joonis 3.3.2 Deformatsioon (Displacement)



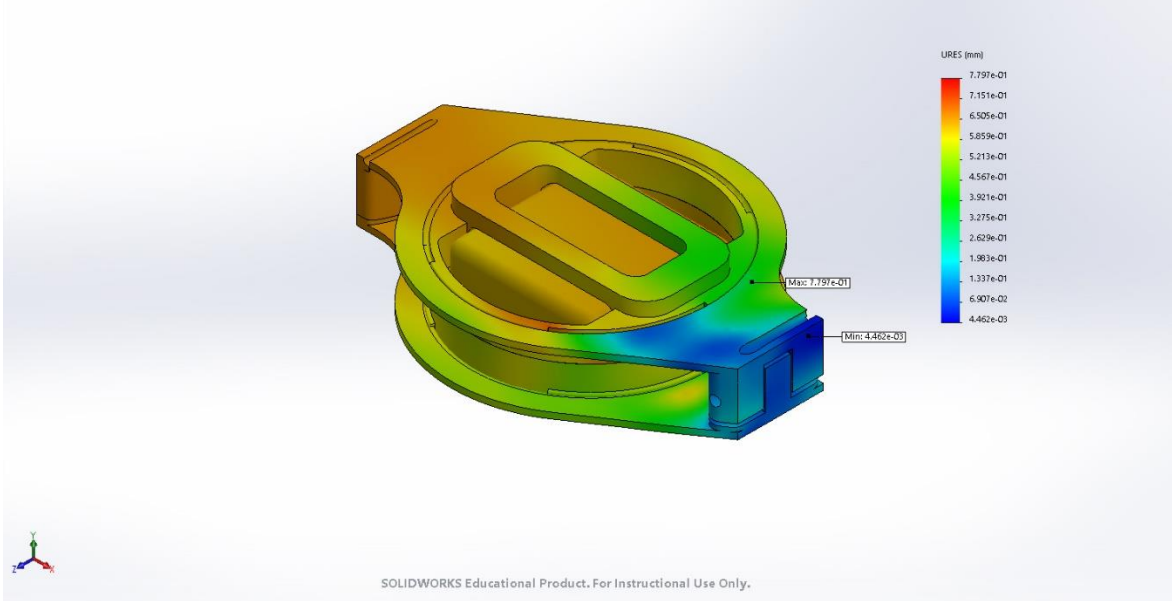
Joonis 3.3.3 Ekvivalentne pinge (Equivalent strain)

Lisa 3.4 Simulatsiooni tulemused: piki x-telge vasakult paremale, kontakt tekib sulgemiskonstruktsiooni poolse küljega



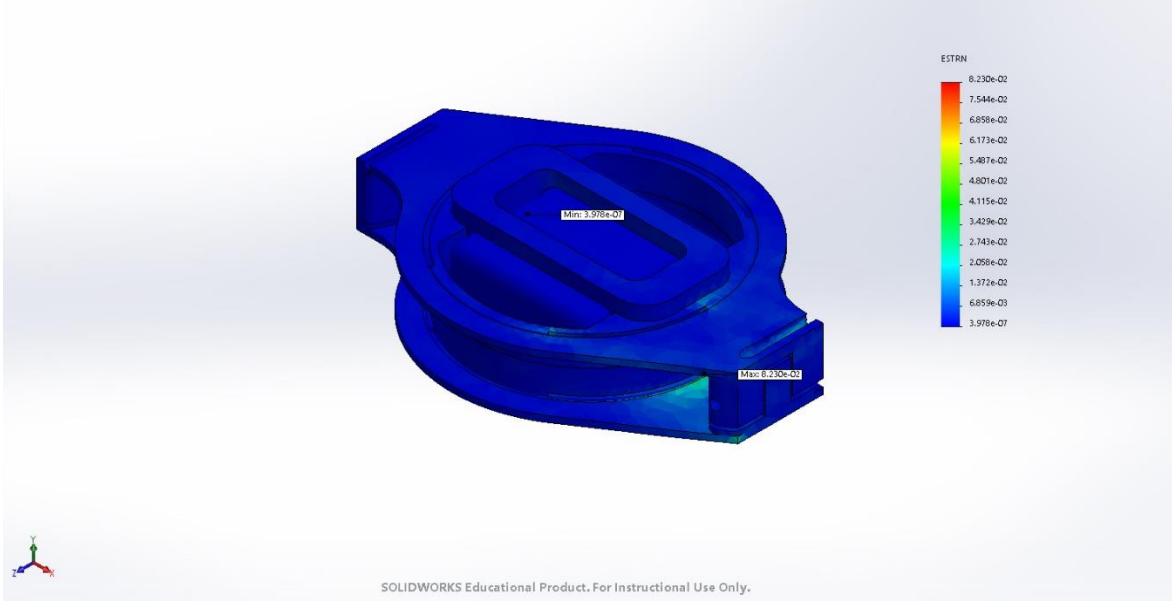
Joonis 3.4.1 Pingeintensiivsus (von Mises pinge)

