



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

MODULAARSE JA KOMPAKTSE SAHTLISÜSTEEMI ARENDUS

DEVELOPMENT OF A COMPACT AND MODULAR DRAWER SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Christopher Juul

Üliõpilaskood 192212MATM

Juhendaja: Kaimo Sonk, lektor

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneriplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"25" mai 2021.

Autor: allkirjastatud digitaalselt
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"25" mai 2021.

Juhendaja: allkirjastatud digitaalselt
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Christopher Juul

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Modulaarse ja kompaktse sahtlisüsteemi arendus,

mille juhendaja Kaimo Sonk,

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.

25.05.2021

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

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Christopher Juul, 192212MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika
Juhendaja(d): Kaimo Sonk, lektor, 6203267
Konsultant:

Lõputöö teema:

Modulaarse ja kompaktse sahtlisüsteemi arendus
Development of a compact and modular drawer system

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Luua kliendi nõuetele vastav toote kontseptsioon analüüsivaid ja võrdlevaid meetodeid kasutades
2. Projekteerida kontseptsiooni ja tootedisaini põhjal toodetav ja töötav toode.
3. Kontrollida ja analüüsida arendatava toote nõuetele vastavust ohtlikele olukordadele, kasutades selles tugevusanalüüsi ja -arvutusi.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Turu-uuringu ja esmase tootekontseptsiooni loomine	01.03.2021
2.	Tenilise kontseptsiooni loomine	01.04.2021
3.	Projekteerimine, tugevusanalüüside koostamine	01.05.2021
4.	Töö vormistamine, trükkimine ja köitmine	25.05.2021

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "26" mai 2021.a

Üliõpilane: Christopher Juul allkirjastatud digitaalselt "25" mai 2021.a
/allkiri/

Juhendaja: Kaimo Sonk allkirjastatud digitaalselt "25" mai 2021.a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme "....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÖNA	8
Lühendite ja tähiste loetelu	9
1. SISSEJUHATUS.....	10
2. TURU-UURING.....	12
2.1 Sihtrühma alternatiivsed tooted	12
2.1.1 Akro-Mils Plastic Parts Storage Hardware and Craft Cabinet	14
2.1.2 IRIS USA LEGO 6-Case Workstation and Storage Unit	16
2.1.3 Parts box	18
2.2 Teiste tooterühmade tooted, mille funktsioonid ja lahendused kattuvad.....	20
2.2.1 Plastic Drawer Organizer.....	20
2.3 Turu-uuringu kokkuvõte.....	22
3. TOOTE SPETSIFIKATSIOON.....	24
3.1 Toote esialgsed nõuded ja soovid	24
3.1.1 Turu-uuringuga selgunud nõuded ja soovid	24
3.1.2 Lõplikud nõuded	27
3.1.3 Lõplikud soovid.....	28
3.2 Tootmistehnoloogia	28
3.3 Mõõtmed/suurused.....	28
3.4 Peamised kasutusala.....	29
4. ESMASE TOOTEKONTSEPTSIOONI LOOMINE	30
4.1 Toote põhifunktsioonid.....	30
4.1.1 Korpuse koostamise viis	30
4.1.2 Toote detailide ühendamise	30
4.1.3 Tootemoodulite ühendamise	30
4.1.4 Sahtli kompaktsuse suurendamine transpordiks.....	31
4.1.5 Sahtli eemaldamine ja paigaldamine korpusesse.....	31
4.1.6 Tootmistehnoloogia	31
4.1.7 Sahtli sisu eraldamine	31
4.2 Toote põhifunktsioonide morfoloogiline maatriks	31
5. TEHNILISE KONTSEPTSIOONI LOOMINE	34
5.1 Moodul C – Sahtel	34
5.1.1 Sahtli suurused.....	34
5.1.2 Sahtli liigutamine.....	35
5.1.3 Lahend C1	35

5.1.4	Lahend C2	38
5.1.5	Lahend C3	41
5.2	Moodul B – Korpuste ühendusmoodul	42
5.2.1	Lahend B1	42
5.2.2	Lahend B2	44
5.2.3	Lahend B3	45
5.3	Moodul A – karp.....	47
5.3.1	Tootmistehnoloogia	47
5.3.2	Sahtli lõppasendi fikseerimine	48
5.3.3	Lahend A1	49
5.3.4	Lahend A2	51
5.3.5	Lahend A3	53
6.	TOOTEDISAIN	55
6.1	Tootedisaini lahendid	55
6.1.1	Lahend C1	55
6.1.2	Lahend C2	55
6.1.3	Lahend C3	56
6.1.4	Lahend A1	57
6.1.5	Lahend A2-B3	57
6.1.6	Lahend A3	58
6.2	Tootedisaini valitud lahendid.....	58
7.	PROJEKTEERIMINE	59
7.1	Sahtli projekteerimine	59
7.1.1	Sahtli mõõtmestamine	60
7.1.2	Põhja sooned	61
7.1.3	Sahtlieraldajad	61
7.1.4	Külgede süvendid.....	62
7.1.5	Esipaneeli kinnitused	63
7.2	Korpusemooduli põhimõtteline projekteerimine	64
7.2.1	Tagapaneeli ühendus külgedega	64
7.2.2	Ühendusdetaili ühendus külgedega	65
7.2.3	Ühendusdetaili ühendus tagapaneeliga	66
7.3	Ühendusdetailide detailne projekteerimine	66
7.3.1	Ühendus külgedega	67
7.3.2	Ühendus tagapaneeliga.....	68
7.3.3	Ümarusraadiuste lisamine	69
7.3.4	Ühendusdetaili konfigureerimine erinevatesse asukohadesse	69
7.4	Karbimooduli detailide detailne projekteerimine	70

7.4.1	Ühendusdetaili ühenduse profiil	70
7.4.2	Tagapaneeli ühendus küljepaneelidel	71
7.4.3	Küljepaneelide süvistused ja ribad	72
7.4.4	Horisontaalpaneel	73
7.4.5	Vertikaalpaneel	74
7.4.6	Tagapaneel	75
8.	INSENERTEHNILISED ARVUTUSED	80
8.1	Ühendusdetaili ja küljepaneeli ohtliku olukorra analüüs	80
8.2	Ühendusdetaili snap-fit ühenduse konksu tugevusanalüüs	84
8.2.1	Ühendusdetaili snap-fit ühenduse konksu tugevusanalüüs ühendusdetaili eemaldamisel	84
8.2.2	Ühendusdetaili snap-fit ühenduse konksu tugevusanalüüs ühendusdetaili paigaldamisel	86
	KOKKUVÕTE	88
	SUMMARY	90
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	93
	LISAD	95

EESSÕNA

Lõputöö teema sai alguse kliendi vajadusest arendada esteetilise välimusega kompaktne ja modulaarne sahtlisüsteem, mida oleks võimalik tänu modulaarsusele tervikuna suurendada. Kliendiga koostöö tulemusena sõnastati tööde eesmärgid ja kriteeriumid, mille alusel arendustöid teostati.

Lõputöö raames töötatakse läbi turul müüdavad alternatiivsed tooted, pannakse kirja tootespetsifikatsioon koos vajalike nõuete ja soovidega, mille järel töötatakse välja esmane tootekontseptsioon koos valiku moodulite põhimõttelahenditega. Seejärel analüüsitakse iga mooduli valitud põhimõttelahendeid põhjalikumalt ning sõnastatakse täpsemad ja konkreetsemad nõuded tootedisaini ja projekteerimise etapiks. Arendusprojekti tootedisaini etapp viiakse läbi väliste partneritega autori juhtimisel. Peale tootedisaini projekteeritakse terviklik seade, viiakse läbi kontrollivad insenertehnilised arvutused ja analüüsid toote vastupidavuse kontrollimiseks toote kõige riskantsemates osades. Magistritöö tulemusena valmib tehniline lahendus, mille põhjal on võimalik toodet prototüüpida ning liikuda edasi tootmistehnoloogia ja täpse materjalivaliku juurde.

Autor soovib tänada suurepärase juhendamise eest Kaimo Sonki, kes lõputöö valmimise jooksul on alati operatiivselt ja kiirelt andnud ainult asjakohast ja kõrge kvaliteediga tagasidet. tootearendus, sahtlisüsteem, kompaktne, modulaarne, magistritöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

ABS – akrüülnitriil-butadieen-stüreen

HDPE - kõrgtihe polüetüleen (ingl. k. High-density Polyethylene)

LEM – lõplike elementide meetod (ingl. k. Finite Element Method, FEM)

MJF – mitmikjoaga kokkusulatamine (ingl. k. Multi Jet Fusion)

MSLA – mask-stereolitograafia (ingl. k. Mask Stereolithography)

PC – polükarbonaat (ingl. k. Polycarbonate)

PETG – polüetüleentereftalaat-glükool

PMMA – polümetüülmetakrülaad

PP – Polüpropüleen

HIPS – löögikindel polüstüreen (ingl. k. High Impact Polystyrene)

σ_{max} – LEM analüüsis tekkiv suurim pinge, MPa

σ_y – materjali voolepiir, MPa

1. SISSEJUHATUS

Lõputöö sai alguse kliendi vajadusest tuua turule kompaktne, modulaarne ja esteetiline välimusega sahtlisüsteem, mis eelkõige sobiks lastele, kuid võimalusel ka võimalikult laiale sihtrühmale. Kliendiga rääkides saadi ettekujutus kliendi eesmärkidest ja nõuetest, millele loodav toode peab vastama. Ühiselt lepiti kokku projekti põhjalikkuses, mahus, täpsetes tegevustes ning seejärel alustati arendustöödega. Kliendi jaoks oli oluline, et toodet on võimalik kompaktset ja odavalt saata, et hoida võimalikult palju kokku saatmiskuludelt. Klient teadis, et turul on olemas konkureerivaid lahendusi (Joonis 1.1) ning seetõttu olid kindlateks soovideks ka võimalus sahtlisüsteemi mooduleid ühendada ja seeläbi kasvatada terviklikku ühendatud süsteemi, kuhu on võimalik asetada palju configureeritavaid kahes suuruses sahtleid. Sahtlisüsteemi sisse peab saama organiseeritult paigutada erinevas suuruses lego klotse, erinevaid väikseid käsitöövahendeid, kinnitusvahendeid ja igasuguseid muid väikseid objekte, mida on vaja korrapäraselt ja kiirelt hoiustada. Arendatav sahtlisüsteem peab olema ka esteetiliselt hea välimusega ning ei tohi jääda silma riivav, kui asub inimestele nähtavates asukohtades. Sahtlisüsteem peab jääma piisavalt minimalistlik ja silmatorkamatu, et seda ei tuleks kappide, sahtlite jm mööbli taha ega sisse peita. Sahtli kõige ülemisse osasse peab mahtuma kindlasti 250 x 250 x 2 mm suurusega plaat.



Joonis 1.1 Turul pakutavad lahendused [1], [2], [3], [4], [5]

Pikalt on müüdnud ja toodetud erinevaid panipaiku, sahtli- ja kapisüsteeme, kuid senistel lahendustel on kõigil olnud suuri puudusi, mida käesoleva arendusega lahendatakse.

Lisaks konkreetsetele toote funktsionaalsetele nõuetele on tähelepanu pööratud ka transpordile ning selle keskkonnamõju ja hinna vähendamisele läbi kompaktsema pakendamise, et võimalikult vähe õhku transportida. Keskkonnamõju seisukohast on ka oluline, et tooted oleksid vastupidavad ning kliendi vajaduste muutumisel oleks võimalik toodet konfigurereida selliselt, et kliendi vajadused oleksid täidetud.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on arendada modulaarne ja kompaktne sahtlisüsteem välja kuni esimese funktsionaalse prototüübini. Arendamisel lähtutakse kliendi nõuetest. Arendusprojekti vältel viiakse läbi turu-uuring, analüüsitakse erinevaid võimalikke tootekontseptsioone moodulite põhiselt, luuakse tehniline tootekontseptsioon, projekteeritakse esmane toode, millest luuakse ka tehniliste sõlmede töötavust testiv prototüüp ning viiakse läbi kontrollivad insenertehnilised arvutused. Lõputöö fookusest jääb välja tootedisain, toote edasine prototüüpimine ja toomistehnoloogia täpne välja töötamine koos täpse materjalivalikuga. Lõputöö tulemusena valmib valitud tootmistehnoloogiaid arvestav tehniline lahendus, millega saab edasi liikuda funktsionaalsete prototüüpide loomise juurde.

2. TURU-UURING

Turu-uuringu etapis analüüsitakse konkureerivaid, sarnaseid tooteid ja sarnaste funktsioonidega tooteid. Turu-uuringu tegevuste eesmärgiks on info saamine tehnoloogilistest viisidest, kuidas sarnaste toodete olulised osad ja funktsioonid on lahendatud. Uuritakse sarnaste toodete kasutajate tagasisidet ja püütakse leida täiendavaid klientidelt tulevaid nõudeid ja soove toodete kohta.

2.1 Sihtrühma alternatiivsed tooted

Võimalikult sarnastest toodetest võetakse vaatluse alla eelkõige samale sihtrühmale suunatud tooted, milleks on sahtlisüsteemid lastele legode, mänguasjade ja hobitarvete sorteerimiseks ja hoiustamiseks.

Drawers Toy Organizer Containers Plastic

Tegemist on sahtlisüsteemiga, kus on võimalik valida nelja erineva sahtlisüsteemiga komplekti vahel. Komplektid on omavahel ühendatavad sahtlisüsteemi korpuses asuvate soonte sisse paigaldatavate kiiludega. Ühelt poolt tekitab see täiendava komponendi, kuid samas aitab hoida ühe süsteemi korpuse välimust minimalistlikumana (Joonis 2.1). Süsteemid on üksteise peale ja külgedele kinnitatavad ning ka seina paigaldatavad. Ühes süsteemis on kindel arv ettemääratud suurusega sahtleid, mis piirab kasutusvõimalusi ning sahtlite vahel on küllaltki lai riba tühja ruumi, mis vähendab ka toote kompaktsust [1].



Joonis 2.1 Drawer toy organizer [1]

Tehnoloogilistest aspektist on tootel küllaltki lastesõbralik tootedisain ning esteetiline välimus. Tähelepanu vääri vaks mõtteks on kasutada moodulite ühendamiseks eraldi detaili (Joonis 2.2), jättes moodulitel ühenduskohad identseks, mis ei paista kasutajale silma. Korpuse on üsna kohmakas ning ei ole lahtivõetav. Korpuse esiküljel asuv sahtleid suunav moodul võimaldab peita korpuse robustset sisu ja võimaldada luua sobivat tootedisaini. Lisaks korpuse esipaneeli varieerimine võimaldab sama korpusega erineva suurusega sahtlite kasutamist ning muudab toote arhitektuuri modulaarseks. Volditava korpuse korral võimaldaks antud detail fikseerida korpuse kokkupandud asendis. Suureks puuduseks on sahtlite vahele jääv suur ruum ning sahtlisüsteemi vähenenud ruumiefektiivsus. Sahtlid tunduvad olevat pehmemast mati pinnaviimistlusega materjalist, mille puhul kriimud on vähem nähtavad ning ka sahtlite purunemine on ebatõenäolisem kui mõne muu haprama materjali korral. Tegu on küllaltki hästi arendatud ja seatud eesmärgke täitva tootega (Tabel 2.1)



Joonis 2.2 Ühendusdetail ja sahtlite suurused [1]

Arvatavad nõuded toote loomisel on:

- esteetiline välimus;
- lastesõbralik disain;
- moodulite kokku ühendatavus;
- modulaarne arhitektuur;
- vastupidavad materjalid ning keste v välimus.

Tabel 2.1 Drawers Toy Organizer Containers Plastic põhiparameetrid

Hind	37,74 \$
Materjal	PP
Eelised	Puudused
Esteetiline ja lastesõbralik disain	Piiratud kombineeritavus
Modulaarne arhitektuur	Suur efektiivse ruumi kadu
Kasutusele vastupidavatest materjalidest detailid	Transportides võtab palju ruumi
Läbipaistev sahtel	
Olulised tähelepanekud:	
<ul style="list-style-type: none"> • Lisaelement komponentide üksteise külge ühendamiseks, • eraldi esipaneeli detail võimaldab laiemas ulatuses muuta tootedisaini, • matistatud pinnast poolpehmed sahtlid, • tootedisain on tehtud lastele funktsionaalselt sobiv ja lapsevanematele mitte silma riivav. 	

2.1.1 Akro-Mils Plastic Parts Storage Hardware and Craft Cabinet

Tegemist on multifunktsionaalse väikeste objektide organiseerimiseks ja hoiustamiseks mõeldud sahtlisüsteemiga (Joonis 2.3). Seade koosneb välisest korpusest ning sahtlitest, mida on erinevas suuruses. Tegemist on universaalse tootega, mis ei ole spetsiaalselt mõeldud lastele. Kirjelduse kohaselt ning ka toote välimust vaadates on rõhutatud lihtsusele, võimalikult laiale kasutusala ja madalale tootmishinnale, mistõttu toode sobib kõige paremini kasutamiseks töökotta või garaaži, kus kõige olulisemaks on objektide efektiivne ja kompaktne hoiustamine ning välimus ja esteetiline tootedisain jäävad tahaplaanile [2]. Suure tõenäosusega on toote näol tegu ühe turul enamlevinud pakutava lahenduse ja toodete segmendiga. Taolisi tooteid on erinevates suurustes, mudelites, erinevatelt tootjatelt ja erinevates värvitoonides.



Joonis 2.3 Akro-Mils Plastic Parts Storage Hardware and Craft Cabinet [2]

Tegemist on küllaltki robustselt disainitud tootega ning esteetiline välimus ei ole eesmärgiks. Antud toote nõudeks on olnud ilmselt väikeste objektide efektiivne hoiustamine ning selle eesmärgi on see toode ka täitnud. Seade ei ole mõeldud kasutaja poolt konfigureeritavaks ning suure tõenäosusega on selle toote eesmärk olla võimalikult hea hinna-kvaliteedi suhtega ja pakkuda seda, mis on kriitiline, ehk hoiustamist. Seade on seina paigaldatav ning raskemate objektide hoiustamisel on soovituslik toode ka kindlasti seina ankurdada.

Kuivõrd tegemist on Amazonis müüdava tootega, on selle juures väärtuslikuks infoks ka seniste kasutajate tagasiside, millest tuleb välja, et paljudel negatiivsetel juhtudel on toode saanud viga transpordil, sest ei ole kuigi hästi pehmendatud. Lisaks on probleeme olnud koleda ning kriimustatud korpusega, vähese koguse sahtlialdajate, liiga suurte lõtkudega sahtli ja ümbrise vahel ning sahtli madala tootmiskvaliteediga, mille tulemusena on valuvormi liitepindade juures liigmaterjaliga servad, mida ei ole tootmise käigus ära lõigatud [2]. Tegemist on äärmiselt optimeeritud tootega (Tabel 2.2) ning kuna kasutajate soovid ja vajadused on erinevad, siis on arusaadavalt kasutajatel erinevad ootused ning paljudel juhtudel ei ole kõiki neist täidetud, mis on viinud negatiivse kasutajakogemuseni.

Arvatavad nõuded toote loomisel on:

- madal hind;
- efektiivne ruumikasutus;
- kiire ja lihtne tootmine ilma lisaoperatsioonideta;

Tabel 2.2 Akro-Mils Plastic Parts Storage Hardware and Craft Cabinet põhiparameetrid

Hind	53,6 \$
Materjal	PS korpus ja PP sahtlid
Eelised	Puudused
Madal omahind	Tööstuslik välimus piirab sihtrühma
Küllaltki kompaktne ja efektiivne ruumikasutus	Suur optimeeritus madalale hinnale toob kaasa erinevate kliendi ootuste mitte täitmise ja negatiivse kogemuse
Lihtne ja vähe täpsust nõudev konstruktsioon	Ruumimahukas transportimisel
Võimalik müüa laiale sihtrühmale	Madal kvaliteeditase
Olulised tähelepanekud:	
<ul style="list-style-type: none"> • kõrge optimeeritus madalale omahinnale tähendab sageli järeleandmisi mitmetes klientide soovides ja nõuetes ning võib osutada klientidele pettumust valmistavaks, • kuigi tootel on seina kinnitamiseks olemas kohad, kurdavad kliendid selle üle, et ilma kinnitamata raskemaid esemeid hoiustades võib seade ümber kukkuda ja asjad sahtlitest välja tulla, <ul style="list-style-type: none"> • sahtlieraldajad on toodetud korpuse tagaküljele ning soovi korral peab klient need korpuse tagaosast ise välja löikama, • välimus on teisejärguline, seade on eelkõige mõeldud hoiustama esemeid ning on mõeldud kasutamiseks eelkõige just garaazis ja töökojas või panipaigas. 	

2.1.2 IRIS USA LEGO 6-Case Workstation and Storage Unit

Irise toote puhul on tegemist eelkõige lastele suunatud sahtlisüsteemiga, kus hoida erinevaid lego juppe. Leitud info kohaselt ei ole toode hetkel ostetav, kuid kuna on samale sihtrühmale kui arendatav toode, siis on hea võrdlus arendatava toote suhtes. Toode koosneb avatud korpusest, mis tundub korrustena lahtivõetav, ja sahtlitest, mis on kaanega suletavad. Kaanega sahtlid (Joonis 2.4) on oluliseks erinevuseks seni vaadeldud toodetest, sest võimaldavad tervet toodet koos hoiustatavate objektidega või sahtlit üksi transportida selliselt, et ka lapsed sahtli sisu ümber ei ajaks [3].



Joonis 2.4 Iris Usa LEGO 6-case Workstation [3]

Toote korpus ja konstruktsioon tunduvad olevat modulaarse arhitektuuriga, kus korruste elemendid on identsed ning üksteisega ühendatavad. Ainsaks erinevaks korpuse elemendiks on kõige ülemine plaat. Modulaarne arhitektuur võimaldab toote korruste arvu lihtsasti muuta, kuid ei mõjuta kompaktsust toote transpordil ja pakkimisel. Sahtlid on tehtud kahest eraldi detailist, mis on ühendatud hingega. Kaane kasutamine võimaldab hoiustada objekte kartmata nende kadumist ja seeläbi vähendada toote korpuse materjalihulka ja sahtlite katvust. Tootedisain on väga lego keskne ning seetõttu ei pruugi sobida sihtrühmale, kes legodega ei mängi ja soovivad hoiustada seal ehk muid esemeid.