Model name:simple assembly drop test
Study name:Drop Test 4(Default-)
Plot type: Displacement
Plot step: 25 time : 156.298 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 0.00446247 to 0.179706 mm



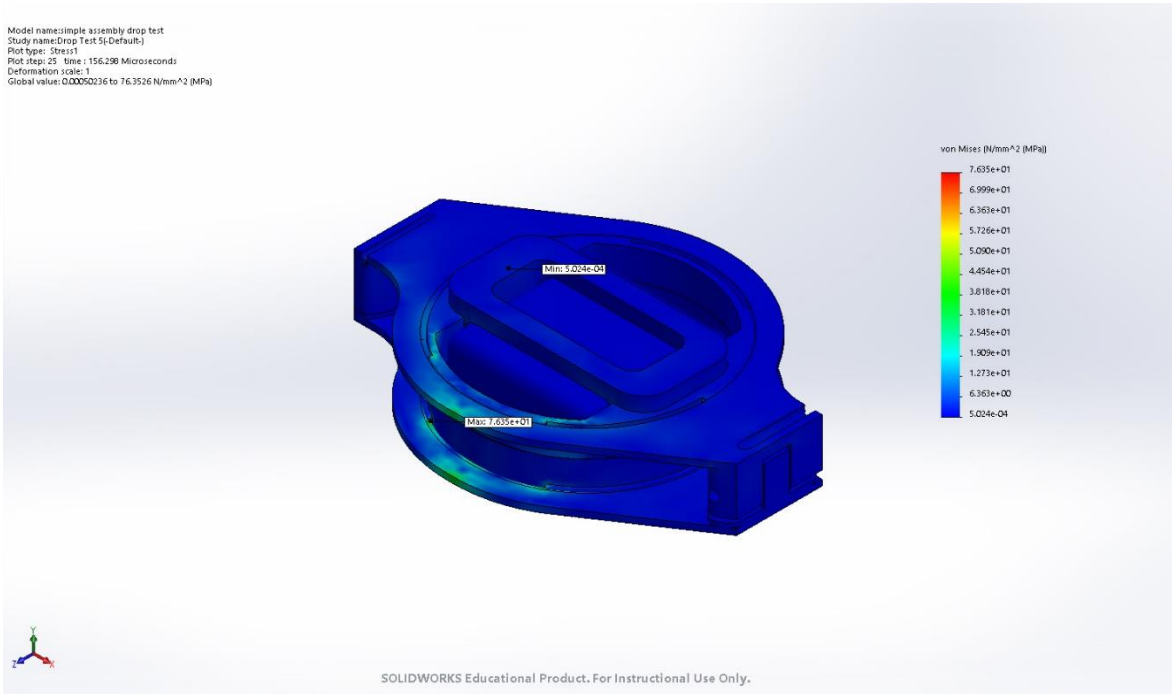
Joonis 3.4.2 Deformatsioon (Displacement)

Model name:simple assembly drop test
Study name:Drop Test 4(Default-)
Plot type: Strain
Plot step: 25 time : 156.298 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 3.978e-07 to 0.0823004

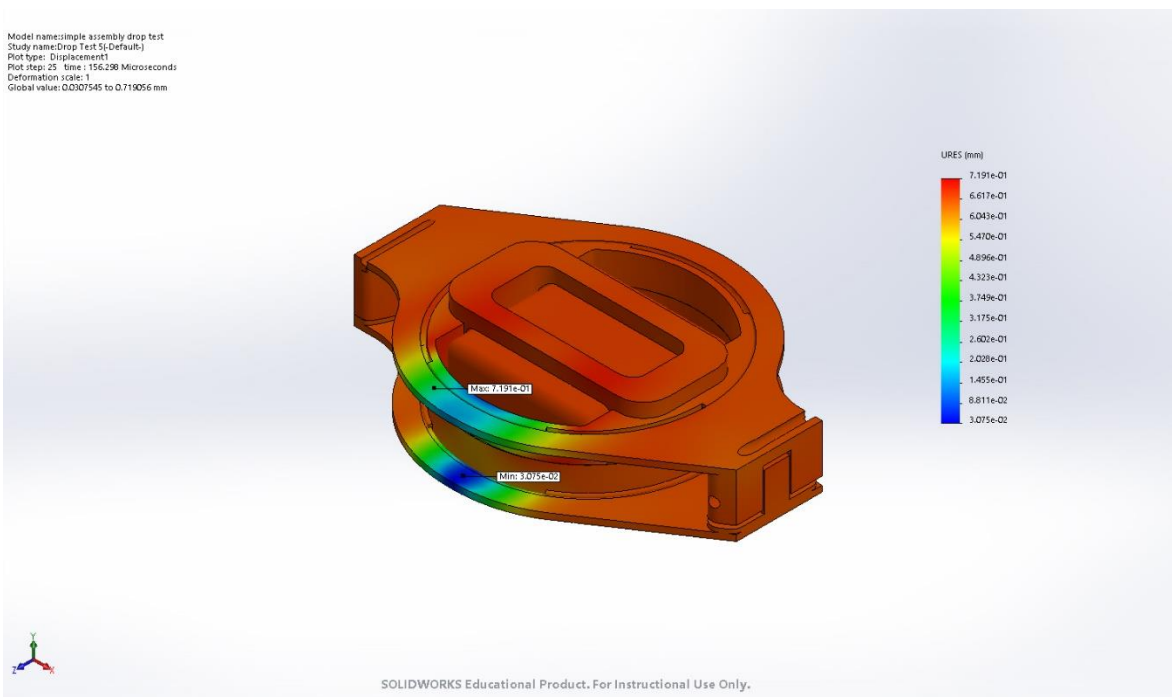


Joonis 3.4.3 Ekvivalentne pinge (Equivalent strain)

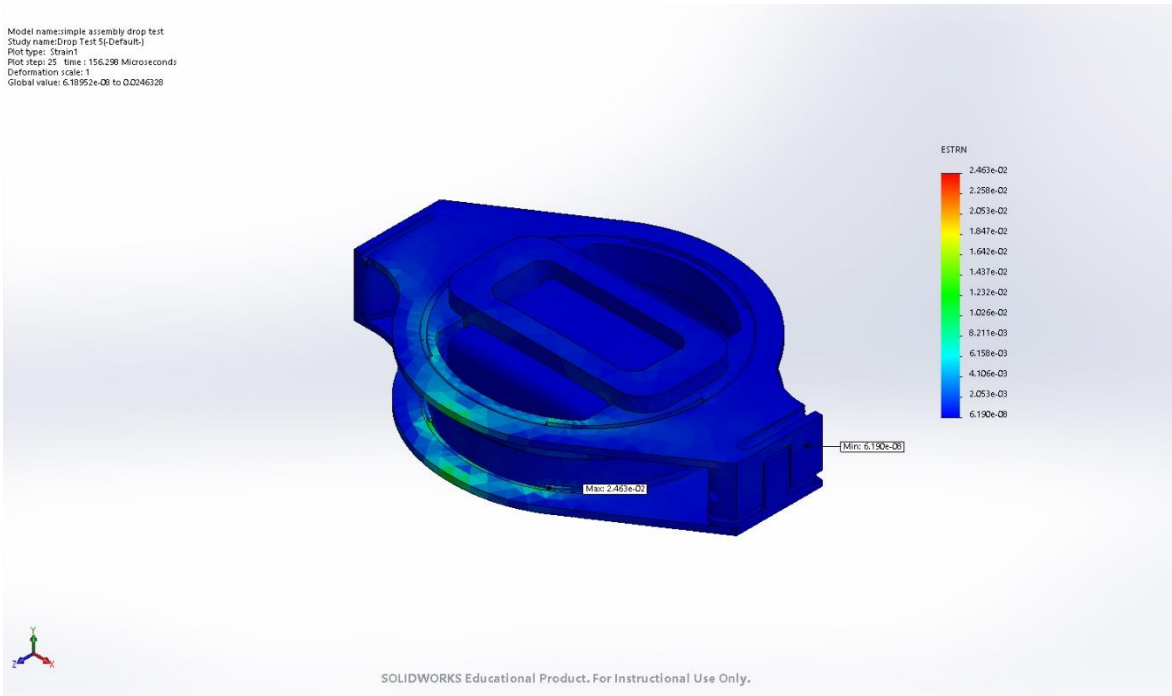
Lisa 3.5 Simulatsiooni tulemused: piki z-telge tagant ette, kontakt tekib küljega, mis asub pikenduskaablist kõige kaugemal