Amazoni kasutajate tagasiside on peamiselt positiivne. Negatiivne tagasiside on peamiselt seotud hinnaga, mis on lego logoga toodetel kõrgem kui ilma logota tootel. Ühe negatiivse aspektina toodi välja, et sahtel tuleb täielikult välja võtta, et sinna midagi asetada saaks ning see olevat tüütu, kui on palju väikseid objekte, mida ükshaaval aeg-ajalt on vaja sahtlisse panna [3].

Osadel kasutajatel ei sulgu sahtli kaas korralikult, mis teeb kasutajate sõnul kaane mõttetuks. Lisaks toodi välja, et kuna legode ehitamine on lastel pidev protsess ning tööd jäävad sageli poolikuks, jääb kõige suuremaks probleemiks siiski poolikute legoprojektide hoiustamine, sest need ei mahu ühte sahtlisse tervelt. Lisaks on täheldatud sahtlite materjali rabedust, mis juba madalalt kukkudes puruneb. Tegemine on pigem spetsiifilise ja kallimat sorti tootega (Tabel 2.3).

Arvatavad nõuded toote loomisel on:

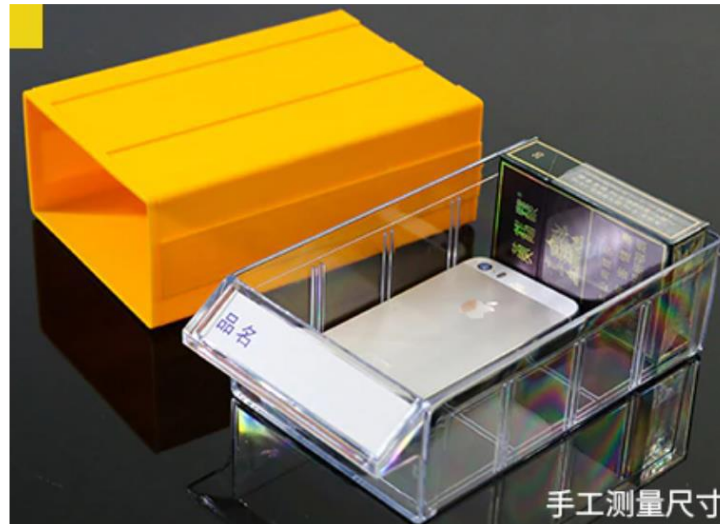
- Suunatud eelkõige legodele;
- muudetava korruste arvuga süsteem;
- suletavad sahtlid;
- modulaarsus;
- lastesõbralik erinevate värvidega sahtlite eristamine.

Tabel 2.3 IRIS USA LEGO 6-Case Workstation põhiparameetrid

Hind	69 \$ või 240 \$
Materjal	Info puudub
Eelised	Puudused
Muudetava kõrgusega	Kõrge hind
Suletavad sahtlid	Probleemid kaane sulgemisega
Erineva värviga sahtlid	Kohmakus transportimisel
Lihtsa modulaarse konstruktsiooniga	Rabedast ja lihtsalt purunevat materjalist
Olulised tähelepanekud:	
<ul style="list-style-type: none">• tasub edaspidi mõelda, kas näiteks sahtli elemendil võiks olla kaas oluline kasvõi lisa elemendina,• oluline on, et valitud materjalid oleksid vähemalt natukenegi löögikindlad, et kohe esimese kukkumisega ei mõraneks.	

2.1.3 Parts box

Parts boxi (Joonis 2.5) näol on tegemist Aliexpressist leitud sahtlisüsteemi lahendusega, mis on kliendi poolt ka füüsiliselt antud vaatamiseks ja katsetamiseks. Tegemist on üksteise külge ühendatavate moodulitega. Aliexpressi tootel on valikus erinevaid suuruseid, kuid esmapilgul tundub, et erinevad suurused üksteisega kokku ei sobi. Ühendamine toimub soonte abil, kus korpuse vastasküljed sobivad üksteisega kokku selliselt, et ühel küljel on väljaulatuv soon ja teisel poolel süvistatud soone osa, mis kahe korpuse kokku libistamisel tekitab luku ja hoiab korpuseid üksteise küljes. Parts boxi on saadaval kokku 6 eri suuruses ja neljas värvivalikus [4].



Joonis 2.5 Parts Box sahtlisüsteem [4]

Toote korpus on väga õhukese seinaga ning toode on äärmiselt kompaktne ja ruumisäästlik. Korpuse paksus kõige paksemast kohast on 3 mm ning kõige õhemast kohast 1,5 mm. Kahe mooduli üksteise külge ühendamisel on kahe sahtliruumi vaheliseks seinapaksuseks kokku 4,5 mm, mis on oluliselt peenem, kui analoogsetel toodetel, mis mitme sahtliga versioonidel on juba ühe kihilisest seinast. Toote kõige tugevamaks küljeks on töökindel ja hästi lahendatud äärmiselt kompaktne ühendusviis. Vaadates materjale, pinnaviimistlust ja tootedisaini, võib oletada, et toote loomisel oli eesmärgiks saavutada kompaktsus ja võimalikult efektiivne ruumikasutus asjade hoiustamisel. Tahaplaanile on siin tootes jäänud samuti tootedisain ja esteetiliselt nauditav välimus, mistõttu sobib antud toode kõige paremini garaaži ja töökotta, kus sahtlisüsteemi peamine väärtus seisneb funktsionaalsuses ning kõik muu on üleliigne (Tabel 2.4). Kuna sahtleid ei ole võimalik üksteise sisse paigutada ja korpuse elemendid on samuti jäigad ning mitte üksteise sisse mahtuvad, on toote suureks puuduseks suur ruumikadu transportimisel. Tehnoloogilisest aspektist on toote sahtlitele tehtud palju vaheseina tugesid, mis võimaldab vastavalt vajadusele sahtli ruumi jaotada erineva suurusega osadeks.

Arvatavad nõuded toote loomisel on:

- madal omahind;
- töökindel komponentide ühendus;
- sahtli hea liigendatus;
- võimalikult kompaktne ja ruumieffektiivne;
- suures ulatuses tootmiskeskset ja madalale hinnale projekteeritud.

Tabel 2.4 Parts box põhiparameetrid

Hind	2,38 - 4,46 \$
Materjal	ABS korpus, sahtel teadmata
Eelised	Puudused
kompaktne	Tööstuslik ja poolik välimus
Sahtlialdaja asukoht muudetav	Kohmakus transportimisel
Läbipaistev sahtel	Kriimustuv sahtel
Äärmiselt töökindel ühendusmehhanism	
Olulised tähelepanekud:	
<ul style="list-style-type: none"> • tootel on äärmiselt hea ja kompaktne ühendusmehhanism, mida peab kindlasti eeskujuks võtma komponentide ühendamise lahenduste loomisel, • tootedisain on hetkel sellel tootel teisejärguline, kuid muutes toote selliseks, et see ei riiva silma, võiks olla sellel koht ka kodudes asukohtades, kus on kõigile nähtaval kohal ning see võimaldaks ka toodet oluliselt kallimalt müüa. 	

2.2 Teiste tooterühmade tooted, mille funktsioonid ja lahendused kattuvad

2.2.1 Plastic Drawer Organizer

Tegemist on üldkasutatava sahtliga karbiga, mille mahuks on 5, 8 või 13 liitrit. Toode on saadaval kolmes värvis, disainilt üsna minimalistlik ja võimalikult vähe silma riivav (Joonis 2.6). Antud toote näol on tegu küllaltki õnnestunud disainiga, sest tundub, et toode on mõeldud just majapidamisse kohtadesse, kus seda võidakse ka aeg-ajalt näha. Oma suuruselt on toode mõeldud pigem tekkide, linade patjade hoiustamiseks, kuid siit kindlasti on võimalik võtta ka ideid ja mõtteid projekti käigus arendatavale tootele [5].



Joonis 2.6 Plastic Drawer Organizer [5]

Tähelepanuväärne on antud toote puhul üleüldine detailsus ja põhjalikkus toote loomisel. On näha, et toote loomisel on eesmärgiks olnud kõrge kvaliteet või vähemalt kõrge kvaliteedi tunde tekitamine tarbijas, sest tootel ei ole silmnähtavaid survevalust jäänud vormi piiri lahutuspinnale liigmaterjali, piir on hästi valitud asukohas, toote pinnaviimistlus on ühtlane ja tähelepanu on pööratud ka väikestele detailidele (Tabel 2.5). Sahtli pind on matt, millest ei ole näha tekkivaid kriime, kogu korpus tundub olevat jäik. Tooteid saab üksteise otsa asetada ning tänu põhja ja ülemise külje profiilidele ei libise ülemine karp maha ka 45° nurga alla asetades. Toote välimus on selline, et sobiks ka suurepäraselt lastetuppa nähtavasse kohta toa välimust negatiivselt mõjutamata.

Tabel 2.5 Plastic Drawer Organizer põhiparameetrid

Hind	8,99-16,19 \$
Materjal	PP
Eelised	Puudused
Õnnestunud tootedisain	Ei ole kokku pakitav
Jäik karp	Ei ole jäigalt ühendatav
Kvaliteetse disaini ja pinnaga sahtel	Sahtlil puuduvad sahtlialdajad
Üksteise otsa ühendatavus	
Olulised tähelepanekud:	
<ul style="list-style-type: none"> • kindlasti peaks toode olema üheks eeskujuks üleüldise välimuse, põhjalikkuse ja detailsuse osas, • toote jäikuse tagamine samaaegselt kokkupakitavuse ja -volditavusega ei tohi ohvriks tuua toote välimust ja üleüldist disaini, • detailid ja nendele põhjalik keskendumine on äärmiselt oluline. 	

2.3 Turu-uuringu kokkuvõte

Turul on arendatavale tootele sarnaseid tooteid, kuid kõik erinevad piisavalt olulisel määral arendatavast tootest, et eristuda pakutavatest toodetest. Turul pakutavate sarnaste lahenduste seas on nii odavamaid kui ka kallimaid, kvaliteetsemaid kui ka vähem kvaliteetseid ning rohkem ja vähem kokku pakitavaid. Leitud toodetel kõigil on vähemalt üks suur ja oluline puudus, mida üritatakse loodava tootega parandada. Eduka toote valemiks tundub olevat tasakaalukas kombinatsioon toote jäikusest, kokkupakitavusest, efektiivsest ruumikasutusest, hinnast ja esteetiliselt nauditavast välimusest. Kuna suur osa loetletud omadustest on üksteisega kas vastuolus või olulises sõltuvuses, on äärmiselt oluline põhjalik ja analüüsipõhine töö toote kontseptsiooniga ning sellest lähtuvalt võetakse kokku turu-uuringust arendatava toote kontekstis kõige olulisemad tähelepanekud ja punktid:

- turu keskmine hind on õigustatud, kui toode vastab kõigile seatud nõuetele ning on kõrge koostekvaliteedi ja hea tootedisainiga;
- komponentide jäigalt üksteise külge ühendamise on oluliseks eeliseks ja vajalikuks nõudeks nii horisontaal- kui ka vertikaalsihis;
- sahtliosa peab olema läbipaistev, kuid pinnaviimistluselt on sobilikumad matid pinnad, millelt kriimud ei paista välja. Lisaks on oluline, et materjalid oleksid küllaltki plastsed ja esemete kukkumisel ei tekiks kohe mõrasid;
- lastele suunatud toode peab olema lastesõbralik, kuid ei tohiks olla lapsevanematele silma riivav, sest kasutaja on küll laps, kuid kliendiks on lapsevanem;
- konstruktsioon peab olema võimalikult lihtsalt toodetav, modulaarse arhitektuuriga ning võimalusel võimalikult kompaktne. Kuna toode on mõeldud olema keskmisest kvaliteetsem ja sobima kliendile, kelle jaoks on esteetiline välimus oluline, siis võimalik, et siin vajadusel tuleb ohverdada kompaktsus ja ruumiefektiivsus;
- karbi kokkuklapitavus on transpordi seisukohast äärmiselt oluline ning võimaldab lisaks hinnale ja pakendi suurusele ka toodet pehmedada ning vähendada transpordivigastuste ohtu;

- karbi kokkuklapitavuse juures ei tohi kindlasti väheneda karbi jäikus, sest see muudab suurel määral toote kasutusvõimalusi ning muudaks toote küllaltki kasutuks paljudes rakendustes;
- sahtli välja töötamisel tuleb leida lahendus, kuidas sahtleid oleks võimalik üksteise sisse virnastada ning seeläbi täiendavalt ruumi kokku hoida;
- kokkupakitavuse seisukohast tuleb leida optimaalne tasakaal paneelide eraldi detailideks jaotamise ja painete vahel, sest liigne detailideks jaotamine muudab kokkupaneku keerulisemaks, kaotab rohkem ruumi, kuid liiga paljud paindekohad võivad vähendada karbi jäikust.

3. TOOTE SPETSIFIKATSIOON

Toote spetsifikatsiooni loomisel on rõhk peamiselt tootele seatud nõuetel, ootustel ja soovidel, mille põhjal järgnev arendustöö pihta hakkab. Toote spetsifikatsioon olemuselt on täpne lähteülesanne ja konkreetsete eesmärkidega kirjeldus, millele arendatav toode peab vastama.

3.1 Toote esialgsed nõuded ja soovid

Tootearenduse juures on oluline eristada üksteisest nõuded ja soovid. Nõuete täitmine on toote vajaliku funktsionaalsuse saavutamise eelduseks. Soovid on omadused ja parameetrid, mis on küll toote kontekstis kasulikud ja eelistatud lahendused, kuid alati ei pruugi kõik olla võimalikud ning kui kuskilt on vaja järeleandmisi teha ning tavaliselt tehakse seda soovide arvelt.

3.1.1 Turu-uuringuga selgunud nõuded ja soovid

Kokku volditavus on omadus, mis on osadel turul olevatest toodetest olemas, seega on seda praeguseks juba edukalt katsetatud ja rakendatud. Võimaldab oluliselt säästa transpordikuludelt.

Jäikus on kokku volditavate toodete juures üheks suurimaks probleemiks. Jäikuse suurendamist raskendab füüsiline teostatavus arvestades eelnevaid nõudeid ning prioriteediks peaks olema kindlasti seadme jäikus, isegi kui see tuleb kompaktsuse arvelt.

Kompaktsus on äärmiselt oluline konkurentsivõimelise toote jaoks. Kokku volditavatel toodetel on vaja jäikuse tagamiseks kohati suuremat seinapaksust, mistõttu seadme suhteline mahutatavus väheneb. Sellistel kompaktsel toodetel aga kannatab tugevalt jäikus, mistõttu ei kannata sellised tooted peaaegu üldse väljast tulevaid jõude ja koormusi.

Kokku ühendatavus külgedele võimaldab kinnitada väikese arvu kruvidega näiteks seinale ja üksteisega jäigalt ühendada suurt hulka karpe. Turul on erinevaid külgedele ühendatavaid tooteid. Jäigalt ühendatavatel on see pea üheks ainsaks oluliseks eeliseks ning ülejäänutel on see küllaltki kasutu funktsioon, sest pehmete ühenduse korral ei anna see pea ühtki lisa kasutusvõimalust või eelist.

Kokku ühendatavus üksteise otsa võimaldab jäigalt üksteise otsa virnastada karpe. Virnastatavaid karpe on, kuid jällegi fikseeriv virnastus on eraldi eelis ja annab hulgaliselt kasutus- ja paigaldusvõimalusi.

Seinale paigaldatavus võimaldab kasutada tühja ruumi seintel ilma põrandapinda otseselt kasutamata. Koos külgedele ja üles-alla fikseeriva ühendusega annab seinale paigaldatavus olulise eelise konkureerivate toodete ees.

Patenteeritavus on oluline nõue, sest suur osa tootmist on Hiinas ning väga oluliseks kujuneb erinevatel kontinentidel ja Aasias tootes just intellektuaalse omandi kaitse võimalikkus.

Soodne hind on oluline, et konkureerida laial ja välja kujunenud turul edukalt. Turul on erinevaid tooteid erinevatele sihtrühmadele, väga erineva kvaliteeditasemega ja väga erinevas hinnaklassis. Eesmärk on luua kõrge kvaliteediga toodet, mis on universaalne, seega ei ole mõistlik konkureerida madalama hinnaga toodetega, vaid fookuseerida laiemale sihtrühmale, pakkudes võimalikult paljudes aspektides head ja universaalset toodet, mis kohati tuleb hinna arvelt. Tegemist on keskklassi tootega, mille hind peab olema piisavalt madal, seega soodne hind on kindel nõue, kuid samas peab see olema tasakaalus soodsa hinnaga vastuolus olevate nõuetega ning selle arvelt ei tohi muud nõuded kannatada.

Läbipaistev sahtli esikülg võimaldab näha sahtli sisu ilma sahtlit avamata. Valdaval enamusel turul pakutavatel konkureerivatel toodetel on kas täielikult või osaliselt läbipaistev sahtli esikülg. Läbipaistvus on otseselt seotud tootmistehnoloogia valikuga ja sellest tulenevalt ka tootedisainiga. On oluline, et sahtli esikülg jääks kasvõi osaliselt läbipaistev ning sellega tuleb sahtlit arendades arvestada.

Sahtlite virnastatavus on toote üks peamisi eeliseid konkurentide ees. Virnastatavusega hakkab ruumi kokkuhoid transpordil tulemust andma vähemalt kolme ühiku koos saatmisel. Sellisel juhul tekib ruumi kokkuhoiu efekt küllaltki väikestest kogustest ning samas on tagatud sahtlite jäik struktuur ja töökindlus.

Lastesõbralik disain on oluline nõue, sest toote üks sihtrühm on lapsed ning selleks, et toode oleks turul edukas, peavad lapsed seda kasutama, mistõttu on lastesõbralik disain esmatähtis ja kindel nõue.

Täiskasvanule atraktiivne disain on oluline, sest kuigi peamine sihtrühm kasutajate näol on lapsed, siis toote ostavad ilmselt lapsevanemad. Nende soovid on toote edus olulised ning seetõttu peab olema toode piisavalt universaalne, vähe silma riivav ja võimalikult esteetilise disainiga, et täiskasvanutel tekiks soov seda ka näiteks ise

kasutada või neid ei häiriks, kui nende laps või nemad kasutavad seda kodus hästi nähtavatel pindadel.

Kaks üksteisega seotud suurust. Turu-uuringust tuli välja, et analoogseid tooteid kasutatakse erinevate asjade hoiustamiseks. Alates väikestest legodest ja erinevate hobide väikestest elementidest kuni suuremate objektideni nagu näiteks jalanõud, tekid, padjad. Antud toote puhul keskendutakse laiale vahemikule, kuid samas peavad suurused olema ka üksteise suhtes seotud. Seetõttu sahtlitel peab olema sahtlialdajate võimekus, sahtlid on kahes suuruses: kitsas ja lai. Suuruste juures on oluline, et ka erinevaid suuruseid saaks üksteisega kokku ühendada, et luua üks tugev ja terviklik tootepere. Suuremasse peavad mahtuma 250 x 250 x 2 mm mõõtudega plaadid ning väiksem sahtel peab olema selline, et kaks väikse sahtliga moodulit moodustaksid suure sahtli mooduli.

Lõhnavaba, sest ebameeldiva lõhna puudumine on üks kliendipoolsetest nõuetest. Lõhn sõltub konkreetselt kasutatavast materjalist ning seega on vajadusel küllaltki lihtsalt hiljem muudetav ja sobitav, seega on mõistlik lõhn jätta sooviks, sest otseselt arenduses selle põhjal tööd ei tehta ning nõudeks muutub ilmselt rohkem tootmistehnoloogia täpsel väljatöötamisel ja tootmise alustamisel, kus pannakse paika täpne materjal, millest toode valmistatakse.

Keskkonnasõbralikkus on oluline, olenemata asjaolust, et toote soodne hind on samuti oluline ning paratamatult keskkonnasõbralikkuse suurendamine suurendab üldjuhul ka toote hinda. Keskkonnasõbralikkus on oluline, kuid antud toote puhul on mõistlik ka see jätta sooviks ning proovida leida tasakaalu keskkonnasõbralikkuse ja hinna vahel. Keskkonnasõbralikkuse saavutamiseks on mõistlik erinevates etappides võimaluse korral keskenduda erinevatele põhimõtetele, milleks on:

- tekitada tootmise käigus võimalikult vähe tootmisjääke;
- toote tootmisel võimalikult vähe operatsioone ja erinevaid täiendavaid operatsioone;
- kasutada võimalikult väikese keskkonnamõjuga materjale;
- soovituslikult ümbertöödeldavad materjalid;
- mitte ühendada materjale selliselt, et neid elutsükli lõpus on keeruline üksteisest eemaldada;
- muuta toote transport võimalikult keskkonnasõbralikuks;
- vähendada vajadust kasutada liigselt isolatsioonimaterjale transpordil;

- minimaalne hulk pakendit;
- tootmisel võimalusel kasutatakse võimalikult palju võimalikult väikse keskkonnamõjuga materjale, soovituslikult ümbertöödeldavaid.

Kõrge kvaliteet on oluline konkureerivatest toodetest erinemiseks ning kõikide toote osade korrapärase töö tagamiseks. Seetõttu on oluline tagada vajalik kvaliteeditase. Materjali omadused, detailide pinnaviimistlus, erinevate detailide kokkusobivus ja ist peavad olema korrektsed, täpsed ja ühtlase tasemega sõltumata tootepartiist.