Joonis 3.5.1 Pingeintensiivsus (von Mises pinge)

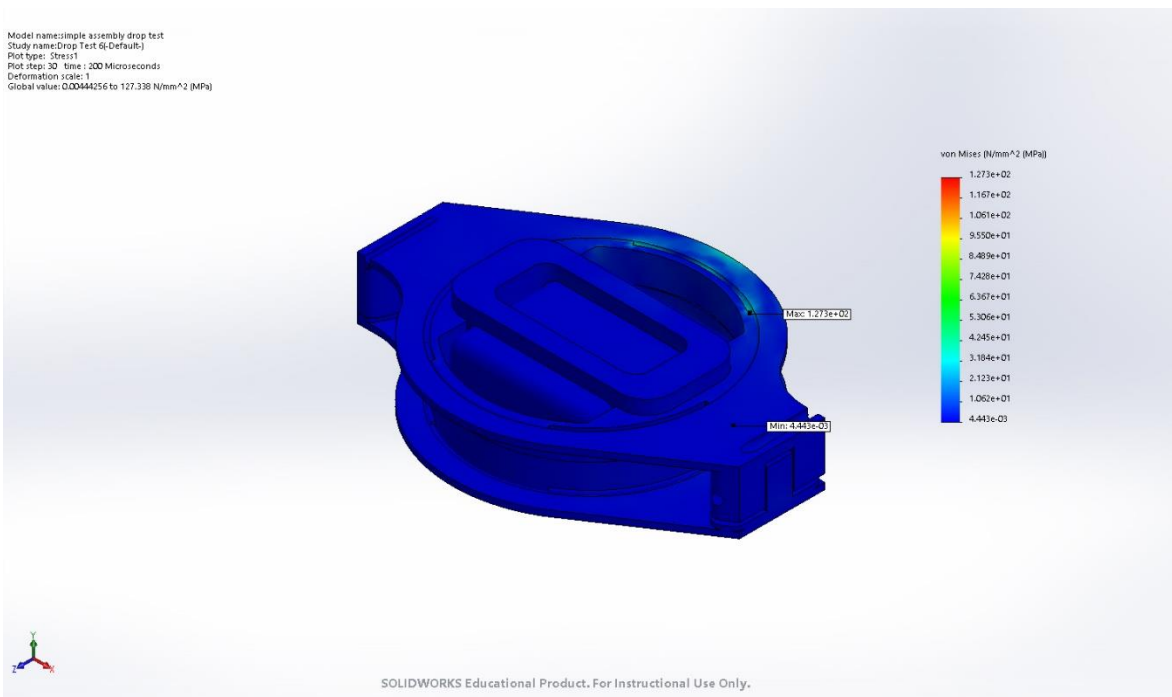


Joonis 3.5.2 Deformatsioon (Displacement)



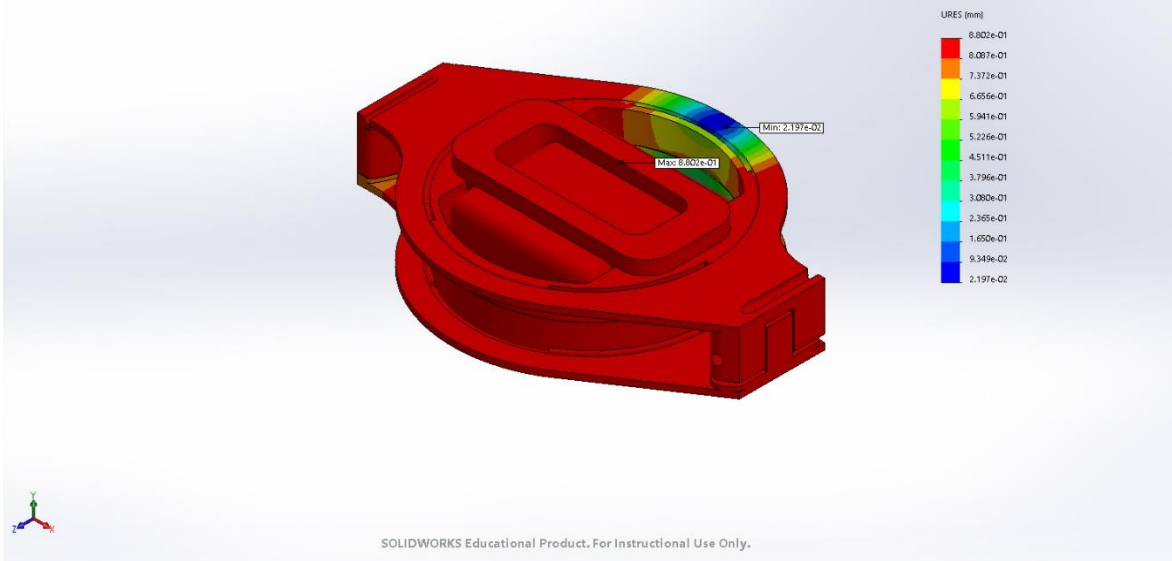
Joonis 3.5.3 Ekvivalentne pinge (Equivalent strain)

Lisa 3.6 Simulatsiooni tulemused: piki z-telge eest taha, kontakt tekib küljega, mis asub pikenduskaablil kõige lähemal



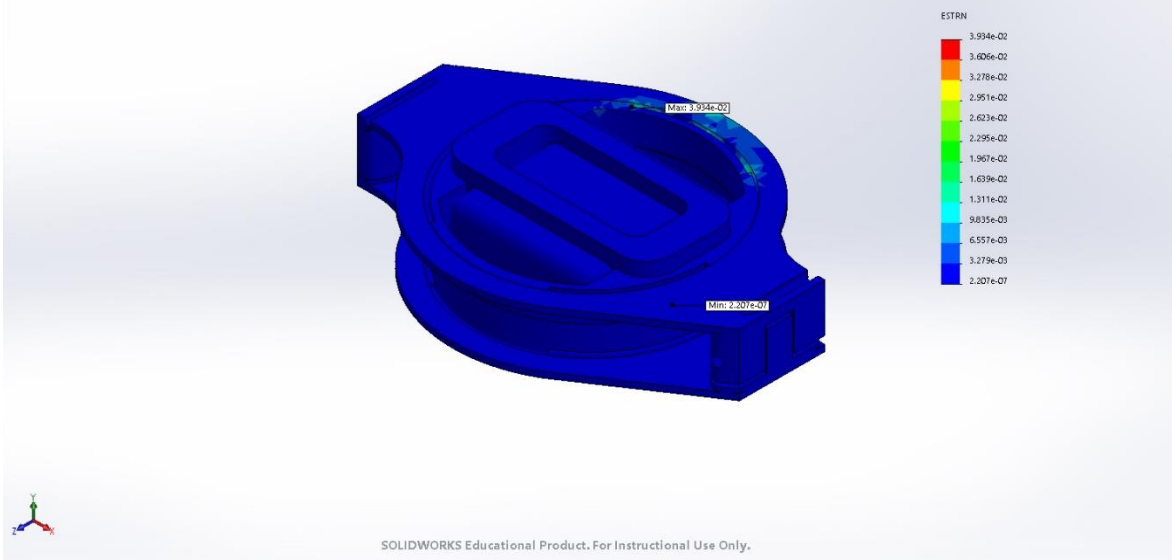
Joonis 3.6.1 Pingeintensiivsus (von Mises pinge)

Model name:simple assembly drop test
Study name:Drop Test (6-Default-)
Plot type: Displacement1
Plot step: 30 time : 200 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 0.0219697 to 0.880204 mm