Modulaarne arhitektuur. Toote puhul on oluline, et võimalikult vähe oleks iga suuruse kohta unikaalseid detaile, sest see muudab tootmise mahukamaks ning suurendab kogu toote detailide arvu. Modulaarse arhitektuuri juurutamine ja rakendamine võimaldab tootmise käigus märkimisväärselt kulusid kokku hoida ning see on üheks oluliseks sooviks arendusprotsessis, et kõikvõimalikud detailid ja toote osad oleksid võimalusel modulaarsed.

3.1.2 Lõplikud nõuded

Toote spetsifikatsiooni etapis valiti välja toote arendusprotsessi seisukohalt kõige vajalikemateks nõueteks:

- kokku volditavus;
- jäikus;
- seinale paigaldatavus;
- kokku ühendatavus külgedele;
- kokku ühendatavus üksteise otsa;
- patenteeritavus;
- sahtlite virnastatavus;
- läbipaistev sahtli esikülg;
- lastesõbralik disain;
- 3 üksteisega seotud suurust;
- kõrge ja stabiilne kvaliteet;
- soodne hind.

3.1.3 Lõplikud soovid

Toote septsifikatsiooni etapis valiti välja toote arendusprotsessi seisukohalt olulisteks, kuid vähemoluliseks kui nõuded, soovideks:

- Kompaktsus;
- täiskasvanule atraktiivne disain;
- lõhnavaba;
- keskkonnasõbralikkus;
- modulaarne arhitektuur.

3.2 Tootmistehnoloogia

Tootmistehnoloogia osas on oluline arvestada, et toode oleks projekteeritud sobivaks masstootmise meetoditele. Suure tõenäosusega on mõistlik toodet või paljusid toote detaile toota valumeetoditel ning see tähendab tootele vajalike kallete projekteerimist ning arvestamist üldiste põhimõtetega, mida valumeetodite puhul kasutatakse. Lisaks tuleb kaaluda peamise või kõrvalmeetodina tootmistehnoloogiaid, kus detailide tootmine seisneb plaatmaterjali töötlemisest ja erinevatest materjali eemaldamise operatsioonidest. Täpse tootmistehnoloogia puhul on olulisteks märksõnadeks suur kogus, võrdlemisi madal ühikuhind ja võimalus varieerida värvi ja täpse materjaliga. Tootmistehnoloogia täpne valik ja otseselt tootmisega seotud nüansid jäävad antud projekti raamidest välja, kuid projekteerimisel ja toote arendamise protsessis arvestatakse võimalike soovitatavate tehnoloogiate ja nende poolt seatavate nõuetega.

3.3 Mõõtmed/suurused

Toote täpsed suurused tuleb otsustada arendustöö käigus. On oluline, et kaks loodavat mõõtu on piisavalt erinevad, kuid piisavalt sarnased, et võimaldada eri mõõtudega mooduleid üksteisega ühendada. Lisaks on oluline, et mõõtmed on valitud selliselt, et vajalikud ja enimkasutatavad väikevahendid ja tarvikud karpidesse ära mahuvad. Suurem suurus peab kindlasti mahutama 250 x 250 x 2 mm plaadi, väiksem sahtlisuurus

peab olema võimalikult sama suurusega, mis kliendi poolt antud näidisel (Parts Box analoog), kuid täpsed mõõtmed tulenevad suure sahtli mõõtmetest.

3.4 Peamised kasutusala

Laste mänguasjad on toote põhi sihtrühm, kus nõudlus on selgelt olemas ja näha.

Üleüldine väikeste objektide hoiustamine, sest paljudel on kodus nii nähtavatel kui nähtamatutes kohtades erinevad kastid, karbid ja sahtlid väikeste asjade hoiustamiseks.

Hobiasjade hoiustamine. Paljude hobidega kaasnevad väikesed osad ja elemendid, mida on vaja sorteerida ja hoiustada. Tihti hoitakse esemeid töökojas, garaažis või majapidamisruumis.

Paberite, kontoritarvikute, visiitkaartide, pliatsite ja vildikate hoiustamine ja sorteerimine. Tegemist pigem büroosisustusega, kuid ka seal on aina rohkem hakatud disainile mõtlema ning hea õnnestumise korral võivad tooted leida rakendust ka kontorites.

4. ESMASE TOOTEKONTSEPTSIOONI LOOMINE

Esmase tootekontseptsiooni etapis kirjutatakse lahti toote põhifunktsioonid, leitakse neile hulk lahendeid morfoloogilise maatriksiga, jaotatakse toode loogilisteks mooduliteks, misjärel leitakse igale funktsioonile eelistatavad lahendid moodulite põhiselt ning seejärel ka moodulipõhiselt terviklahendid.

4.1 Toote põhifunktsioonid

Toote põhifunktsioonide defineerimine võimaldab aru saada arendatava toote osadest ning igaüht neist nii eraldiseisvana kui üksteise suhtes sõltuvana käsitleda.

4.1.1 Korpuse koostamise viis

Toote korpus plaanitakse luua kas ühest või mitmest tasapinnalisest detailist, et toodet oleks võimalikult kompaktne transportida. See tähendab, et toote korpus on vaja kokku panna tasapinnalistest detailidest. See funktsioon käsitleb erinevaid viise ja võimalusi tasapinnaliste korpuse detailide üksteisega ühendamiseks ruumiliseks terviklikuks koostuks.

4.1.2 Toote detailide ühendamine

Korpus ja muud kokku ühendatavad detailid peavad jääma jäigalt kokku, mis tähendab, et selleks on vaja mingit sõlme, kinnitust või ühendust. Selle funktsiooni all mõeldakse toote erinevate detailide kokku ühendamist.

4.1.3 Tootemoodulite ühendamine

Toode on mõeldud üksteisega kokku ühendamiseks, et neid nii vertikaal- kui ka horisontaalsihis ühendada ja moodustada mitme sahtlisüsteemiga tervikut. Tootemoodulite ühendamise funktsioon käsitleb terve ühe sahtlisüsteemi ühendamist teistega.

4.1.4 Sahtli kompaktsuse suurendamine transpordiks

Oluline nõue tootes on kompaktsus toote transpordil, siis ka sahtli juures on oluline, et seda on võimalik võimalikult lapikuna ja tasapinnalisena transportida. Siin tuleb leida lahendusi, kuidas muuta sahtel kas tasapinnalisemaks või mahutada mitu sahtlit selliselt, et koos võtaksid sahtlid oluliselt vähem ruumi kui eraldi asetsedes.

4.1.5 Sahtli eemaldamine ja paigaldamine korpusesse

Paratamatult sahtliosa liigutatakse, et võimaldada nii sahtlist objektide kättesaamine kui ka panna sahtel koos objektidega eest ära ehk suletud asendisse. Sahtli eemaldamisel ja paigaldamisel on võimalik muuta liikumist sujuvamaks ja töökindlamaks ning seda käsitletakse selle funktsiooni lahendite all.

4.1.6 Tootmistehnoloogia

Kuna üleüldine tootmistehnoloogia mõjutab suurel määral kogu toote välimust, disaini ja konstrueerimist, siis vaadeldakse ka seda ühe funktsioonina, sest just see piirab ja mõjutab erinevate funktsioonide võimalike lahenduste kasutamist.

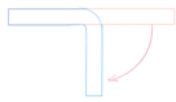



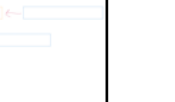
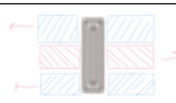
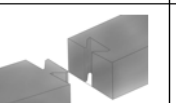
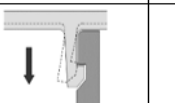
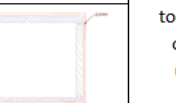
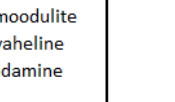



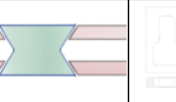
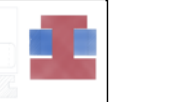



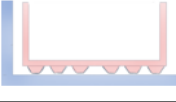





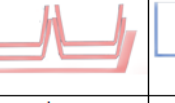
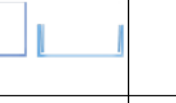


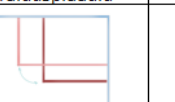
4.1.7 Sahtli sisu eraldamine

Kuna sahtlite sisud on enamjaolt kindla suurusega, kuid tihti on vaja neisse asetada ka väiksemaid objekte ning neid sorteerida, tekib vajadus ühe sahtli ruumi liigendada ja jagada. Sahtli sisu eraldamine on eraldi funktsioon, mis on teistest küll vähem tähtis, kuid ka siin võib leiduda erinevaid lahendusi selle funktsiooni täitmiseks, mistõttu on oluline uurida, kas on rohkem lahendusvõimalusi kui kõige laiemalt levinumad.

4.2 Toote põhifunktsioonide morfoloogiline maatriks

Toote põhifunktsioonidest ja nende võimalikest lahenditest moodustatakse morfoloogiline maatriks (Tabel 4.1), et iga funktsiooni võimalikud lahendusvõimalused kaardistada ja visualiseerida. Morfoloogiline maatriks lihtsustab erinevate terviklike tootelahendite loomist läbi erinevate funktsioonide lahendite kombineerimise.

Tabel 4.1 Toote põhifunktsioonide morfoloogiline maatriks [6], [7], [8], [9]

Lahendus / funktsioon	A	B	C	D	E
1 - korpuse koostamise viis	tasapinnalise lehe painutamine 	sisselõigetega lehe painutamine 1 	sisselõigetega lehe painutamine 2 	hingega tasapinnaliste detailide koostamine 	Erinevate detailide üksteisega ühendamine õiges 
2 - Toote detailide ühendamine	sõrmühendus 	geomeetriline lukk 	snap-fit 	elastse materjaliga detailide kokkusurumine 	Tootemodulite ühendusdetailiga ka toote modulite omavaheline ühendamine 
3 - Tootemodulite ühendamine	moodulite lukustussooned 	eraldiseisev ühendusdetail 1 mitteläbiv 	eraldiseisev ühendusdetail 2 mitteläbiv 	eraldiseisev ühendusdetail 1 - läbiv 	moodulite lukustus - üht seina läbiv 
4 - tootmistehnoloogia	valamine 	lõiketöötlus 	vaakumvormimine 		
5 - sahtli eemaldamine ja paigaldamine korpusesse	libisemine soontel 	libistamine tasapinnal 	lõppasendite fiksaatorid karbi siseküljel 	Sahtli välja libisemist takistav põhjakalle 	
6 - Sahtli kompaktsuse suurendamine transpordil	volditavus tasapinnalisest 	kokkuühendatavus detailidest 	virnastatav üksteise sisse 	elastne sahtel, kokku surutav 	
7 sahtli sisu eraldamine	vaheplaat/sein 	sisemine lisa karp 	muudetava paindekohaga eraldusplaadid 		

Morfoloogilise maatriksi põhjal kombineeriti funktsioonide erinevaid lahendeid moodulitepõhiselt, mille põhjal saadi võimalikud terviklikud põhimõttelahendid igale moodulile. Moodulitepõhistest terviklahenditest valiti iga mooduli kohta kolm parimat terviklahendit, millega edasi töötada täpsemalt tehnilise kontseptsiooni loomise etapis (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Moodulite põhimõttelahendite kokkuvõte

Lahend nr.	Kirjeldus
Moodul A - Karp	
A1	Eelkoostatud tasapinnaline karbi moodul, mis läbi hingede keeratakse karbiks ning karbi lahtised otsad asetatakse üksteise suhtes paika geomeetrilise luku või sõrmlüüde abil ning seejärel fikseeritakse elastse materjaliga detailide ümber. Detailid on valatud ja karbi siseküljel asuvad lõppasendite fiksaatorid.
A2	Karp koosneb eraldiseisvatest detailidest, mis ühendatakse tootemoodulite ühendusdetailiga. Detailid on valatud ja karbi siseküljel asuvad lõppasendite fiksaatorid.
A3	Eelkoostatud tasapinnaline karbi moodul, mis läbi hingede keeratakse karbiks ning karbi lahtised otsad ühendatakse üksteisega <i>snap-fit</i> tüüpi ühendusega. Detailid on valatud ja karbi siseküljel asuvad lõppasendite fiksaatorid.
Moodul B - Ühendus	
B1	Eraldiseisev karbi seina läbiv ühendusdetail, mis on valatud. Detail ühendatakse otsa poolelt ning ühendus ei ole täies ulatuses mööda pinda.
B2	Eraldiseisev karbi ühendusdetail, mis kinnitub kahe karbi seina sisse ulatuvasse soonde ning seeläbi ühendab karbid. Detail on valatav ning ühendus paikneb karbi paneeli küljel.
B3	Eraldiseisev karbi ühendusdetail, mis kinnitub kahe karbi seina sisse ulatuvasse soonde ning seeläbi ühendab karbid. Detail on valatav ning ühendus paikneb karbi paneeli serval.
Moodul C - Sahtel	
C1	Ühest valatud detailist koosnev sahtel, mis on üksteise sisse virnastatav.
C2	Ühest vaakumvormitud detailist koosnev sahtlidetail, mis on üksteise sisse virnastatav.
C3	Kokkuühendatavatest eraldiseisvatest detailidest <i>snap-fit</i> kinnitusega ühendatav sahtel. Detailid on valatud.

5. TEHNILISE KONTSEPTSIOONI LOOMINE

Tehnilise kontseptsiooni loomise etapis töötatakse edasi põhjalikumalt eelmises peatükis leitud lahenditega.

Tehnilise kontseptsiooni loomise etapis töötatakse kolme mooduliga. Sahtlimoodul on kõigist eraldiseisev ning seda saab eraldi ühe tervikuna käsitleda. Korpus ja korpuste ühendusmoodul on küll erinevad moodulid, küll aga on nad üksteisest suures sõltuvuses, mistõttu tuleb nende puhul üksteise eripärasid arvestada. Kuna korpuste ühendusmooduli juures on võimalik karpi lihtsustada ilma, et see oluliselt mõjutaks töö tulemusi, kuid korpuse detailne välja töötamine vajab juba sisendit ühendusmoodulist, siis võetakse ette kõigepealt ühendusmoodul ja seejärel korpus. Kuna sahtel on eraldiseisev tervik, saab seda teistest sõltumata vaadata, kuid suuruse ja mõõtmete osas on sisendiks moodulile A ja B, mistõttu lahendatakse mooduleid järjekorras C, B, A.

5.1 Moodul C – Sahtel

Sahtlimoodulil on tehnilise kontseptsiooni loomise etapis igal terviklahendil nii täiesti unikaalseid ja eraldi lahendeid funktsioonidele kui ka funktsioone, mille puhul erinevate terviklahendite kattuvad osad ei sõltu täpselt konkreetsest terviklahendist ning neid üldisemaid osasid käsitletakse enne konkreetsete terviklahendite juurde liikumist.

5.1.1 Sahtli suurused

Sahtli suuruste paika panemisel on oluliseks sisendiks, et suuremasse sahtlisse peab mahtuma plaat mõõtmetega 250 x 250 x 2 mm. See tähendab, et selle objekti järgi pannakse paika suurema sahtli mõõtmed ning väiksemaid sahtleid peab sinna mahtuma kaks tükki kõrvuti. Kuna väiksemate sahtlite vahele jääb karbi sein koos ühendusmooduliga, läheb kahe väiksema suurusega sahtli laiuselt kaduma selle paksuse ja ühe seinakalde võrra ruumi. Orienteeruvalt jääb sel juhul väiksema sahtli laius vahemikku 90-130 mm. Sahtlite standardkõrguseks on 50 mm, mis on taoliste sahtlite puhul tavapäraseks ja praktiliseks kõrguseks.

5.1.2 Sahtli liigutamine

Sahtli tõrgeteta liigutamine on sahtli juures üks olulisemaid funktsioone ning selle lihtsustamiseks ja mugandamiseks on mitmeid viise.

Sahtli lõppasendi piiramine. Eesmärk on õrnalt fikseerida sahtlid viimasesse lahtisesse asendisse enne sahtli täielikku eemaldamist karbist. Eesmärgiks on takistada sahtli iseeneslikku väljumist näiteks sahtlisüsteemi õrnalt kallutamisel ning lahtises asendis takistab sahtlil välja kukkumast. Lõppasendit saab piirata sahtli tagumise seina kinni hoidmisega korpusedetailide poolt. Oluliseks on sahtlimooduli loomisel arvestada just sellega, et selline pind jääks sahtli tagumisele küljele, kust pidurdada sahtlit kuid täpsem sahtli liikumise piiramine jääb mooduli A juurde.

Sahtli libisemise parandamine. Ükski toodetud pind ei ole täiuslikult ideaalne, tasapinnaline ja sirge, mistõttu selleks, et vähendada sahtli loksumist võimaliku ebatasase põhja ja takistust libisemisel võimalike väikeste ebatasasuste ja ja konaruste pärast, tuleb sahtli põhjale luua profiil või külgedele sooned, mis tekitavad 2-3 tugipunkti või -ala, et sahtel oleks stabiilne ja libiseks sujuvalt ilma, et sahtli tootmisel tekkivad hälbed töökindlusele negatiivset mõju avaldaksid. Täpne tugialade või soonte kuju ja asukoht selgitatakse välja tootedisaini etapis.

5.1.3 Lahend C1

Lahend C1 on ühest vaakumvormitud detailist koosnev sahtlidetail, mis on üksteise sisse virnastatav.

Detailide ühendamine. Kuna Lahendi C1 näol on tegemist vaakumvormitud detailiga, mis juba koosneb ühest objektist, siis pole antud lahendil ühenduskohti.

Tootmistehnoloogiaks on antud lahendi puhul vaakumvormimine (Joonis 5.1), mis seab lahendile järgnevad piirangud ja nõuded, milleks on:

- läbivalt konstantne seinapaksus (tehniliselt võimalik 0,5-12 mm);
- lihtsa geomeetriaga detailid (kalded horisontaalsihist maksimaalselt 87°);
- vertikaalsete seinte soovitatav kalle 3-6°;
- materjalina sobivad termoplastid;
- detaili sisenurgad soovitatavalt vähemalt 1-2 mm raadiustega;

- vältida pikki vertikaalseid pindu, et tagada võimalikult ühtlane seinapaksus;
- majanduslikult efektiivne kogus suurusjärgus 250 - 5000 tk.



Joonis 5.1 Näide vaakumvormitud detailist [10]

Tootmistehnoloogilisest nõuetest selgub, et vaakumvormimine on madalate tootmiskoguste juures küllaltki sobilik tootmistehnoloogia.

Vaakumvormida saab termoplaste ehk võimalik sahtlimaterjal on küllaltki piiratud tootmistehnoloogia poolt. Materjali puhul on oluline, et seda oleks võimalik kasutada erineva värvusega ja erineva läbipaistvusega. Oluline on, et tegemist oleks võimalikult keskkonnasõbraliku ja lõhnava materjaliga, mis tagab sahtli jäikuse ja kõvaduse, kuid oleks piisavalt elastne, et oleks võimalikult purunemiskindel erinevatele löökidele ja kukkumistele (Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Vaakumvormitavate materjalide võrdlus [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]

Materjal / omadus	Läbipaistev variant	Keskkonnasõbralikkus	lõhn	tugevus	Löögi - kindlus	Lõiketöödel - davus	Erinevad värvid	Sobivus
ABS	ei	Üsna kehv, mittelagunev,	Vähese lõhnaga, lõhnatu	hea	Väga hea	hea	Must, valge, hall	Pigem kehv
PMMA	jah	Ümber-töödeldav	Õrn lõhn	keskmine	kehv	hea	Erinevad värvid	Keskmine
PETG	jah	Ümber-töödeldav, küllaltki hea	lõhnatu	hea	hea	Väga hea	Piiratud värvid	Hea
HIPS	Jah, üsna hea	Ümber-töödeldav, mitte eriti hea keskkonnale	lõhnatu	Keskmine-hea	Väga hea	hea	Lai valik värve	Hea

Tabel 5.1 Vaakumvormitavate materjalide võrdlus [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17] järg

Materjal / omadus	Läbi-paistev variant	Keskkonna-sõbralikkus	lõhn	tugevus	Löögi - kindlus	Lõike-töödel - davus	Erinevad värvid	Sobivus
PC	jah	Ümber-töödeldav, üsna keskkonna-sõbraliku tootmisega	lõhnatu	hea	Väga hea	hea	Lai valik värve ja tekstuure	Väga hea
PP	jah	Ümber-töödeldav ja üsna keskkonna-sõbralik	Õrn lõhn	Väga hea	hea	Kehv	Must, valge, piiratud	Keskmine
HDPE	ei	Küllaltki keskkonna-sõbralik, ümber-töödeldav, üks ohutumaid	lõhnatu	Väga hea	hea	Väga hea	Must, valge, värvilised	Väga hea

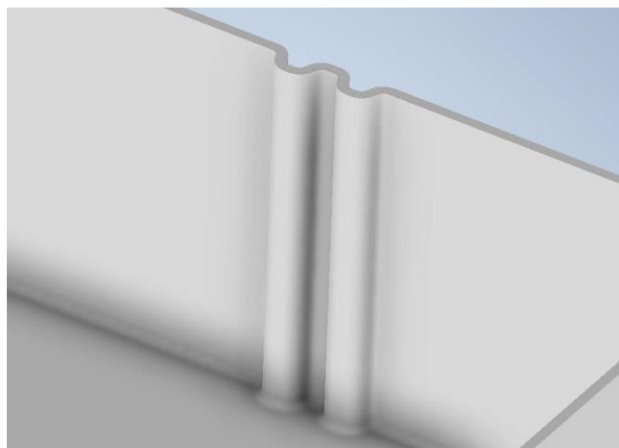
Võimalikest kasutatavatest materjalidest parimateks antud tootes võib pidada PC, HDPE, PETG, HIPS, sest kriitilised nõuded on täidetud ning kõik neist rahuldavad nõudeid ning täpsemalt saab nende seast valiku teha kättesaadavusele ja hinnale toetudes.