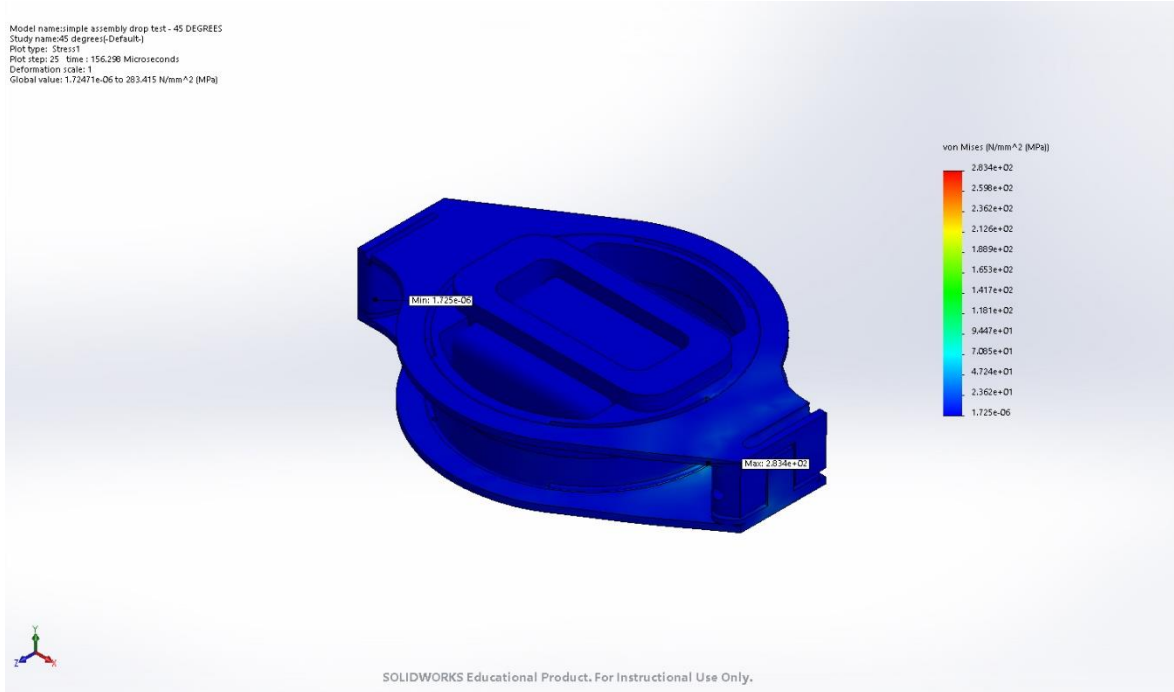
Joonis 3.6.2 Deformatsioon (Displacement)

Model name:simple assembly drop test
Study name:Drop Test (6-Default-)
Plot type: Strain1
Plot step: 30 time : 200 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 2.20729e-07 to 0.0393409

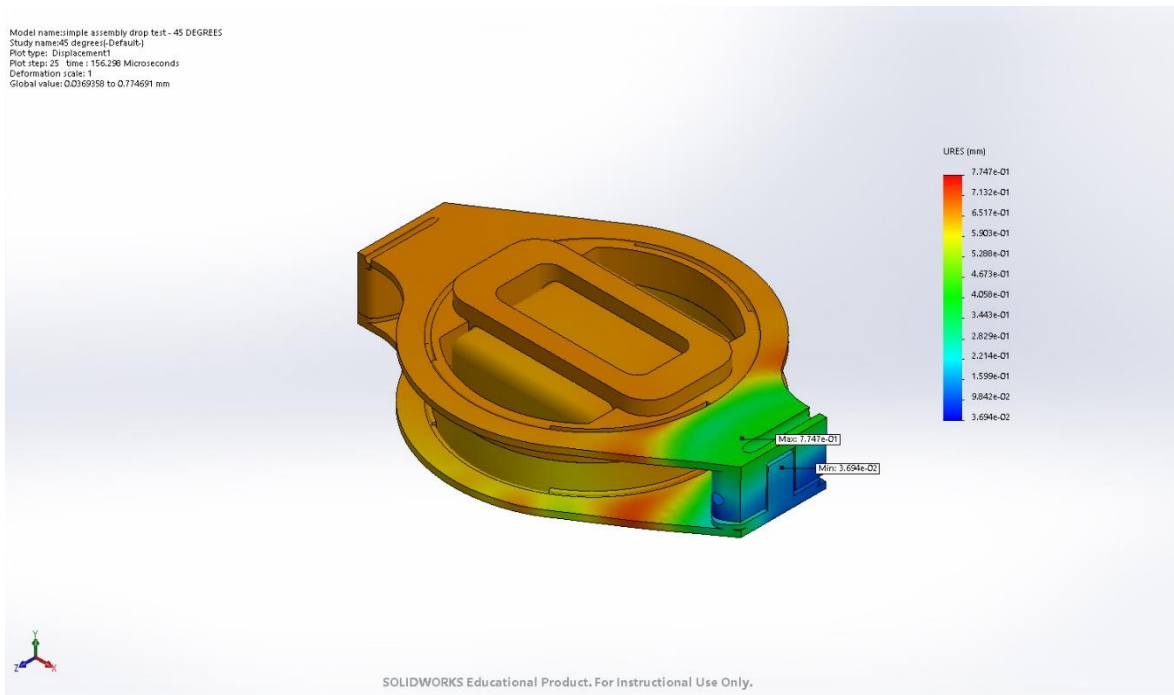


Joonis 3.6.3 Ekvivalentne pinge (Equivalent strain)