Sahtli kompaktsus transpordil. Kuna sahtel võtab äärmiselt suure osa toote mahust ning lahend C1 puhul koosneb see ühest detailist, on oluline, et transportides saaks kuidagi sahtleid kompaktselt kokku pakkida. Vaakumvormimisega toodetava sahtli puhul on efektiivseimaks viisiks kompaktsust suurendada üksteise otsa virnastamine. Tootmistehnoloogiana kasutatav vaakumvormimine eeldab vähemalt 3° seinakallet, mis tähendab, et teatud määral saab sahtleid üksteise sisse virnastada. Sahtli võimalikult efektiivseks virnastamiseks on oluline, sahtli seinakalle on piisavalt suur, et läbimõõt suureneks sahtli põhjast tipuni vähemalt ühe materjalipaksuse võrra. Sahtli virnastamise efektiivsust käsitletakse täpsemalt tootedisaini ja projekteerimise etappides.

Sahtli sisu eraldamine. Sahtli sisu eraldamisel kasutatakse sahtlieraldajana vaheplaate, mis tuleb sahtlisse kuidagi fikseerida. Peamiselt on antud lahendil selleks:

- kuumtöötlemisega soonte pressimine sahtli seinte sisekülgedesse;
- lõiketöötusega soonte lõikamine sahtli seinte sisekülgedesse;
- vaakumvormimisega projekteerida sahtli seintesse sooned.

Kuumtöötlus ja lõiketöötlus eeldavad piisavalt paksuseinalist sahtlit, kuumtöötlemise tulemus ei pruugi olla esteetiline ning lõiketöötlus suurendab toote omahinda märkimisväärselt, mistõttu ainsaks otstarbekaks variandiks jääb projekteerida vaakumvormidesse sahtlialdajate sooned. Peamiseks puuduseks on vaakumvormimisest tulenev konstantne seinapaksus, mille tõttu sahtli välisküljele tekivad süvendatud sooned (Joonis 5.2).



Joonis 5.2 Põhimõtteline sahtlialdaja paigaldussoon vaakumvormimist kasutades

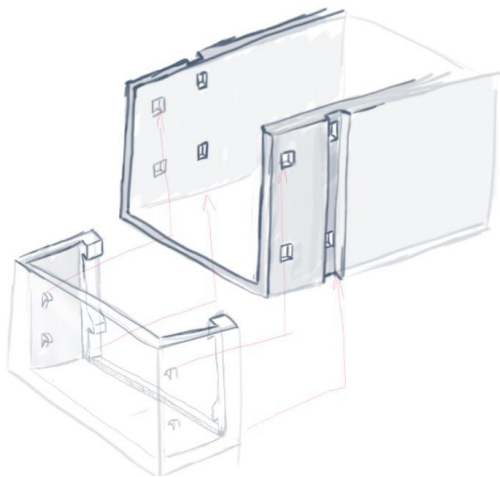
Kokkuvõttes on Lahend C1 küllaltki heaks võimaluseks alustada tootmist väiksemate partiidega ning mitte võtta koheselt valuvormide valmistamisega seotud suuri riske. Kõik tuleb kompromissiga ning selle lahendi puhul on selleks piirangud disainis ja kujunduses, kus keeruline on lisada käepidemele sildi soont ning iga küljest või põhjast tekkiv soon või väljaulatuv tasapind mõjutab täpselt samamoodi teisel pool seina asuvat külge. Lahendi potentsiaalset mittesobivust mõjutab vertikaalsete pindade kaldenurk, mis virnastatavuse nõude täitmiseks võib muuta sahtli ebasobivaks.

5.1.4 Lahend C2

Lahend C2 on ühest valatud detailist koosnev sahtel, mis on üksteise sisse virnastatav.

Detailide ühendamise. Lahendi C2 puhul on ette nähtud luua sahtel ühest detailist ning sel juhul detailide ühendamist ei ole. Küll aga tasub kaaluda nii transpordikompaktsuse kui ka esikülje ja ülejäänud sahtliosa konfigureeritavuse võimaldamise seisukohast sahtliosa jagamist kaheks detailiks, kus sahtli esiküljest tekib eraldi detail. Sellisel juhul tuleb esiküljel ülejäänud sahtliga liita. Sahtli ja esikülje ühendamiseks on otstarbekas antud rakenduses kasutada *snap-fit* tüüpi ühendust (Joonis 5.3). Antud ühenduse puhul on äärmiselt oluline, et esiküljel ja püsiks tugevalt koos ülejäänud sahtliga, mistõttu tasub esiküljel ühendada suunast, mille puhul ei tule

esemeid täis sahtlit tõstes esikülj lahti. See tähendab, et *snap-fit* ühendus ise ei pea vastu pidama ja töötama kasutaja poolt otse rakendatud jõule vaid seda kannavad detailide geomeetrilised ühendused võimalikult suures mahus ise ning ühendusele rakendatakse koormust minimaalselt.



Joonis 5.3 Võimalik *snap-fit* tüüpi kinnitus lahendi C2 sahtli detailid kinnitamiseks

Lahendi C2 puhul võimaliku sahtlimooduli eraldamisel eraldi detailideks tuleb projekteerimise etapis kindlasti selgitada välja sellist tüüpi liite teostatavus nii tugevuse kui ka seinapaksuse seisukohast, sest sellist tüüpi liite teostamine tähendab suure tõenäosusega ka sahtli detailide liitekohas suurt seinapaksuse kasvu, mistõttu on mõistlik antud lahendust kaaluda kui üht võimalikku, kuid hetkel võimalusel eelistada ühest detailist koosnevat sahtlimoodulit Lahendina C2.

Tootmistehnoloogiana on Lahend C2 puhul välja valitud valamine, mis võimaldab sahtlit masstoota ning seeläbi saavutada võimalikult madal omahind. Survevalu seab tootmisel piirangud ja nõuded sahtlile (Tabel 5.2).

Tabel 5.2 Lahend C2 tootmistehnoloogiast tulenevad nõuded [18]

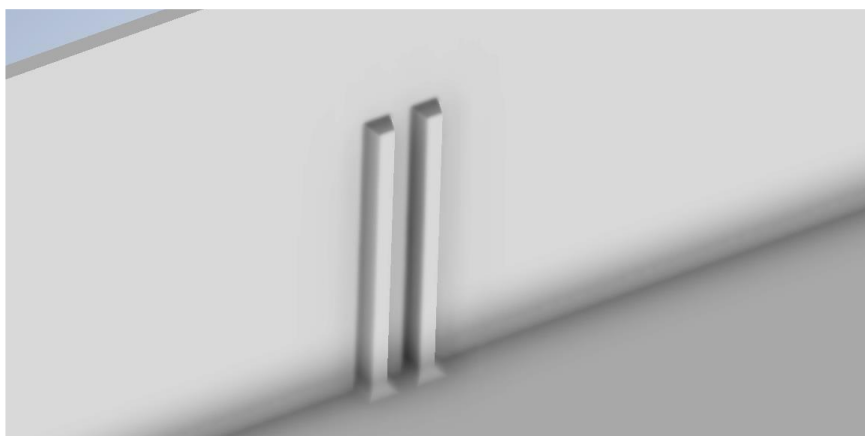
Nõuded	väärtus
Majanduslikult otstarbekas minimaalne kogus (tk)	100000
Tootmise alustamiskulud (€)	3000...100000
Suured muutused seinapaksuses	Vältida, sest põhjustab deformatsioone
Nurgad ja üleminekud	Võimalikult sujuvad
Soovituslik seinapaksus (mm)	1,2...3
Valuvormide liikumissuunas minimaalsed kaldenurgad (°)	2
Sisenurkade raadius suhtena seinapaksusest	0,5
Välisnurkade raadius suhtena seinapaksusest	1,5

Tootmistehnoloogiana pakub survevalu hulgaliselt võimalusi, kuid samal ajal ka seab märkimisväärselt piiranguid. Seetõttu on oluline tootmiskesksel tootedisainile ja projekteerimisele keskenduda, et detail oleks toodetav võimalikult odava vormiga võimalikult lihtsalt, et hoida investeeering vormidesse võimalikult madalana.

Survevalu meetoditega valatakse peamiselt termoplaste, kuid alternatiivsete valumeetoditega on võimalik ka mõningaid muid plaste valada ja vormida nagu näiteks silikoonid ja kahekomponentsetel vaikuldel põhinevad materjalid. Masstootmises ei ole need otstarbekad, kuid prototüüpimisel ja võimalike valudefektide välja selgitamiseks on need meetodid sobivad ja levinud. Materjalideks sobivad survevalu puhul samad materjalid, mis vaakumvormimise puhulgi ehk PC, HDPE, PETG, HIPS.

Sahtli kompaktsus transpordil tuleb saavutada sarnaselt lahendiga C1 kombinatsioonina materjalipaksusest ja seinakaldest. Valatud sahtli puhul mooduli kaheks detailiks jaotamine ei pruugi tuua erilist võitu hinnas, kompaktsuses ega anna ka kuidagi muudmoodi efekti, mistõttu on otstarbekas jätta otsus sahtli jaotamise kohta üheks või kaheks detailiks lahtiseks, et mitte liigselt piirata tootedisaini võimalikke lahendusi. Kompaktsuse suurendamise üheks võimalikuks lahenduseks on seinapaksuse mõningane vähendamine ja teatud kõrgusest alates seinte kalde suurendamine, et sahtlid mahuksid mõnevõrra kompaktsemalt üksteise sisse.

Sahtli sisu eraldamine on lahendatav sarnaselt lahendiga C1, kuid peamiseks erinevuseks on asjaolu, et antud lahendil on võimalik projekteerida külgede sisepinnale sooned ilma, et külgede välispinnas sellest midagi muutuks (Joonis 5.4). Ühtlasi saab konstrueerida sellised sooned ka tugevdusribidena ning sel juhul omavad mitut funktsiooni.



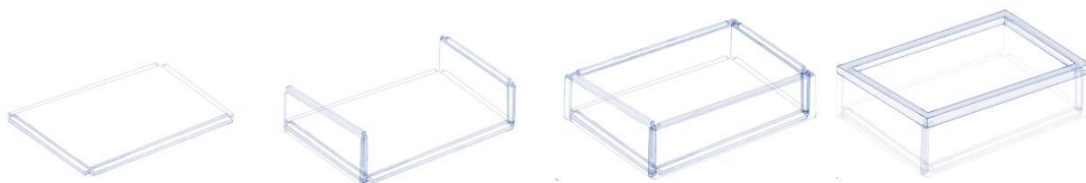
Joonis 5.4 Võimalik sahtlieraldaja paigaldussoon valumeetodil sahtlit tootes.

5.1.5 Lahend C3

Lahend C3 on kokku ühendatavatest eraldiseisvatest detailidest *snap-fit* kinnitusega ühendatav sahtel. detailid on valatud.

Detailide ühendamine. Lahendi C3 puhul on detailide ühendamine teistest sahtli lahenditest erinev, sest moodul toodetakse erinevatest detailidest ning üksteisega kokku ühendatavaid detaile on mitu. Detailideks jagamine võimaldab eri suurusega sahtlite puhul kasutada mõningal määral rohkem universaalseid detaile ja toodet standardiseerida. Lisaks võimaldab detailide ühendamine ka suures osas suurendada toote üleüldist kompaktsust transpordil ning suuremas ulatuses varieerida tootedisaini ja erinevate kujudega, mis tuleb sahtlimooduli seinapaksuse arvelt, mis sel juhul mõnevõrra suureneb. Detailid ühendatakse üksteisega *snap-fit* tüüpi ühendustega, mida positioneeritakse võimalusel selliselt, et ühenduskohtades tekkivad koormused ei ühti detailide ühendamise suunaga, et vähendada ohtu, et kasutamise käigus detailid üksteise küljest lahti tulevad (Joonis 5.5). Ühtlasi luuakse ühendused selliselt, et tahtlikult neid lõhkumata lahti võtta on keeruline, sest ühendamise eesmärk ei ole pakkuda mitmekordset kokku ja lahti ühendamist vaid vähendada toote saatmisel kliendile transpordimõõtmelid.

Sahtlimooduli detailide ühendamine algab põhjaplaadist, mille külge eest ühendatakse eest taha suunas esipaneel, tagumisele küljele tagant ette suunas tagumine külg. Seejärel sarnaselt liidetakse äärmised küljedetailid nii põhja kui ka juba ühendatud detailidega. Sellistest suundadest liitmise põhjuseks on sahtlis kasutamisel tekkivad jõud. Sisse ja välja liigutamisel hoiavad esikülge paigal külgmised seinad ning üles-alla tõstmisel põhjaplaat, mille puhul rakendatav jõud ja koostamise suund on erinevad. Viimasena lisatakse sahtli detailide ülemisse serva ülemine raam mis ei lase külgedel üksteise suhtes liikuda ja hoiab kogu sahtli võimalikult jäigana.



Joonis 5.5 Ühendamispehimitel sahtli koostamise skeem

Tootmistehnoloogiana kasutatakse lahendi C3 puhul valumeetodit. Masstootmises survevalu ning väikeseeria ja prototüüpimises on ehk võimalik ja mõistlik kaaluda alternatiivseid valumeetodeid, näiteks silikoonvormi valu. Tootmistehnoloogiast tulenevad põhiohuded on samad, mis lahenduse C2 puhul.

Peamiseks erinevuseks on võrreldes eelmiste sahtlimooduli lahenditega asjaolu, et kuna sahtlimoodul on võrreldes varasemate lahenditega eraldi detailideks jaotatud, annab see oluliselt suurema võimaluse ja vabaduse disainis ja näiteks käepideme asukohas ja kujus ning nõuetest tulenev vähemalt 2° seinakalle mõjutab madalaid detaile äärmiselt vähe ning seetõttu sahtli enda küljed saavad olla täielikult vertikaalselt ning seeläbi kompenseerida ühenduskohtadest tulenevat ruumikadu.

Sahtli kompaktsus transpordil on tagatud tasapinnaliste detailidega, mida on võimalik laotada pakendisse üksteise kõrvale, otsa või vastavalt sellele, kuidas parajalt pakendisse kõige kompaktsemalt mahub. Kõigist võimalikest lahenditest on see kõige ruumiefektiivsem.

Sahtli sisu eraldamiseks kasutatakse sarnaselt varasemate lahenditega sooni sahtli sisekülgedel. Kuna küljepaneelid toodetakse iseseisvalt, on võrreldes varasemate lahenditega praktiliselt piiramatud võimalused luua tootedisainist ja nõuetest lähtuvalt kõige vajalikumad ja sobivamad sahtlieraldaja sooned.

5.2 Moodul B – Korpuste ühendusmoodul

Korpuste ühendusmoodul on üheltpoolt küll eraldiseisev moodul aga teisalt suuresti seotud karbimooduliga ning karbimooduli täpne tehniline lahendus sõltub suuresti ühendusmoodulist ning seab mõningad piirangud, mistõttu vaadeldakse korpuste ühendusmoodulit enne karbimoodulit. Ühendusmooduli peamiseks eesmärgiks on eraldiseisvad terviklikud karbimoodulid üksteisega jäigalt ja tugevalt liita. Liited peavad olema võimalikult kompaktsed, töökindlad ja samas ka lahtivõetavad. Liide peab võimalikult vähesel määral takistama tootedisaini võimalusi.

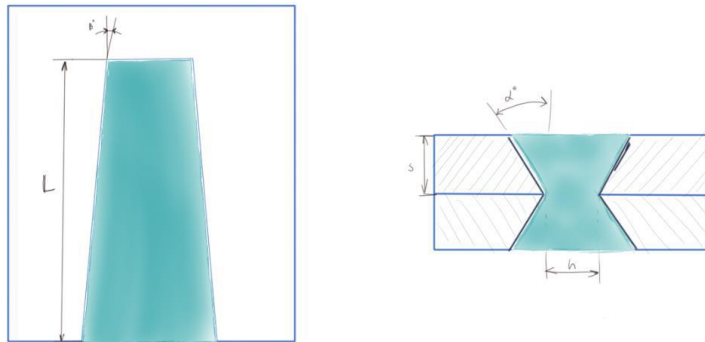
5.2.1 Lahend B1

Lahend B1 on eraldiseisev karbi seinä läbiv ühendusdetail, mis on valatud. Detail ühendatakse karbiga erinevatelt külgedelt pooltelt ning ühendus ei asetse täies ulatuses mööda pinda.

Moodulite ühendamine. Lahendi B1 korral on korpuse seintes soontega avad, mille täidab ära ühendusdetail. Karpide sooned on seinte ristlõiget vaadates trapetsikujulised ning see võimaldab ühendusdetailiga siduda seinad üksteisega kokku (Joonis 5.6). Moodulite ühendamisel on karbi mooduliga seotud karbi seinapaksus ja soone võimalik maksimaalne pikkus. Ühendamise tugevuse ja püsivuse seisukohalt on parameetriteks

soone profiili laius, mis mõjutab ühendusdetaili tugevust, profiili külgede kaldenurk, mis mõjutab ühendusdetaili ja karbi paneeli vahelise seotise tugevust. Soone pikkus mõjutab mõlemat eelnevat parameetrit ning soone kaldenurk mööda pikitelge mõjutab omakorda ühendusdetaili püsivust ja selle asetamise lihtsust moodulitesse. Moodulite ühendamise juures on seega järgnevad parameetrid, mis mõjutavad moodulite ühendamist ning mida tuleb tootedisainis ja projekteerimise etapis:

- karbi seinapaksus;
- soone profiili laius;
- soone profiili külgede kaldenurk;
- soone pikkus;
- soone kaldenurk mööda pikitelge.



Joonis 5.6 Lahendi B1 ühendusdetaili parameetrid

Tootmistehnoloogiana lahendi B1 puhul kasutatakse valamist. Prototüüpimise ja väikeseeriatootmises suure tõenäosusega silikoonvormi valamist ning seeria- ja masstootmise puhul survevalu meetodit. Tootmistehnoloogilistest piirangutest [18] kõige olulisemateks ühendusdetaili puhul on, et:

- nurgad ja üleminekud peavad olema võimalikult sujuvad;
- soovituslik seinapaksus vahemikus 1,2-3 mm;
- võimalikult ühtlane seinapaksus;
- valuvormide liikumissuunas kalded vähemalt 2° ;
- sisenurkade raadius $0,5 \times$ seinapaksusest;
- välisnurkade raadius $1,5 \times$ seinapaksusest;
- kasutatavateks materjalideks PC, HDPE, PETG või HIPS.

Tootmistehnoloogiaga seotud piirangutest tuleb selgelt välja, et antud detaili puhul on tegemist kehaga, mis peab hoidma jäikust ja tugevust, kuid samas olema väheste deformatsioonidega küllaltki väikeste tolerantsidega toodetav. See seab piirangud täpsele tootedisainile ja projekteerimisele. Tootedisainis tuleb arvestada piiranguid ning projekteerimises arvestada, et selleks, et detail jääks toodetav ning ühtlase seinapaksusega, tuleb osadele külgedele teha õõnsused ning seejärel tugevdada tehtud õõnsused jäikusribidega, mis tähendab, et vormide avanemise suund on nendele külgedele.

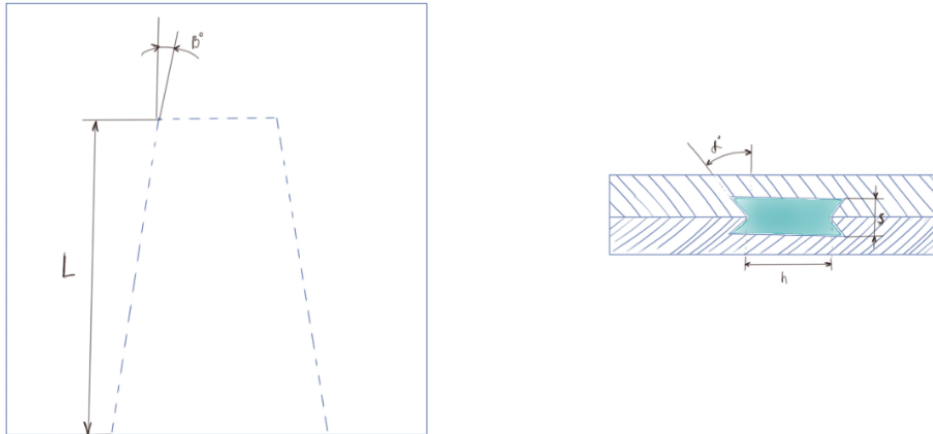
Kinnisteks pindadeks peavad kindlasti jääma detaili nähtavad osad. Karbi külgede tasapinnale jäävatele pindadele õõnsuste tegemine ei ole kuigi esteetiline ja võib toote väärtust rikkuda. Jättes need pinnad kinniseks, on vaja õõnsused teha kaldpindadele. Kuna kaldpinnad on toetatud jäikusribidega, siis on tagatud suur täpsus, sest võimalikud deformatsioonid toimuvad kinnistel pindadel ja tugevdusribid jäävad ka sel juhul kandma moodulites moodulite eraldamist põhjustavaid jõude ning sel juhul on kindlasti tugevdusribid eelistatud suundades.

5.2.2 Lahend B2

Lahend B2 on eraldiseisev karbi ühendusdetail, mis kinnitub kahe karbi seina sisse ulatuvasse soonde ning seeläbi ühendab kahe karbi seinad. Detail on valatav ning ühendus paikneb karbi paneeli küljel

Moodulite ühendamise B2 lahendi puhul toimub karbi seina mitteläbiva ühendusdetailiga (Joonis 5.7). Ühendusdetaili puhul on vaja detaili paksus hoida võimalikult minimaalne ja karbi seinapaksus piisavalt suur, et sellist lahendust kasutada. Oluline on, et ühendusdetaili poolt karbi seinas hõivatud paksuse tõttu ei muutuks sein märkimisväärselt nõrgemaks, mis tähendab, et minimaalse tugevuse peab säilitama alles jäänud osa seinast, mis omakorda muudab ülejäänud seina üle dimensioneerituks ning oluliselt kohmakamaks, kui teoreetiliselt on vajalik. Mooduli ühendusdetaili seisukohast on olulisteks parameetriteks:

- detaili minimaalne võimalik paksus;
- soone profiili laius;
- soone profiili külgede kaldenurk;
- soone pikkus;
- soone kaldenurk mööda pikitelge.