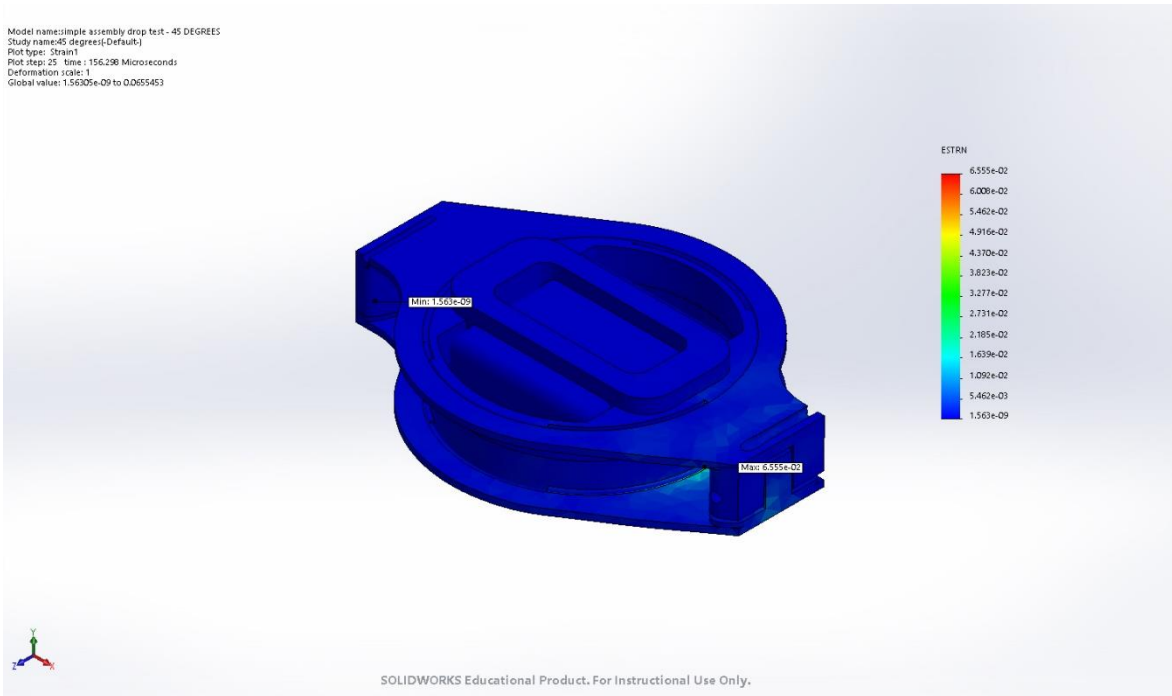
Lisa 3.7 Simulatsiooni tulemused: piki y-telge ülevalt alla, lahendus tõstetud 45 kraadi, kontakt tekib võlli poolal alumise nurgaga



Joonis 3.7.1 Pingeintensiivsus (von Mises pinge)