Joonis 5.7 Lahendi B2 ühendusdetailide parameetrid

Tootmistehnoloogiana sarnaselt lahendiga B1 on valitud valumeetodid ning tootmistehnoloogiast tulenevad nõuded on üldiselt sarnased, kuid oluline on panna tähele, et antud lahendi detailid ei ole kindlasti seest õõnsad, sest peavad olema minimaalse paksusega, mistõttu ei ole kuhugi paigutada tugevdusribisid ning on suurem oht paigaldamise käigus tahtmatult ühendusdetail ära lõhkuda. Lisaks tuleb tähele panna, et iga raadius ja kumerus, mis tehakse, vähendab töötava pinna suurust ning mõjutab seega detaili töövõimet. Võimalik, et antud detaili puhul peab ka alternatiivina kaaluma teisi tootmistehnoloogiaid, kuid see teeb kogu toote tootmise mõnevõrra kulukamaks.

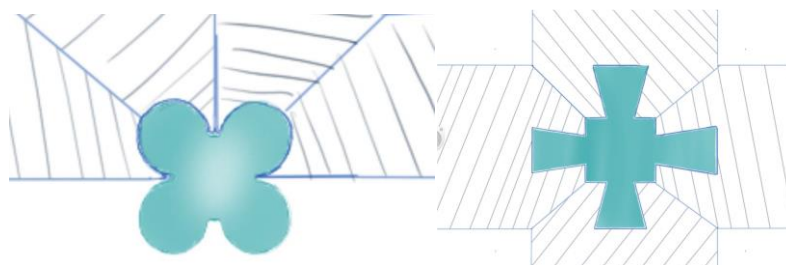
5.2.3 Lahend B3

Eraldiseisev karbi ühendusdetail, mis kinnitub kahe karbi seina sisse ulatuvasse soonde ning seeläbi ühendab karbid. Detail on valatav ning ühendus paikneb karbi paneeli serval.

Moodulite ühendamine. Kui varasemate lahendite ühendused paiknesid paneelide keskel, siis lahend B3 puhul paikneb ühendusdetail karbimooduli servas (Joonis 5.8). Ühe probleemina kerkib kohe esile sellise lahenduse puhul karbimooduli paneelide nurgakinnitus, sest sel juhul koondub kolme seina omavaheline kinnitus ühte nurka koos ühendusmooduli lahendiga, mis võib tekitada täiendavaid probleeme ja väljakutseid. Lahendi B3 puhul on mitu erinevat lahendust, millest ühe puhul ühendusdetaili eesmärk on ühendada pelgalt karbimoodulid üksteisega. Teisel juhul on ühendusdetaili eesmärgiks ühendada nii karbimoodulid kui ka karbi mooduli enda detailid. Lisaks on nurgakinnituste puhul oluline välja selgitada, kas teha üks universaalne nurgadetail 4 ühendusküljega, mis kahe välispaneeli ühendamisel jätab ühe ühenduskülje nähtavaks ning kahe välispaneeli nurkade ühendamisel jätab kaks ühenduskülge nähtavaks või

hoopiski luua erinevad ühendusdetailid, millest ühel on 4 kinnitust, teine on mõeldud nurgas kasutamiseks ja kolmas on mõeldud tasapinnaliseks pikendamiseks. See, kuidas täpselt ühendusdetailid jaotada antud lahendis on küsimus, mis tuleb täpsemalt välja selgitada tootedisaini ja projekteerimise etappides. Peamisteks olulisteks parameetriteks mõlema võimaliku lahendi puhul on:

- võimalike ühendusdetailide variatsioonide arv;
- ühendusdetailide ühendusosa täpne geometria ja lukustava pinna kaldenurk ja suurus;
- ühendusdetaili poolt hõlmatav paksus korpustest;
- ühendusdetaili kaldenurk pikisuuna suhtes.



Joonis 5.8 Lahendi B3 ühendusdetaili variandid (variant 1 vasakul, variant 2 paremal)

Jooniste variantidelt (Joonis 5.8) on näha kaks erinevat võimalust lahendi B3 lahendusvõimalusteks. Variant 1 puhul liidetakse moodulite nurgad, variant 2 puhul liidetakse nii moodulite nurgad kui ka detailid. Variant 1 eeliseks on võimalikkus liita terviklikke moduleid ning üksikuna on moodulites ainult nurkade soon. Variant 2 puhul ühte moodulit ühendades jääb nurkadesse veel kaks vaba soont, kuhu on võimalik lisapaneeli ühendada. Sellisel juhul esteetilisest seisukohast on variant 1 parem, kuid on võimalik variant 2 puhul teha eraldi nurga, külje ja keskühendus selliselt, et välja paistvad servad ja küljed jäävad välispinnaga ühele tasapinnale ning sel juhul on variant 2 esteetiliselt parema tulemusega kui variant 1. Ühenduse tugevuse, jäikuse ning üleüldise modulaarsuse suhtes on eelistatum variant 2, sest nelja mooduli ühendamisel kahe mooduli vahele ei jää mitte kaks seinat vaid üks, mis võimaldab materjali ja detailide arvelt kokku hoida ning nii turustajale kui ka kliendile muutub suuremate sahtliriivide kombineerimine odavamaks kui ükshaaval neid üksteisega ühendades.

Täpne valik nende kahe võimaliku lahendi osas on mõistlik langetada tootedisaini etapis, kui on näha, mida nende lahenditega täpsemalt on võimalik luua.

Tootmistehnoloogia seisukohast on tegu sarnase detailiga Lahendile B1 ja B2, kuid on ka mõned eripärad. Näiteks kaetud kinnised küljed peavad olema vaid need, mis

paistavad välja ning see jätab küllaltki suure vabaduse luua tugevdusribisid, et suurendada detaili jäikust ja paindetugevust.

Kaldpindadena saab kasutada kas nähtavale jäävaid pindu või teatud suundades orienteerides isegi võib puududa vajadus täiendavate kaldpindade loomise järele.

5.3 Moodul A – karp

Karbimoodulit otsustati analüüsida viimasena, sest sahtlite suurusest sõltub ka karbi mooduli terviksuurus ning moodulitevaheline ühendus võib samuti karbimoodulile teatud piiranguid seada. Karbimooduli juures on alamosasid, mille erinevate lahendite lahendused kattuvad ning mis seetõttu on mõistlik analüüsida eraldi juba enne erinevatesse lahenditesse laskumist.

5.3.1 Tootmistehnoloogia

Tootmistehnoloogia seisukohast on kõik kolm lahendit sarnased. Kõik detailid projekteeritakse eraldiseisvatena toodetavaks, mis seejärel ühendatakse. See tähendab, et karbi moodul koosneb kindlasti külgedest, põhjast pealmisest paneelist ning ka tagumisest küljest. Lahendite lõikes võib erinevaid lisadetaile juurde lisanduda, kuid kõik sellised detailid toodetakse valumeetoditega, mis seab ühtsed ja konkreetseid piirangud ja nõuded detailidele. Tootmistehnoloogiast tulenevad eripärad detailidel [18], milleks on:

- suured muutused seinapaksuses võivad põhjustada deformatsioone materjali jahtumisel;
- vältida erinevatest suundadest tekitatavaid avasid;
- nurgad ja üleminekud peavad olema võimalikult sujuvad;
- soovituslik seinapaksus vahemikus 1,2-3 mm;
- valuvormide liikumissuunas kalded vähemalt 2°;
- sisenurkade raadius 0,5 x seinapaksusest;
- välisnurkade raadius 1,5 x seinapaksusest;
- kasutatavateks materjalideks tootmisvalmis detailidel PC, HDPE, PETG või HIPS.

Tootmistehnoloogias tulenevalt jääb üks pool detailist suletud tasapinnaga küljeks ning teine vajadusel sisemiselt õõnsaks pinnaks, mille täidavad tugevdusribid ja konstruktsioon. Kui õõnes osa jääb karbi siseküljele, siis võib see põhjustada sahtli ebaühtlast liikumist, kuid kui see jätta karbi välisküljele, siis võib tagajärjeks olla ebaesteetiline ja mittesobiv disain. Tootmistehnoloogilise väljakutsena tuleb arvestada asjaolu, et tootedisainist lähtudes mõistlik on õõnes osa jätta karbi siseküljele, mis seejuures ei tohi negatiivselt mõjuda sahtli liikumisele. Üheks võimaluseks on sahtli liikumise sihis jooksvate ribide projekteerimine kõrgemaks kui liikumissuunaga risti olevatel ribidel, sest sel juhul ei saa sahtel takistavatele ribidele vastu minna ning terves ulatuses määravad liikumise pikisuunalised ribid. Plaadi tüüpi paneelide korral on võimalik vormi pooled asetada selliselt, et vajalikud 2-3° seinakalded ei mõjuta eriti toote välimust ning karbi detailid jäävad suures osas ka disainitavaks ja suures ulatuses kujundatavateks.

5.3.2 Sahtli lõppasendi fikseerimine

Kõigil karbimooduli lahenditel on sahtli lõppasendite fikseerimine analoogne, mistõttu on ka mõistlik selle lahend analüüsida eraldiseisvalt enne lahendite eraldi analüüsimist. Sahtli lõppasendi fiksaatorid asuvad selliselt, et sahtli tagumisest ülemisest servast

lahtises asendis ei lase sahtliasendi fiksaator sahtlil täielikult avast eralduda (Joonis 5.9). Lõppasendi piiramise eesmärgiks

on vähendada võimalikke negatiivseid tagajärgi sahtlite valesti kasutamisest. Sel viisil ei eraldi sahtel korpusest õrna kalde või sahtlimooduli tõstmise järsu kiirenduse puhul. Lisaks võib avatud asendi piiramisel muretult jätta sahtli avatud asendisse seisma ilma et peaks kartma, et sahtel ise välja kukub avast. Sahtlite lõppasendite fikseerimisel on olulised nõuded, mida peab täpsemalt järgima ja välja selgitama tootedisaini ja projekteerimise etappides, milleks on:

- asendipiirajate kõrgus ja ülekattuvus sahtliga;
- sahtel peab olema vajadusel ka täielikult eemaldatav korpusest;
- detailidel ei tohi olla jäävaid deformatsioone liikumise tekitamiseks vajaliku jõu rakendamisel;
- sahtlipiiraja ei tohi märkimisväärselt vähendada seadme kompaktsust transpordil;
- sahtlipiiraja ei tohi segada sahtlisüsteemi tavapärasest tööd.



Joonis 5.9 Põhimõtteline sahtli lõppasendi fiksaatori lahendus

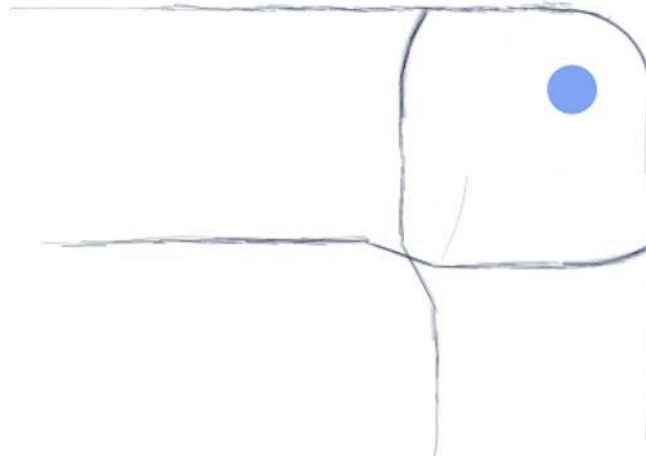
5.3.3 Lahend A1

Lahendi A1 puhul on tegemist eelkoostatud tasapinnalise karbiga, mis läbi hingede keeratakse ruumiliseks karbiks ning lahtised otsad asetatakse üksteise suhtes paika geomeetrilise luku või sõrmlite abil ning seejärel fikseeritakse elastse materjaliga detailide ümber. Detailid on valatud ja karbi siseküljel asuvad lõppasendite fiksaatorid.

Koostamise viis. Lahendi A1 puhul koostatakse detailid eelnevalt ühendatud hingede abil kokku. See tähendab, et tarbijale saabub pakendis tasapinnaline külgedest kokku pandud süsteem, mille küljed saab ta ise kokku keerata ning õiged nurga fikseerib detailide geomeetria, mis laseb täpselt õigele nurgale detailid keerata (Joonis 5.10). Koostamise puhul on olulisteks tehnilisteks aspektideks:

- pöörlemistelje asukoht karbi nurga suhtes;
- hinge paigaldus ja nähtavus;
- pöördenurga fikseerimine;
- hinge osade arv.

Pöörlemistelje asukoht karbi nurga suhtes on äärmiselt oluline, sest kui eesmärgiks on seadme esteetiline välimus kokkupandud asendis, siis on oluline, et kokkukeeratavate paneelide vahel ei jääks tühimikke või ebakorrapärast soont, mis tähendab, et pöörlemistelje asukoht tuleb väga hästi läbi mõelda, et koostatud asendis asetseksid detailid üksteise suhtes ideaalselt. Üheks võimaluseks on variant (Joonis 5.10), kus karbi mooduli serv on ühtlase raadiusega ning selleks, et taoliselt ühtlase välimuse ja ilmeka tulemust ilma tühimiketa saavutada, on joonisel olevate kontuuridega küljepaneelid, mis pöörlevad ümber telje, mida on kujutatud sinise punktina. Oluliseks on antud variandi puhul, et sinine punkt on kontsentiline mooduli välimise raadiusega, sest vastasel korral ei õnnestu pöörata detaile tasapinnaliseks.

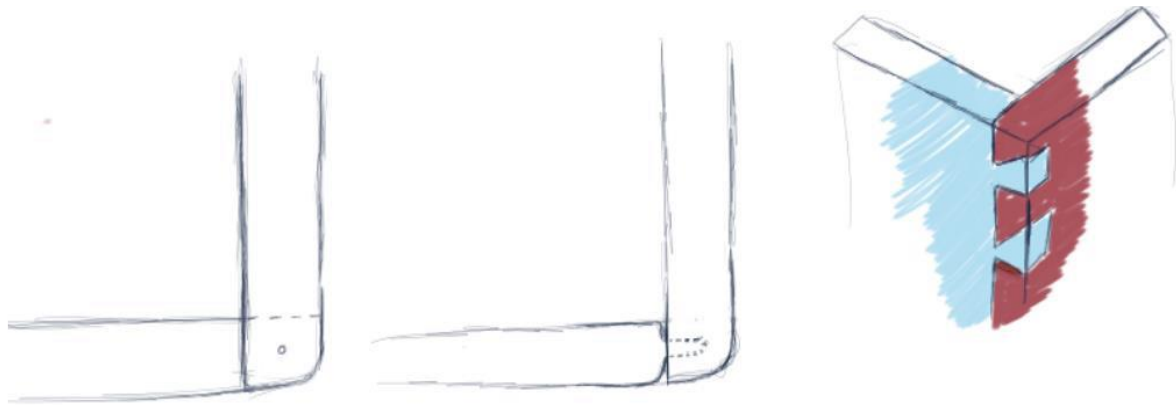


Joonis 5.10 Lahendi A1 pöörlemistelje asukoht karbi nurga suhtes

Detailid on eelnevalt ühendatud hingedega, ning need koostatakse paneelide õigesse asendisse pööramisega, mistõttu tuleb jälgida, et hingedega paigaldus ning hinged ise kokkupandud asendis välja ei paistaks, mis on tootedisaini ja projekteerimise seisukohast täiendavat keerukust ja tehnilisust loov aspekt, kuid see-eest oluline. Pöördenurga fikseerimiseks kasutatakse paneelide geomeetriat ja luuakse geomeetriline stopper, kus detaile ei ole võimalik üle ettenähtud nurga keerata. Hinge on võimalik teha kõigest kaheosalisena, kus üks osa hoiab üht osa teljest ja teine osa teist, kuid seda on võimalik teha ka näiteks kasvõi kümneosalisena, kus eri detailide osad kordamööda toetavad telge. Hing peaks olema minimaalselt kolmeosaline, et vähendada võimalikke soovimatuid lõtkusid, pingeid ning suurendada täpsust. Täpne hinge osade arv selgub tootedisainis, sest ka see võib olla üks tootedisaini elementidest ning võimalik, et see on üheks oluliseks osaks, mida varieerida.

Detailide ühendamise. Lahendi A1 puhul fikseeritakse kokku ühendatud detailid sõrmlite või geomeetrilise luku ja elastse materjaliga. Sõrmlite või geomeetriline lukk on antud rakenduses oluline selleks, et kogu karp koos hoidev jõud ei rakenduks ainult elastsele materjalile, sest vastasel korral lahtisest küljest karp tõstes võib teatud ulatuses elastne materjal deformeeruda ja karp igal tõstmisel avaneda (Joonis 5.11). Geomeetrilise luku eesmärk on mainitud liikumine fikseerida ning elastse materjali eesmärk geomeetrilise luku tekitanud elementi kindlalt õiges asendis hoida. Geomeetrilise luku lahendamise võimalusteks on:

- sõrmühendus lahtiste külgede kinnituskohas;
- ühe lahtise detaili soone paigaldamine teise lahtise detaili soone sisse;
- geomeetriline lukk, kus ühe detaili soon läheb läbi teise detaili seinaga.



Joonis 5.11 Geomeetriliste lukkude võimalused kokku keeratud karbimooduli fikseerimiseks

Lisaks geomeetrilisele lukule ühendab karbi terviklikuks mooduliks elastne rõngas, mis pingutatakse ümber koostatud karbimooduli mooduli välisküljele süvendatud soonde selliselt, et paigaldatud olekus on see elastselt deformeeritud ja survestab detaile, et vältida kasutamise käigus kogemata konstruktsiooni avamise. Elastne rõngas paikneb moodulisse süvendatud soontes selliselt, et välispinnalt välja ei ulatu ning kogu välispind on ühes tasandis. Elastse rõnga poolt olulisteks teguriteks on:

- Rõnga materjali paksusest sõltuv soone sügavus paneelides;
- rõnga materjali profiili mõõtmed;
- soovituslik kasutada kaht rõngast võimalikult mooduli otstes.

Rõnga materjalile märkimisväärseid nõudeid ei ole peale selle, et tegemist peab olema elastse materjaliga, mille värvust on võimalik vastavalt vajadusele konfigurereida. Täpne materjalivalik ja parameetrid selguvad tootedisaini ja projekteerimise etappides.

Ühendusmooduli paigaldamine karbi külge. Ühendusmoodulitest on mõistlik antud karbimooduli lahendiga kokku panna ainult lahendeid B1 ja B2, sest servadest B3 puhul kinnitamine muudaks kogu konstruktsiooni äärmiselt õrnaks ja suurendaks oluliselt purunemise ohtu. Ühendusmoodulite B1 ja B2 lahendeid on võimalik mõlemaid edukalt kasutada koos lahendiga A1 ning ainsaks piiravaks teguriks on asjaolu, et ühendusmoodul ei saa läbida külge pikkuse sihis täies ulatuses ning peab kinnituma esi- või tagaküljelt ja saab joosta kuni 1/3 ulatuses kogupikkusest, et jätta ruumi elastsele rõngale. Muid takistusi Ühendusmoodulite kasutamiseks antud lahendisse ei ole.

5.3.4 Lahend A2

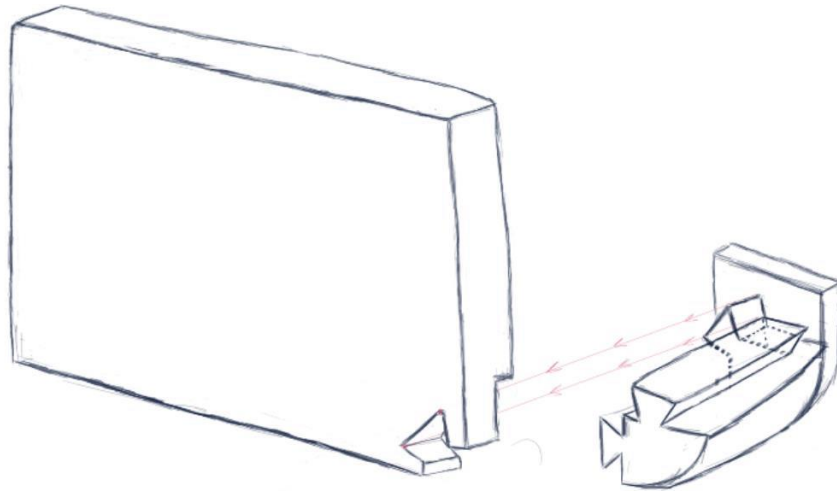
Lahendi A2 puhul on tegemist eraldiseisvatest detailidest loodud karbiga, mis ühendatakse tootemoodulite ühendusdetailiga. Detailid on valatud ja karbi siseküljel

asuvad lõppasendite fiksaatorid. Lahendi A2 puhul on koostamise viis, detailide ühendamine ja ühendusmooduli paigaldamine karbi külge kõik integreeritud korpuse detailidesse ning seetõttu ei vaadelda neid peatükke eraldi vaid ühe tervikliku peatükina.

Karbimooduli ühendamine. Lahend A2 puhul koostatakse karp terviklikuks mooduliks eraldiseisvatest detailidest, mis ühendatakse üksteisega kokku terviklikuks mooduliks, kasutades mooduli B elementi. Erinevalt lahendist A1 ja A3 lahendi A2 puhul karbi koostamine terviklikuks ja moodulite ühendamine koosneb samast protsessist ja tegevusest, ehk üks sõlm ja liide omab mitut funktsiooni. See tähendab, et karbi mooduleid ühendav detail paigutatakse karbi detailide servale ning ainsaks võimalikuks mooduli B lahendiks saab olla B3. Karbimooduli detailide servades on ühendus, mis seob karbimooduli terviklikuks. Karbi detailide servades on identsed kinnitused ning vajadusel valik erinevaid ühendusdetalle, mida saab vastavalt vajadusele kasutada nurkadesse, külje keskele kinnitamiseks või igast suunast moodulite ühendamiseks.

Ühendusdetaili lahendi B3 variandist 2 (Joonis 5.8) on näha viirutatud osadena karbi detaile ja rohekas-sinisena ühendusdetaili ristlõikes. Joonisel on ühendatud neli karbi külge. Ühenduse puhul on oluliseks, et sein ei tule ühendusest välja ning samas ka tagada vastupidavus ühendusdetaili väljaulatuvatele osadele olukorras, kus karbi külgedele mõjub jõud, mis hakkab väljaulatuvaid osasid painutama. Oluliseks piiravaks ja tähtsaks omaduseks on sellise lahenduse puhul karbi külje seinapaksus, sest taoline kinnitus vajab kindlat minimaalset seinapaksust, et vähendada pingekontsentraatorite teket detailides. Täpsest tootedisainist sõltub projekteerimise etapis, kas väljaulatuv osa peab jääma ühendusdetailile või karbi detailile. Kuna ühendusdetalle on vähem kui erinevaid karbi külgi, siis peaks lähtuma asjaolust, et võimalusel peavad lihtsamini toodetavaks jääma karbi küljed, mis tänu nende suurele arvule erinevatele suurustele on ka potentsiaalne tootehinna alandamise võimalus. Antud lahend võimaldab suurte sahtlisüsteemide korral suurel määral võita materjalikoguses ning muudab suurte süsteemide ehitamist oluliselt modulaarsemaks ja odavamaks.

Lisaks külgedele on vaja karbi tagumine sein samuti ühendada jäigalt ülejäänud detailidega. Üheks võimalikuks lahenduseks on variant, kus ühendusdetail ühendatakse karbi tagumisest küljest kõigepealt läbi tagumise külje, mis sarnaselt teistele paneelidele kinnitub detailile, ning seejärel kinnituvad ülejäänud seinad ühendusdetaili külge. Ühendusdetailil on vaja sellisel juhul tagumisele küljele stopperit, mis ei lase sellel liikuda läbi tagumise plaadi ning sellisel juhul jääb kogu moodul detailidest kokkupandavaks ning samas kokkupanduna ka jäigaks ja tugevaks.



Joonis 5.12 Lahendi A2 ühendusmooduli ja karbi tagaseina põhimõtteline ühendus

Põhimõtteliselt ühenduselt karbimoodulite ühendusdetaili ja tagaseina vahel (Joonis 5.12) on näha, kuidas põhimõtteliselt peab ühenduma karbi tagasein ühendusdetaili külge. Lisaks on jooniselt näha, et tegemist on alumise parema nurga jaoks mõeldud ühendusdetailiga, millele ühendatakse seinad ainult vasakule ja üles suunas.

5.3.5 Lahend A3

Lahend A3 puhul on tegemist eelkoostatud tasapinnalise karbi mooduliga, mis läbi hingede keeratakse karbiks ning karbi lahtised otsad ühendatakse üksteisega *snap-fit* tüüpi ühendustega. Detailid on valatud ja karbi siseküljel asuvad lõppasendite fiksaatorid. Lahend A3 on alternatiiv lahendile A1, kus peamiseks erinevuseks on detailide ühendamine, kus elastse materjali asemel fikseeritakse moodul *snap-fit* ühendusega.

Koostamise viis. Karbi detailide koostamine käib lahendi A3 puhul sarnaselt lahendiga A1 läbi eelnevalt ühendatud detailide, mis on läbi hingede vaid vaja õigesse ruumilisse positsiooni pöörata. Karbi detailide pööramine käib läbi hingede ning karbi detailide õige asendi määravad detailidesse disainitud piirajad, mis ei lase üle õige nurga detaile üksteise suhtes pöörata. Olulised parameetrid tootedisaini ja projekteerimise etapis on identsed lahendiga A1.

Detailide ühendamisel kasutatakse lahendis A3 *snap-fit* ühendust, mille eesmärgiks on peale karbidetailide õigesse asendisse pööramist fikseerida viimased lahtised detailid selliselt, et need oma kuju ei saaks enam muuta. Kuna koostamisel hingede ja geomeetrilise asendilukuga jääb paratamatult väike lõtk, siis detailide ühendamisel on oluline, et süsteem jääks tervikuna jäigaks, mistõttu peab *snap-fit* kinnitus asetsema

selliselt, et kogu aja ühenduses jääks ka hingede süsteemi eelpinge, et ei tekiks lõtkusid ja soovimatut liikumist. Snap-fit ühendus peab asetsema selliselt, et sahtlisüsteemi kasutades ja tõstes ei juhtuks olukorda, kus seade võib ühendusest lahti tulla. Selle probleemi vältimiseks on snap-fit ühenduse loomisel võimalusteks:

- paigutada *snap-fit* ühendus liites sellisesse kohta, kus mõjub kõige väiksem ühendust lahtuv jõud;
- luua lisaelement või elemendid, mis hoiavad detaile õiges asendis tänu oma geomeetriaile ja *snap-fit* ühenduse eesmärk on pelgalt moodul lisadetailide külge fikseerida.

Kui *snap-fit* ühendus lisada sellisesse kohta, kus sellele mõjub kõige väiksem jõud, siis peab ühendus asetsema tagaseina alumisel küljel ja ühel külgmisel paneelil sellise suunaga, et detaili eemaldamiseks on vaja jõudu rakendada mooduli külje suunas, sest kasutades üldiselt selles suunas jõudusid ei rakendata.

Kui aga luua lisaelemendid, mis hoiavad detaile õiges asendis ja kannavad kõiki võimalikke põhidetaile lahutavaid jõude, siis sobib lahenduseks esiküljele võru, mis ei lase põhidetailide üksteisevahelisel nurgal muutuda ega üksteise suhtes lahti tulla ning *snap-fit* kinnitus kinnitub detaili liigutamisel mooduli eest mooduli tagumise külje suunas lükates. Selles sihis moodulile märkimisväärseid koormuseid ei mõju. Tagumist seina ühendab ülejäänud mooduliga ülevalt hing ja alt *snap-fit* ühendus, sest sellisel juhul suruvad kasutamisel tekkivad jõud tagumist seina rohkem kinni mooduli külge, mitte ei ürita seda üksteisest eemaldada.

Ühendusmooduli paigaldamine karbi külge. Ühendusmoodulite paigaldamisel on kriteeriumid ja nõuded sarnased lahendile A1. Peamiseks erinevuseks on asjaolu, et esikülje suunast ei saa ühendusmooduleid ühendada, sest seal asetseb võru. Esiküljest saab ühendusdetaili sisestada, kui muuta esiküljel asuv võru eemaldatavaks või kui teha sinna sobiv vabastus või sooned ühendusdetailide jaoks. Eelistada tuleb võimalusel ainult mooduli tagumise seina suunast ühendamist, et häirida võimalikult vähe toote esteetilist välimust.

Ühendusmoodulite lahenditest on A3 lahendisse sobivaim B1, kuid võimalik, et ka B2. Sarnaselt A1 lahendile ei ole mõistlik kasutada antud lahendis ühendusmoodulit B3, sest see mõjub konstruktsiooni jäikusele ja tugevusele negatiivselt, suurendades purunemise ohtu. Võrreldes lahendiga A1 saab siin moodulis ühendada ühendusdetailid peaaegu terve mooduli pikkuse ulatuses, mis elimineerib ka vajaduse esiküljest lisatava ühendusdetaili järele.

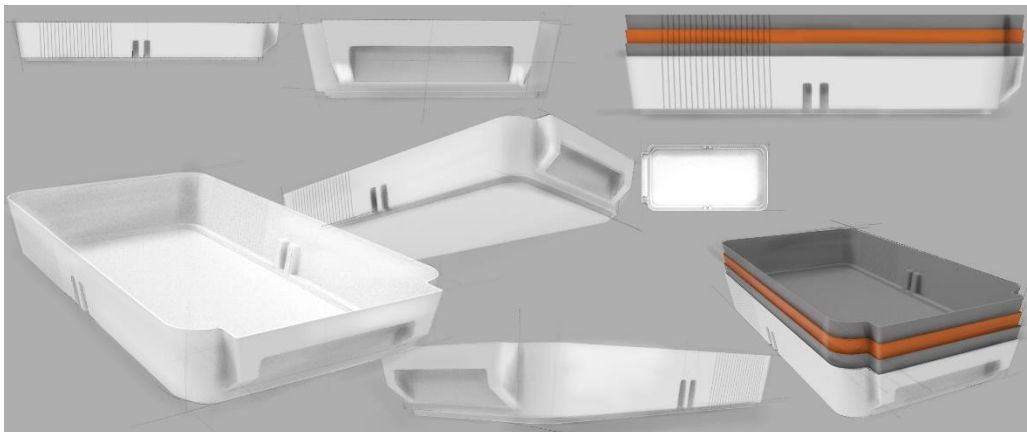
6. TOOTEDISAIN

Tootedisaini etapis kaasati projekti väliseid partnereid ning toote disain loodi magistritöö autori juhtimisel ja planeerimisel, kuid disain ja kujundus teostati partnerite poolt. Tootedisaini etapis luuakse igale välja valitud põhimõttelahendile tehnilise tootekontseptsiooni tulemuste põhjal visuaalne terviklik kujundus, mille alusel koostöös kliendiga valitakse välja terviklik lõplik lahend, millega liigutakse edasi projekteerimise etappi. Tootedisaini etapis vaadeldi eraldi moodulit C ning kombinatsioonina koos mooduleid A ja B. Vaadeldi ainult üht suurust, sest laiem versioon on kitsama versiooni erilahend, kus ainsaks erisuseks on erinev laius.

6.1 Tootedisaini lahendid

6.1.1 Lahend C1

Lahend C1 on sahtel, mis on toodetud vaakumvormimise meetodil (Joonis 6.1). Sahtel on virnastatav ning sellel on väljaulatuv käepideme osa. Sahtli disaini piirab olulisel määral vaakumvormimisest tingitud piirangud, mille tõttu sahtli kujundus on äärmiselt piiratud.



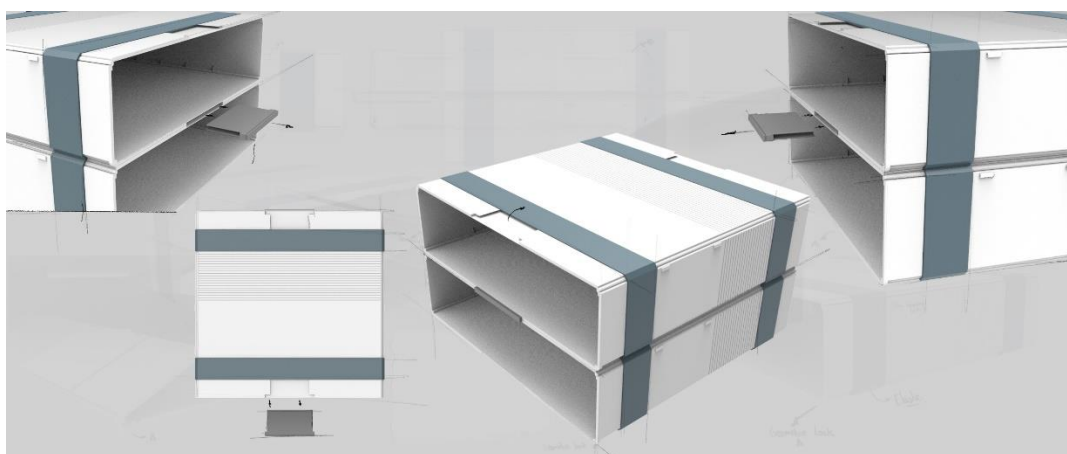
Joonis 6.1 Lahend C1 kujundus

6.1.2 Lahend C2

Lahendiks C2 on sahtel, mis on toodetud valumeetodil ning koosneb kahest detailist: korpusest ja kinnitatavast esiküljest (Joonis 6.2). Esikülg on mõeldud varieeritava

6.1.4 Lahend A1

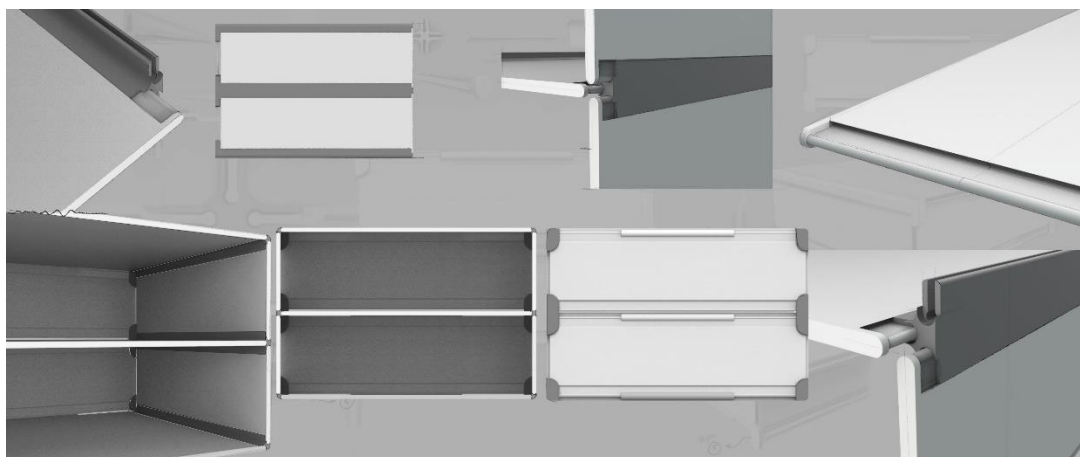
Lahend A1 on valumeetodil toodetud eraldiseisvatest detailidest karbimoodul, mis läbi hingede koosatakse terviklikuks tasapinnaliseks koostuks, mida saab pöörata ruumiliseks ja uuesti tagasi tasapinnaliseks. Moodulit fikseerivad tasapinnalises asendis geomeetrilised liited ja elastne moodulit ümbritsev rõngas ning eelistatud ühenduseviisina lahend B2 (Joonis 6.4). Moodulil on mõõdukas hulk erinevaid detaile, mis on küllaltki kergesti toodetavad.



Joonis 6.4 Lahend A1 kujundus

6.1.5 Lahend A2-B3

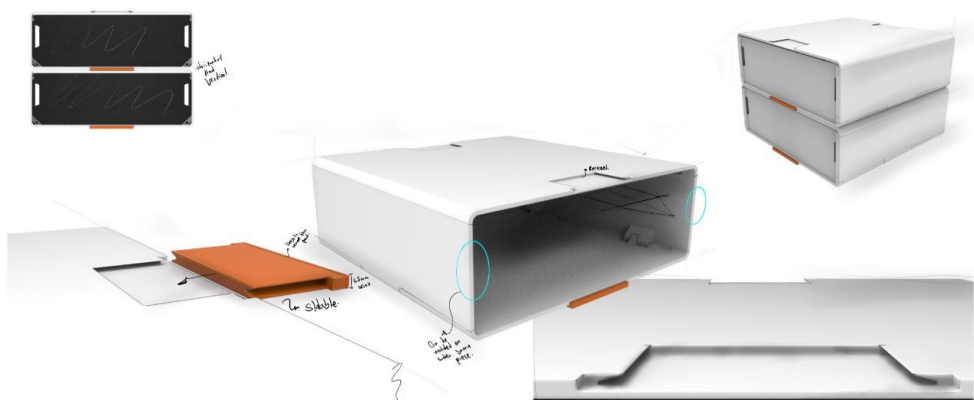
Lahend A2-B3 on kombinatsioon eraldiseisvatest korpusepaneelidest, mis on üksteisega ühendatud ühendusdetailidega, millel üheaegselt on nii korpust ühendav kui ka mooduleid ühendav funktsioon (Joonis 6.5). Tegu on kergesti efektiivselt laiendatava lahendiga, kus kõige vastutusrikkam ja keerukam osa on igal pool identne ning üksteises erinevaid keerulisi kinnitusviise on vähe.



Joonis 6.5 Lahend A2-B3 kujundus

6.1.6 Lahend A3

Lahend A3 on valumeetodil toodetud detailidest läbi hingede tasapinnaliseks eelkoostatud karbimoodul. Karbimooduli saab läbi hingede ruumiliseks pöörata ning läbi *snap-fit* ühenduse jäigaks ja fikseerituks ühendada. Moodulite ühendamiseks on eelistatavaks ühendusmooduli lahendiks B2 (Joonis 6.6).



Joonis 6.6 Lahend A3 kujundus

6.2 Tootedisaini valitud lahendid

Tootedisaini etapis valiti koostöös kliendi ja tootedisaineriga vastavalt seatud nõuetele ja kliendi algsetele soovidele välja edaspidiseks arenduseks sahtlimooduli lahendiks lahend C3 ja karbimooduli lahendiks lahend A2-B3 kombineeritud lahendusena karbi- ja ühendusmoodulist (Joonis 6.7).



Joonis 6.7 Tootedisainis välja valitud lahend A2-B3-C3

7. PROJEKTEERIMINE

Modulaarse ja kompaktse sahtlisüsteemi projekteerimisel lähtutakse tehnilise kontseptsiooni loomise analüüsi tulemustest ning etapi jooksul sõnastatud nõuetest ja piirangutest. Kujunduse ning geomeetrilise ülesehituse osas lähtutakse tootedisaini etapis välja töötatud ning välja valitud lahenditest. Sahtlisüsteemi tervik koosneb sahtlist koos sahtlialdaja ja sahtli esipaneeliga ning korpusemoodulist, mis koosneb tagapaneelist, identsetest küljepaneelidest ning unikaalsetest põhja- ja laepaneelidest ning sahtlisüsteemi kasvatamiseks ette nähtud vahelae ning vaheseina paneelist ning neljast variandist ühendusdetailist. Projekteerimisel projekteeritakse sahtlisüsteem sobivaks kahe laiusega sahtlile, mistõttu projekteerimise etapi tulemusena valmib sahtlist, sahtli esipaneelist, sahtlialdajast, korpuse põhjapaneelist, laepaneelist, vahelae paneelist ja tagapaneelidest kahe laiusega variandid, mis muudab kogu süsteemi konfigureeritavaks (Joonis 7.1).



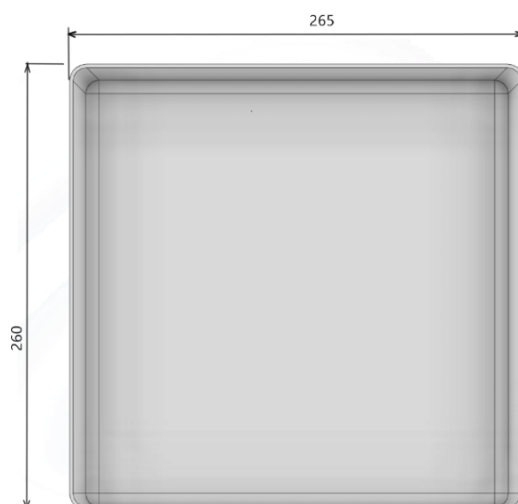
Joonis 7.1 Projekteeritav sahtlisüsteem

7.1 Sahtli projekteerimine

Sahtli projekteerimisel võetakse aluseks Tehnilise kontseptsiooni loomes sõnastatud nõuded (Tabel 2.1). Sahtli seinakalded projekteeritakse selliselt, et sahtleid oleks võimalik võimalikult efektiivselt üksteise sisse virnastada. Sahtli kujunduse aluseks on tootedisainis välja valitud kujunduse lahend C2.

7.1.1 Sahtli mõõtmestamine

Sahtli projekteerimise aluseks on kliendi nõue, et sahtlisse peab kindlasti mahtuma vähemalt üks 2 mm paksusega 250 x 250 mm plaat. Sahtli laiuseks valiti 265 mm, arvestades võimalikke ruumi kadusid sahtlieraldajatest, seinakaldest ja sahtli nurkades asetsevatest raadiustest tingituna ning pikkuseks 260 mm (Joonis 7.2). Sahtlimooduli kõrguseks on 50 mm. Sahtli nurkade raadiusteks määrati tootedisaini põhjal 10 mm, peale esiseina kõigi teiste seinte kaldenurgaks 10° vinnastatavuse tagamiseks ning sahtli seinapaksuseks 2 mm. Kitsama sahtli mõõtmete valimisel arvestati kahe kitsa sahtli vahele lisa liikumisruumiks 2 mm ning ühe eeldatava karbi seinapaksuse võrra ruumi, mistõttu kitsama sahtli laiuseks on 129 mm ning sahtlimooduli kitsa ja laia sahtli mõõtude erinevuseks on ainult laius ning laiusmõõtmed erinevad igal funktsioonil 136 mm.



Joonis 7.2 Laiema sahtlimooduli põhimõõtmed

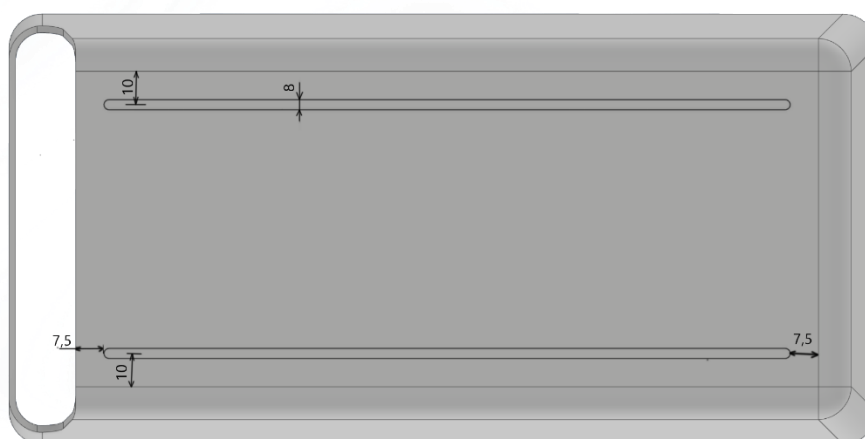
Sahtli käepideme projekteeriti tootedisaini etapi põhjal ning käepideme osa laiuseks on 20 mm. Sahtlist lõigati esipaneeli jaoks välja osa, mille sügavus sahtli esikülje suhtes on kõige kaugemas punktis 20mm ning väljalõigatud osa üks külg on horisontaalne, teine 10° nurga all vertikaali suhtes. Välja lõigatud osa nurgas on nurk kumerdatud raadiusega 8 mm (Joonis 7.3).