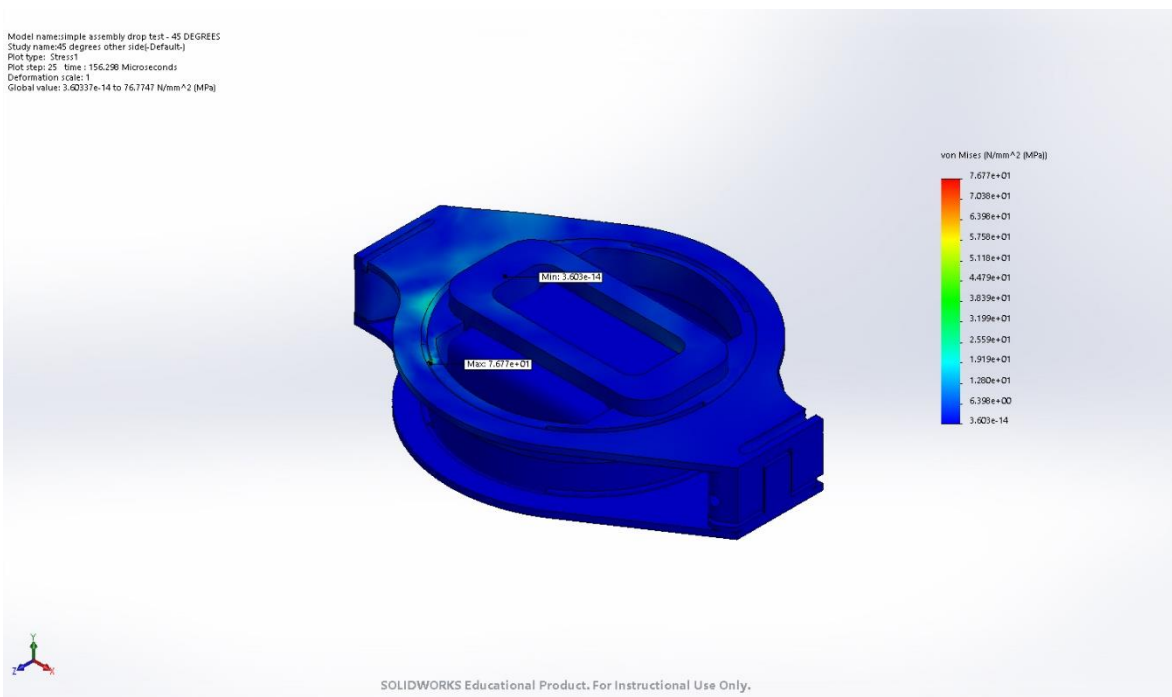


Joonis 3.7.2 Deformatsioon (Displacement)



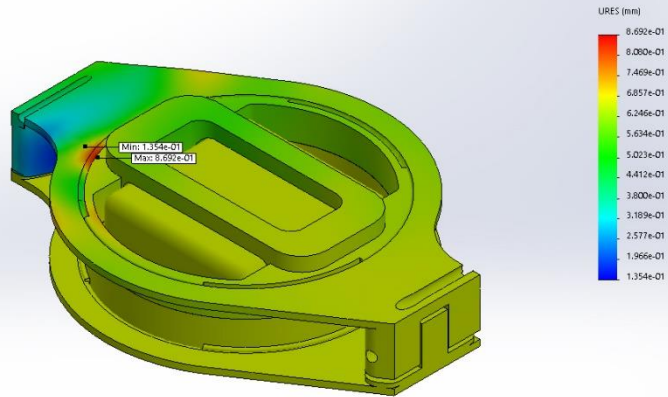
Joonis 3.7.3 Ekvivalentne pinge (Equivalent strain)

Lisa 3.8 Simulatsiooni tulemused: piki y-telge alt ülesse, lahendus tõstetud 45 kraadi, kontakt tekib sulgemiskonstruktsiooni ülemise nurgaga



Joonis 3.8.1 Pingeintensiivsus (von Mises pinge)

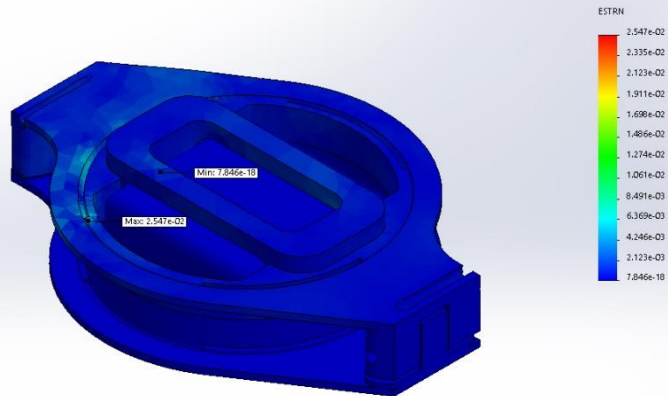
Model name:simple assembly drop test - 45 DEGREES
Study name:45 degrees other side(Default)
Plot type: Displacement
Plot step: 25 time : 156.298 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 0.135421 to 0.869183 mm



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Joonis 3.8.2 Deformatsioon (Displacement)

Model name:simple assembly drop test - 45 DEGREES
Study name:45 degrees other side(Default)
Plot type: Strain
Plot step: 25 time : 156.298 Microseconds
Deformation scale: 1
Global value: 7.846e-18 to 0.0254744



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Joonis 3.8.3 Ekvivalentne pinge (Equivalent strain)