Joonis 7.3 Sahtli käepideme mõõtmestamine

7.1.2 Põhja sooned

Sahtli põhja projekteeritakse sooned, mille ülesanne on võimaldada sahtlil stabiilselt seista horisontaalsetel tasapindadel ilma, et sahtel märkimisväärselt hakkaks kõikumata võimalike tasapinnaliste hälvete tõttu sahtli põhjal või aluspinnal, millele sahtel asetatakse. Sahtli soonte laiuks on 3 mm, kõrguseks 0,5 mm. Sahtli sooned asetsevad sahtli põhja tasapinnalisel osal selliselt, et algavad tervikliku tasapinna esiküljest 8,5 mm kaugusel ja lõpevad tagakülje kumerusraadiuse algusest 8,5 mm kaugusel. Sahtli külgmiste servade kumerusraadiuste algustest asetsevad soonte sümmeetriateljed 10 mm kaugusel (Joonis 7.4). Sahtli põhja soonte külgede kaldenurgad on 3° ja kõik servad on ümardatud raadiusega 0,1 mm.

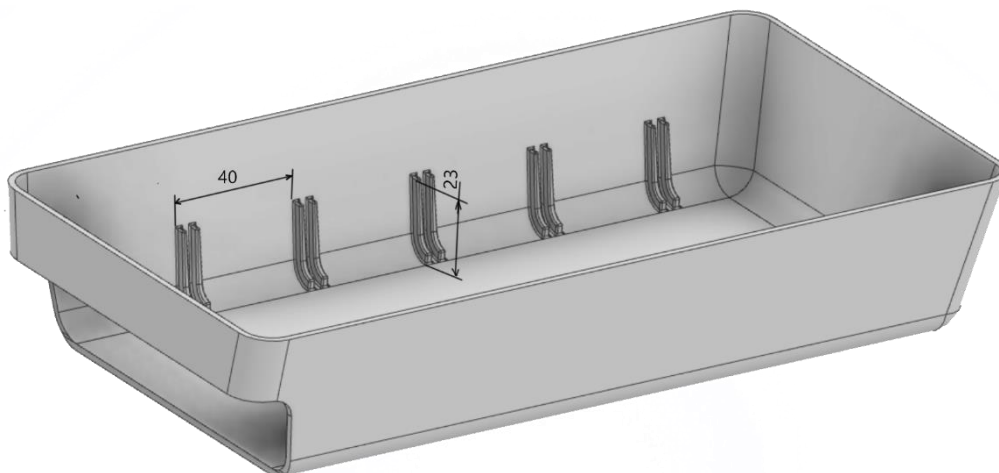


Joonis 7.4 Sahtli põhja soonte asetus

7.1.3 Sahtlieraldajad

Sahtlieraldajate projekteerimisel arvestati, et sahtli esimese sahtlieraldaja ette jääb vähemalt 40 mm sügavune hoiustusala. Iga järgmine sahtlieraldaja asetseb järgmise suhtes sammuga 40 mm ning kokku on võimalik sahtlisse asetada 5 sahtlieraldajat. Esimese sahtlieraldaja kinnitusdetail algab esipaneeli lõigeservast 40 mm kaugusel (Joonis 7.5). Iga sahtlieraldaja kinnitusosa on sahtli sisemisest põhjast 23 mm kõrgusel, kinnitusosa ulatub sahtli seinast 3 mm ulatuses välja ning on 1,5 mm paksune. Sahtlieraldaja seinakalded on ülevalt alla suunas laienevalt 1° nurga all vertikaalsihist. Tegemist on nõuetest ja soovitud väiksema kaldega, kuid tegemist on mitte väljapaistva osaga ning suurema kalde korral jääks alumise ja ülemise sahtlieraldaja kinnitusosa paari kauguse erinevus liiga suureks ning sahtlieraldajad ei püsiks stabiilselt enam ühes asendis. Ühe sahtlieraldaja kinnitusosade samm üksteise suhtes on 4,5 mm, mis arvestades seinakaldeid kõige kitsamas kohas jätab sahtlieraldajate vaheliseks

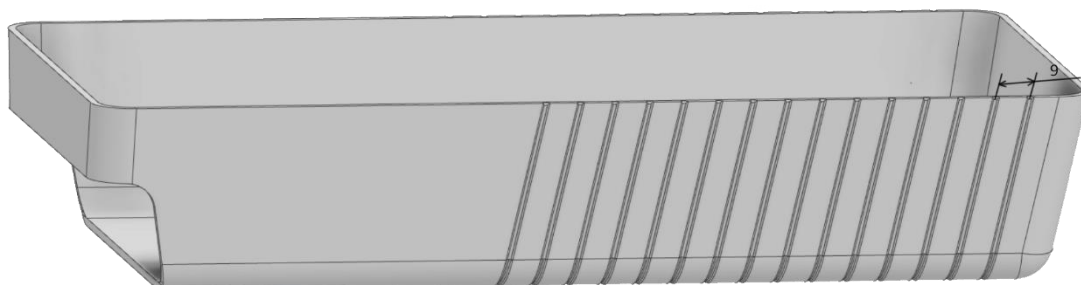
ruumiks 2,2 mm. Sahtlialdajad projekteeritakse 2 mm paksude plaatidena, mille profiil jälgib sahtli sisekülje profiili, sahtlialdaja ja sahtli vahele jäetakse vaba ruumi 0,5 mm ning sahtlialdaja kõrguseks on koos vahega 41 mm.



Joonis 7.5 Sahtli sahtlialdaja kinnitused

7.1.4 Külgede süvendid

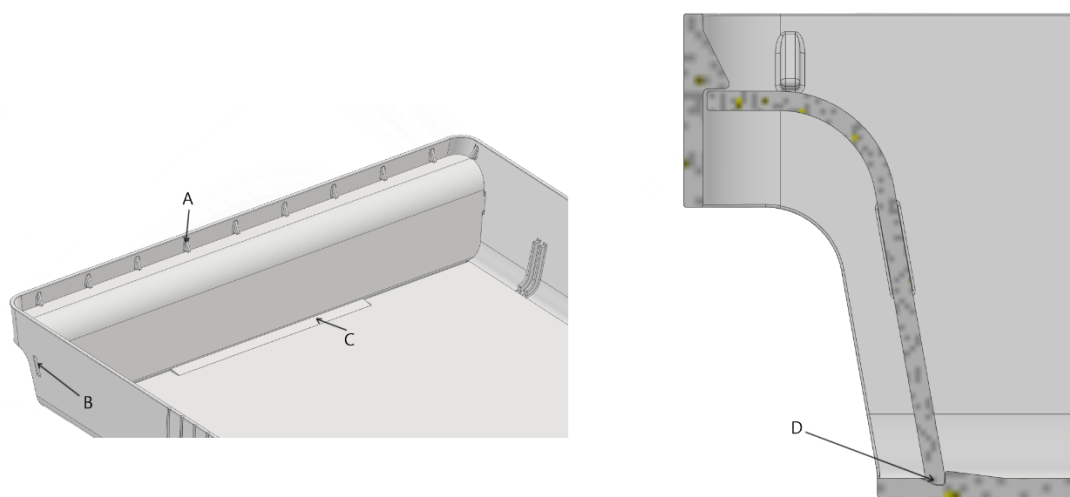
Sahtli külgedele luuakse tootedisaini põhjal süvendid, mis jooksevad mööda külgi sahtli ülaosast mööda külge alumise põhjani ja alumise põhja algusest 6 mm võrra mööda põhja tasapinda sahtli keskosa suunas. Sahtli süvendid on paralleelsel tasapinnal tagumise küljega, kõige tagumise süvendi kesktelg asub tagumisest seinast 15 mm kaugusel ning ülejäänud 14 süvendit asetsevad kõige tagumisest süvendist alates sammuga 9 mm sahtli esikülje suunas (Joonis 7.6). Süvendi ristlõikeks on ring läbimõõduga 1 mm, mille tsenter läbib sahtli ülemist külgmist serva ning jookseb mööda sahtli väliskülge terve süvendi ulatuses. Süvendi servad on ümardatud raadiusega 0,5 mm.



Joonis 7.6 Sahtli külgede süvendid

7.1.5 Esipaneeli kinnitused

Esipaneel kinnitub sahtli põhiosa külge sahtli esiküljest, sahtli põhjast ning külgedelt. Esipaneeli saab lõppkasutaja vajadusel vahetada erinevat värvi või erineva läbipaistvusega paneeli vastu, mistõttu on oluline projekteerida selle kinnitused selliselt, et esipaneel püsib sahtli kasutamisel õige asendis, kuid vähese jõu rakendamisel oleks võimalik seda lihtsalt eemaldada ja asendada. Sahtli esiküljel piirab paneeli liikumise üles ja sahtli esikülje suunas sahtli enda esikülge ja sellest väljaulatuvad ribad. Sahtli põhja tehtud süvend ja terviklik ribi võimaldab esipaneeli liikumise piirata ette-taha sihis ja piirata ka liikumist suunaga alla. Süvendil on tehtud sahtli tagakülje pool olevasse serva täiendav ribi, mis võimaldab esipaneeli paigaldada lihtsamalt kui eemaldada ning pakub täiendavat tuge püsimise seisukohast. Külgede sihis piiravad esipaneeli liikumist sahtli küljed ning täiendavalt piiravad esipaneeli läbipaindumise eest sahtli külgedele tehtud süvendid, millesse esipaneel täiendavalt kinnitub (Joonis 7.7).



Joonis 7.7 Sahtli esipaneeli kinnitus

A – esipaneeli esikülje ribad, B – esipaneeli külgmised kinnitused, C – Esipaneeli põhjakinnituse ribi, D – esipaneeli põhja süvend

Esipaneeli ja sahtli ühendus on mõõtmestatud selliselt, et esipaneeli ja sahtli vahele jääb ruumi 0,5 mm, et võimaldada lihtsat paigaldust ja eemaldamist. Põhja süvendi ümarusraadiused on 0,25 mm ning kõigi ülejäänud esipaneeli kinnituselementide ümarusraadiused on 0,5 mm. Esikülje ribad koosnevad kolmnurgast, mille kaatetite pikkus on 6 mm ja 3 mm ning ribide paksuseks on 2 mm. Ribi alumine serv asub käepideme alumisest küljest 12,25 mm kaugusel. Põhja süvendi ribi kaatetiteks on 6 mm ja 0,75 mm ning ribi pikkuseks laiemal sahtlil 120 mm. Külgmiste kinnituste ava on laius 2,1 mm ja kõrgusega 10 mm. Ava sisse kinnitub esipaneeli ristküliku kujulise

ristlõikega elemendiga, mille üks serv on faasitud 25° nurga all. Element ulatub esipaneeli küljest välja 1,3 mm ning seejuures ulatub sahtli avasse 0,8 mm ulatuses. Kinnituselemendi pikkus on 7 mm. Esipaneeli ja sahtli külgmistesse ühendustesse on jäetud märkimisväärselt palju lõtku, sest tegu on täiendava abivahendiga esipaneeli fikseerimisel ning täpne esipaneeli asetus sõltub esikülje kinnitusest ja põhja süvendist.

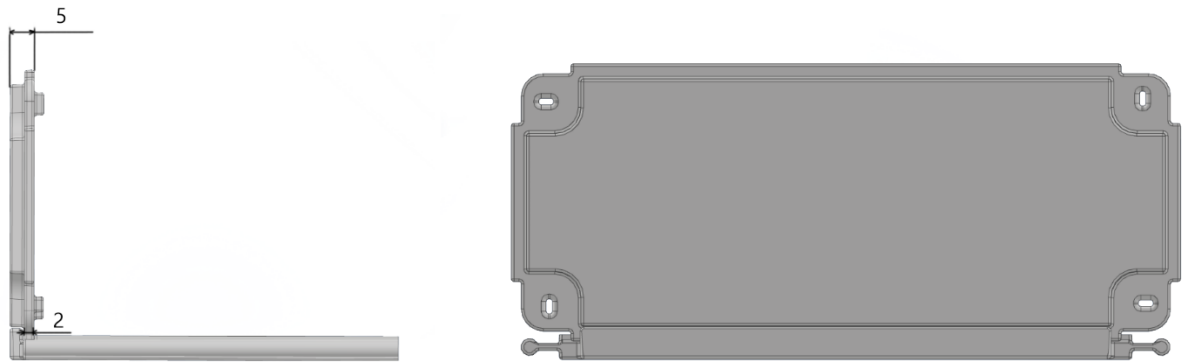
Esipaneeli paigaldamisel on ette nähtud, et esimesena asetatakse sahtli seest esipaneeli ülemine serv sahtli esikülje ribide suhtes õigesse asendisse ning seejärel pööratakse ümber ülemise serva esipaneeli põhi süvendisse, deformeerides elastselt sahtli põhja ja esipaneeli ennast.

7.2 Korpusemoduli põhimõtteline projekteerimine

Karbimooduli põhimõttelises projekteerimises lähtutakse geomeetrilises asetuses nii palju kui tehniliselt võimalik tootedisainist ning mõõtmestamisel võetakse aluseks sahtli projekteerimisel saadud mõõtmed. Karbimooduli kandvaks ja terviklikuks koostuks siduva detailina vaadeldakse tagapaneeli, millel on ühendus kõigi koostus olevate detailidega. Detailse projekteerimise eelduseks on detailide vaheliste ühenduste põhimõttelise lahenduse välja töötamine ning selleks töötatakse välja lihtsustatud geomeetiline asetus koos detailide omavaheliste ühendusviisidega. Karbimooduli elementide seinapaksuseks on planeeritud 5 mm.

7.2.1 Tagapaneeli ühendus külgedega

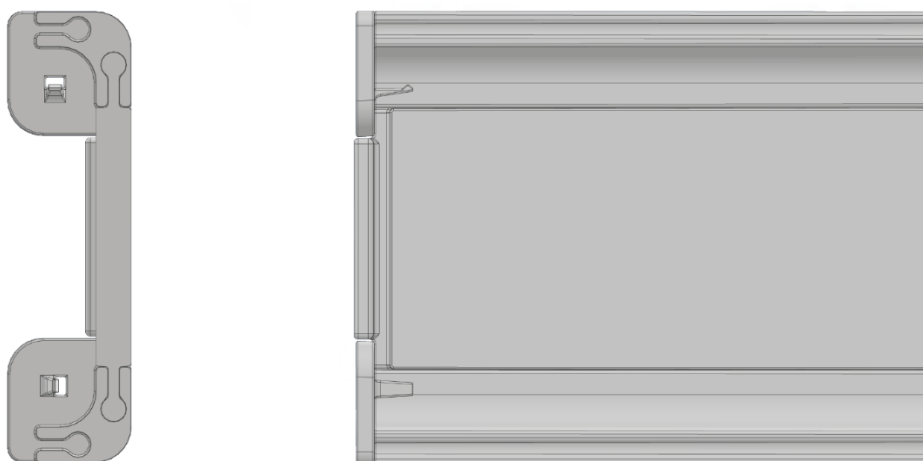
Tagapaneelide ühendus nii külgedele, vaheseina, lae ja põhjaplaadiga on identne ning ainsaks muutuvaks teguriks on ühenduskülje pikkus, mis tuleneb vertikaalselt ja horisontaalselt asetsevate plaatide erinevast laiusest. Tagapaneeli ühendusel külgedega tehakse küljedetailide sisekülgedele sooned, millesse asetub tagapaneeli 2 mm paksuse osaga ning peale soont korpuse mooduli sisesuunas serv, millega fikseeritakse küljedetail ette-taha sihis tagapaneeli suhtes (Joonis 7.8). Külgede sihis liikumise fikseerib ära täisnurga all ühendatud neli küljepaneeli, mis kinnituvad kõik eri külgedest tagapaneeli külge ja kinnituvad üksteise külge läbi ühendusdetaili.



Joonis 7.8 Korpuse tagapaneeli ühendus küljepaneeliga

7.2.2 Ühendusdetaili ühendus külgedega

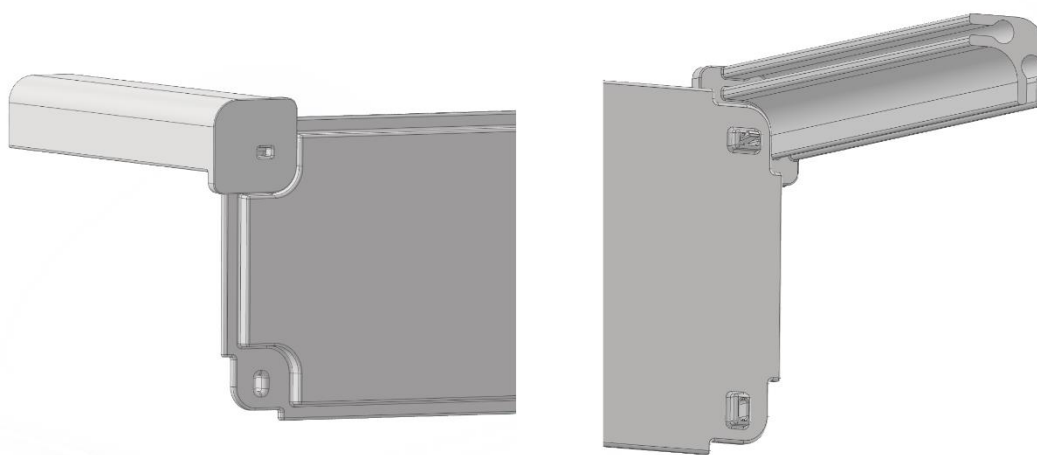
Ühendusdetail ühendab karbimooduli külgi läbi soone, mis ulatub pea täies ulatuses tagant ette. Sooned fikseerivad ühendusdetaili ja külje kõigis suundades peale mooduli ette-taha sihis liikumise (Joonis 7.9). Ühendusdetail lõppasendis jääb püsima küljedetailidesse projekteeritud süvendatud alasse, et korpusemoodulist ei jääks üksikuid detaile teistest rohkem välja ulatuma. Ühenduse minimaalne seinapaksus küljepaneelidel on 1,36 mm ja soone silindrikujulise osa minimaalne läbimõõt on 1,67 mm. Ühendusdetaili ja küljepaneeli ühenduses projekteeritakse ühenduse elementide vahele 0,1 mm lõtk ning ühenduselement projekteeritakse karbimooduli esiküljest taha suunas väheneva läbimõõduga seinakaldega 0,05°. Ühendusdetail ühendatakse külgedega asetades ühenduselemendid kohakuti küljepaneeli tagasuunast ning seejärel libistades ühendusdetaili ja küljepaneeli vastavad ühenduselemendid üksteisega kokku.



Joonis 7.9 Korpuse ühendusdetaili ühendus külgedega

7.2.3 Ühendusdetaili ühendus tagapaneeliga

Ühendusdetailil on peale külgedega ühendamist ainsaks vabaks liikumissihiks ette-taha sihis liikumine. Ühendusdetailil ja tagapaneeli ühendamiseks kasutatakse *snap-fit* tüüpi ühendust, kus ühendusdetaili lükkamisel tagapaneeli ja küljepaneelidesse projekteeritud pesadesse kinnitub ühendusdetaili küljes olev *snap-fit* ühendus osa tagapaneeli ava serva taha, mis on tõstetud tasapinnaga, et vajalikul määral *snap-fit* ühenduse elemendile vajalikku pikkust võimaldada (Joonis 7.10). Tagapaneeli *snap-fit* ühenduse ava kõrgendid igas paneeli nurgas on kõrvalasuva suhtes 90° nurga all, et iga nurga ühendamiseks saaks kasutada identseid ühendus detaile.

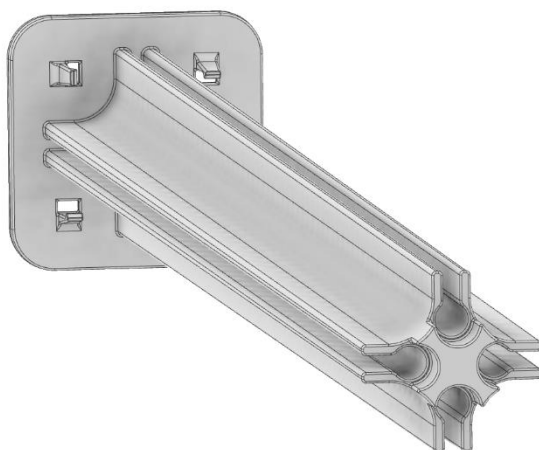


Joonis 7.10 Ühendusdetaili ühendus tagapaneeliga

7.3 Ühendusdetailide detailne projekteerimine

Ühendusdetailide detailses projekteerimises lähtutakse tootedisainist, tehnilise kontspetsiooni loomest ja korpusemooduli põhimõttelise projekteerimise etappidest. Projekteerimise vältel jälgitakse kirja pandud nõudeid ja soovitusi ning projekteeritakse detailid funktsioone täitvateks, vastupidavateks ning valumeetodil toodetavateks.

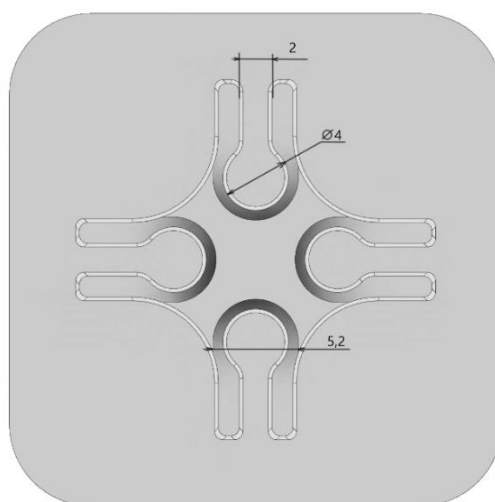
Ühendusdetailide projekteerimisel on võetud aluseks nelja külgmist paneeli ühendav ühendusdetail (Joonis 7.11), sest sellest suuremat arvu detaile ükski ühendusdetail ei ühenda. Nelja külgmise paneeli ühendusega ühendusdetail ühendab nelja sahtli avaga moodulit keskel.



Joonis 7.11 Nelja külgmist paneeli ühendav ühendusdetail

7.3.1 Ühendus külgedega

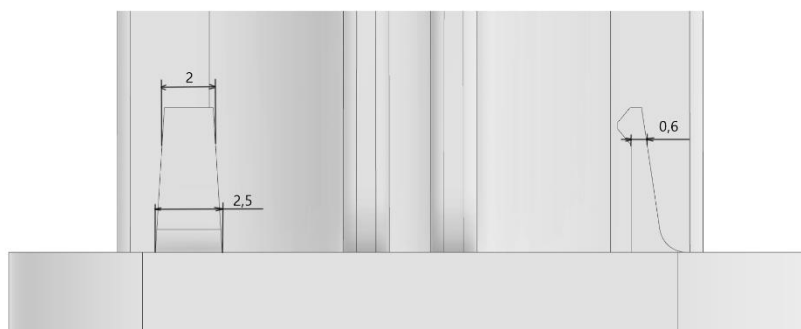
Ühendusdetaili ühendus külgedega projekteeritakse läbi soone, kus ühendusdetaili soone süvistatud profiili lukustatakse külgmise paneeli väljaulatuv soon. Süvistatud profiil projekteeritakse ümarast lukustavast osast 4 mm läbimõõduga silindrina, millele jääb külgplaadi profiili silindri ja plaadi ühendamiseks 2 mm laiune tühimik (Joonis 7.12). Ühendusdetaili eesmist külge pikendatakse 5,2 mm võrra, et karbimooduli esiküljel oleks võimalik varjata küljepaneelide ja ühendusdetaili vahelist ühendust. Selleks jäetakse 5,2 mm laiune ja profiili silindrilise osaga kotsentrilise ümarusega ala pikendamata. Profiili eesmisest tasapinnast kuni profiili lõpuni luuakse profiilile profiili laiendav kaldenurk 0,05°, mille eesmärk on võimaldada valumeetodil tootes lihtsustada detaili eemaldamist vormist ning kasutajakogemuse osas võimaldada ühendamise lihtsustamist ühendamise alguses.



Joonis 7.12 Ühendusdetaili eestvaade küljepaneelide ühendustele

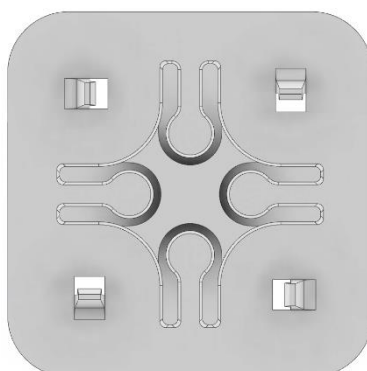
7.3.2 Ühendus tagapaneeliga

Ühendusdetaili ühendus tagapaneeliga projekteeritakse läbi *snap-fit* ühenduse, kus ühendusdetaili väljaulatuv konks deformeerub elastselt, siseneb läbi tagapaneeli ava ning läbi ava jõudes taastab algoleku ning haagib konksuga tagapaneeli serva taha ning fikseerib seeläbi ühendusdetaili tagapaneeli külge (Joonis 7.13). *Snap-fit* ühenduse konks mõõtmestati koostöös lihtsustatud iteratiivsete LEM analüüsidega, järgides *snap-fit* konksu projekteerimise põhimõtteid [19] kuni saadi tulemus, kus kuni 5 N jõu rakendamisel ühendusdetailile selle kinnitamiseks ei ületata materjalis ettenähtud pingeid ja tekib piisav deformatsioon, et konks deformeeruks tagapaneeli avasse. Ühenduse kontrollimiseks viiakse läbi täiendavad LEM analüüsid, mida käsitletakse täpsemalt inseneritehniliste arvutuste peatükis.



Joonis 7.13 Ühendusdetaili konksud

Ühendusdetaili konksud asetsevad ühendusdetaili sümmeetriatelgi ühendava tsentrijoone ümber üksteise suhtes täisnurga all (Joonis 7.14) ning see võimaldab ühendusdetaili tagaplaadiga liita igas võimalikus asukohas igas võimalikus asendis.



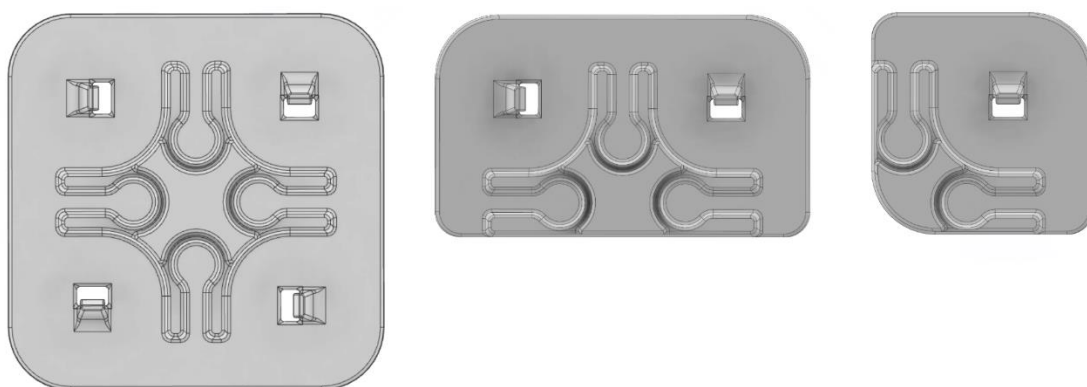
Joonis 7.14 Ühendusdetaili konksude asetused

7.3.3 Ümarusraadiuste lisamine

Ühendusdetailile on lisatud mitmeid ümarusraadiuseid, mis üksteisest erinevad ning mis on lisatud erinevatel põhjustel. *Snap-fit* kinnituse konksu vastaskülje ja ühendusdetaili pinna vahele on lisatud 1 mm raadiusega ümarus, et vähendada pingekontsentratsioone ühenduses. Konksu servad on ümardatud 0,1 mm raadiustega, sest konksudel on liiga lühikesed tasapinnad, et neid saaks ümardada suuremate raadiustega. Konksu all asuvad projekteeritud avad, mis võimaldavad valumeetodiga *snap-fit* ühendust toota, on ümardatud ühendusdetaili tagaküljel olevatest servadest 0,5 mm raadiusega. Kõik ülejäänud ümarusraadiused on 0,25 mm ning nende eesmärk on vähendada teravate servade hulka, et toode näeks välja detailsem ja terviklikum ning selleks, et lihtsustada ka valuvormide tegemist.

7.3.4 Ühendusdetaili konfiguratsioon erinevatesse asukohtadesse

Ühendusdetaili asetatakse keskele nelja külgmise seina ühendamiseks, külje keskele kahe välimise külje ja ühe sisemise külje ühendamiseks ning nurkadesse kahe täisnurga all asetseva küljepaneeli ühendamiseks. Erinevate variantide loomise aluseks kasutatakse nelja soonega ühendusdetaili, millest soovitud ühendusdetailide saamiseks eemaldatakse ebavajalikud sooned ning ühendusdetaili välimisteks külgedeks saavad äärmiste profiilide välisservad, mis tasapindade ristumisel tekkival serval ümardatakse vajadusel 5 mm raadiusega (Joonis 7.15).



Joonis 7.15 Ühendusdetaili 3 varianti

7.4 Karbimooduli detailide detailne projekteerimine

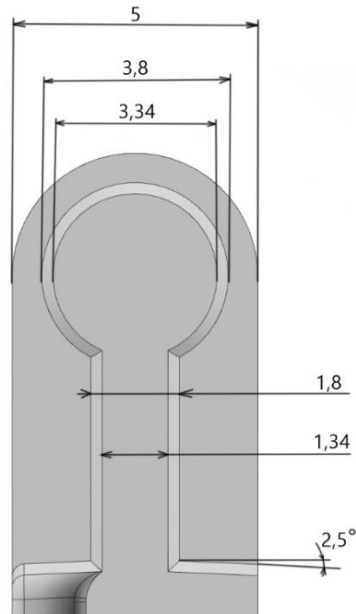
Karbimooduli detailses detailide projekteerimises lähtutakse tootedisainist, tehnilise kontseptsiooni loomest ja korpusemooduli põhimõttelise projekteerimise etappidest. Projekteerimise vältel jälgitakse kirja pandud nõudeid ja soovitusi ning projekteeritakse detailid funktsioone täitvateks, vastupidavateks valumeetodil toodetavateks.

Karbimooduli projekteerimisel käsitletakse eraldi horisontaalpaneelide, vertikaalpaneelide ja tagapaneeli. Samas tasapinnas asetsevad eri paneelid on üksteisega väga sarnased ja väikeste erinevustega, mistõttu käsitletakse neid koos.

Igal paneelil on identseid, kattuvaid ja korduvaid elemente, mida iga detaili juures eraldi korduvalt ei vaadelda, vaid käsitletakse eraldiseisvalt enne vastavate paneelide eraldi käsitlemist.

7.4.1 Ühendusdetaili ühenduse profiil

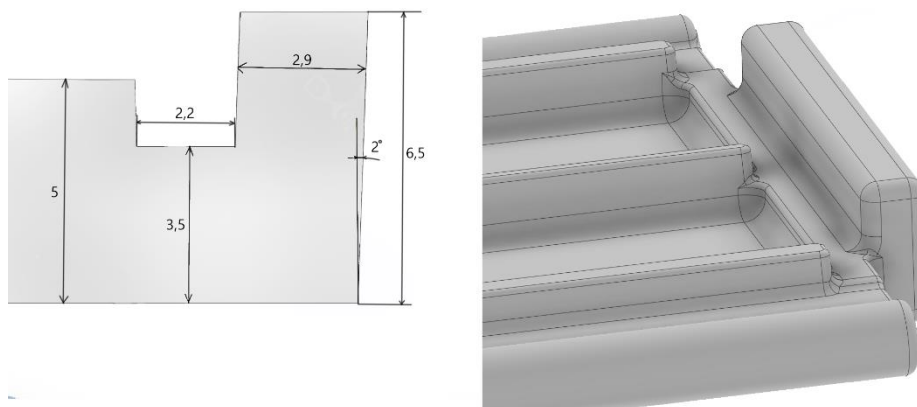
Ühendusdetailidega ühendamise profiil küljepaneelidel on täielikult identne. Ühendusdetailidega võrreldes on profiili ainsaks erinevuseks 0,2 mm vahe, mis jääb kokkuasetatud detailide profiilide vahele. Identselt ühendusdetailile on profiili ühendavatel elementidel seinakalle $0,05^\circ$ küljepaneeli tagasuunast esikülje suunas laienevalt (Joonis 7.16). Ühenduse profiili pikkuseks on 262 mm. Profiili esiküljepoolsest lõpust kuni paneeli esiküljeni 5 mm ulatuses on paneeli sein laiusega 5 mm ning otsast profiili ümara osaga kotsentriliselt 5 mm läbimõõduga ümarus. Ühendusprofiili servad ümardatakse 0,5 mm suuruste ümarusraadiustega.



Joonis 7.16 Küljepaneeli ja ühendusdetaili ühenduse profiil

7.4.2 Tagapaneeli ühendus küljepaneelidel

Küljepaneelide ühendusel tagapaneelidega on kõigil identse profiiliga ning ainsaks muutuvaks mõõtmeks profiili pikkus külje laiuse sihis. Horisontaalsetel paneelidel on profiili pikkuseks 245 mm laiemal moodulil ning 107,25 mm kitsamal moodulil. Kõigil vertikaalsetel paneelidel on profiili pikkuseks 28 mm. (Joonis 7.17)



Joonis 7.17 Küljepaneelide tagapaneeli ühenduse profiil

Tagapaneeli soon ja 6,5 mm kõrgune tagapaneeli tagumise külje kinniti on ümardatud raadiustega 0,75 mm ning külgedelt, kus on vähem ruumi, on ümardatud raadiustega 0,5 mm. Küljepaneeli tehtud soon on 2,2 mm lai, mis jätab 2 mm paksusele soonde asetatavale tagapaneeli elemendile piisava lõtku, et elimineerida prototüüpimisest ja

tootmisest tulenevad võimalikud ebatäpsused ning võimaldab seadet lihtsalt koostada. Soone seinad ja külje tagapaneeli 6,5 mm kõrguse osa vertikaalsed küljed on 2° nurga all, et neid oleks võimalik lihtsasti valumeetodil toota ning selleks, et hõlbustada mooduli koostamist.

7.4.3 Küljepaneelide süvistused ja ribad

Kõik küljepaneelid süvistatakse selliselt, et minimaalseks seinapaksuseks detailil jääb 2 mm, küljepaneeli esiküljest 32 mm jääb süvistustest puutumatuks. Samuti jäävad süvistustest puutumata ühendusdetailiga liituvad elemendid ja tagapaneeli tagumine kinniti. Tagumise paneeli soone esikülje poolses küljes hakkab täismaterjalist jäänud külje asemel tagapaneeli toetama sama maani ulatuvad jäikusribid, mis asetsevad loodud süvistuses ning ulatuvad kuni paneeli süvistuseelse külje tasapinnani (Joonis 7.18).



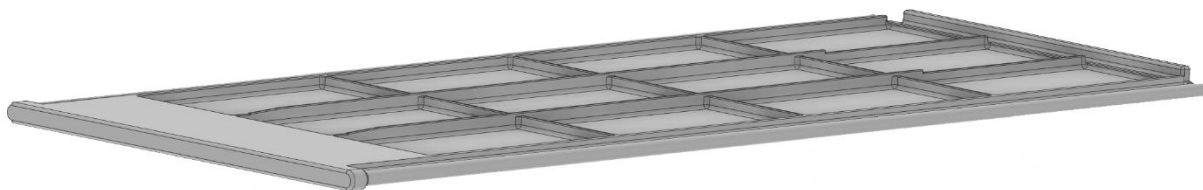
Joonis 7.18 Küljepaneelide süvistused ja jäikusribid

Küljepaneelide süvistustesse loodavad ribad jooksevad nii piki kui ka ristisuunas. Ristisuunas jookseb igal paneelil 3 ribi, millest esimene asub süvistuse esiküljest 58,25 mm kaugusel ning mille samm üksteise suhtes on 58,25 mm. Pikisuunaliste ribad asetsevad sümmeetriliselt küljepaneeli pikisuunalise sümmeetriatelje suhtes ning ribide vaheliseks sammuks on 37,3 mm. Kõikide ribide seinapaksuseks on projekteeritud 1 mm ning kaldenurgaks 2,5°. Ribide ristumisel üksteisega ja põhjaga tekkivatel servadel ümardatakse tekkivad nurgad ümarusraadiusega 1 mm ning ribi profiili ülemised nurgad ümardatakse raadiusega 0,25 mm.

7.4.4 Horisontaalpaneel

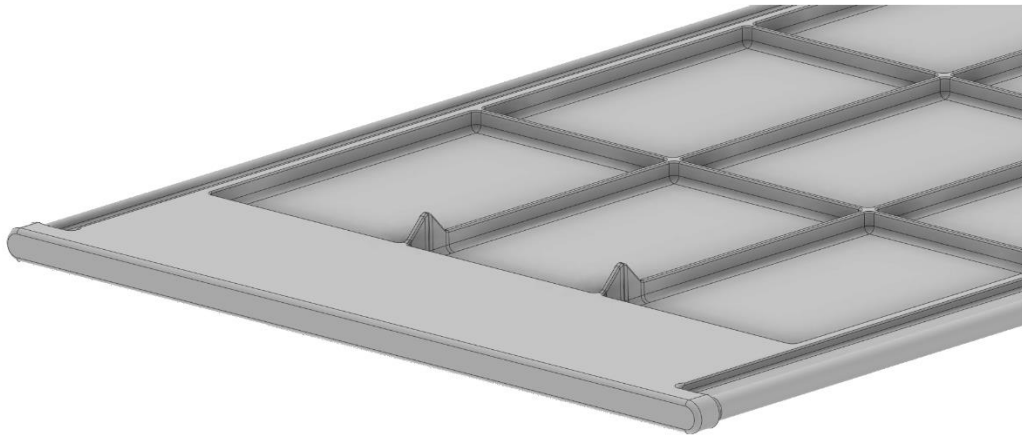
Horisontaalpaneelide projekteerimisel käsitletakse põhjapaneeli, laepaneeli ja vahelae paneeli. Kõik paneelid on üksteise suhtes väga sarnased, mistõttu esialgu luuakse horisontaalpaneel ning seejärel tehakse loodud universaalsesse paneeli muudatusi, kuni on saadud sobiva variandina kas põhja- lae-, või vahelae paneel. Horisontaalpaneel on sõltuvalt sahtli mõõtmetest kahte mõõtu, millest tulenevalt kitsama mooduli horisontaalpaneelid on laiematest 137,5 mm võrra lühemad. Laia mooduli horisontaalpaneelidel on 6 liikumise sihis ribi kitsama versiooni kahe ribi asemel.

Põhjapaneeli projekteerimisel lisandub universaalsele paneelile ette-taha suunas ribide kõrgendus, et sahtel liikudes ei takerduks risti liikumissuunaga asetsevate jäikusribide taha. Sahtli liikumist parandavate ribide näol kõrgendatakse juba olemasolevaid ribisid. Ribid algavad 5 mm kauguselt süvistuse eesmisest seinast, ning lõpevad 50 mm enne süvistuse lõppu ning ribide kõrguseks on 0,75 mm (Joonis 7.19). Ribide esiküljel faas, mis ulatub kuni ribi senise ülemise tasapinnani ning projekteeritud faasi nurk pealmise tasapinna suhtes on 4,2°. Ribi servad on ümardatud identselt jäikusribide ülemiste servadega raadiusega 0,25 mm.



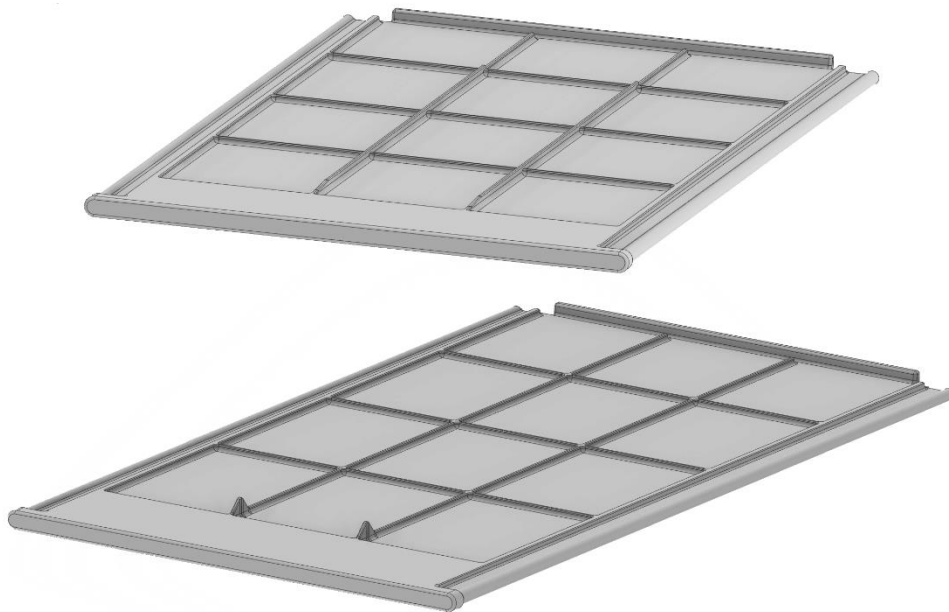
Joonis 7.19 Põhjapaneel koos sahtli liikumist parandavate ribidega

Laepaneeli eristab põhjapaneelist sahtli välja kukkumist eraldav asendifiksaator ja sahtli liikumist võimaldavate ribide puudumine. Laepaneeli ribidele projekteeritakse süvistuse alguskohta 3,5 mm kõrgune võrdkülgne kolmnurk, mille kõrgus on risti ribi pinnaga. Kolmnurga kujuga fiksaator võimaldab hetkeks peatada õrnalt tõmmatavad sahtlit ning kui tahta sahtlit moodulist eemaldada või sinna asetada, tuleb sahtli esiosa tõsta kõrgemale ning seejärel pööratakse sahtlit selliselt, et sahtli fikseeritav ülemine serv liigub laepaneelist eemale ning pääseb fiksaatorist mööda (Joonis 7.20).



Joonis 7.20 Laepaneeli sahtli asendifiksaatorid

Vahelae paneeli alumine külg on identne laepaneelile ning ülemine pool identne laepaneelile. Süvistused projekteeritakse selliselt, et kõige õhemaks seinapaksuseks sümmeetriatasapinnas jääb 2 mm. Peale sahtli libistusava ja asenditefiksaatorite on vahelae paneeli ülemine ja alumine osa identsed (Joonis 7.21).



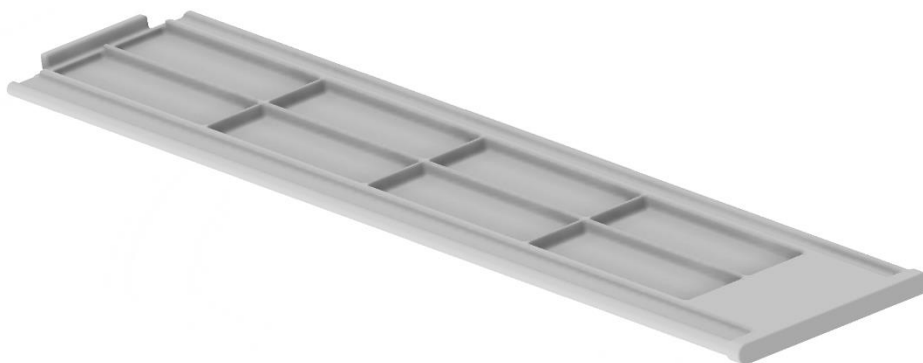
Joonis 7.21 vahelae paneeli alumine osa (üleval) ja ülemine osa (all)

7.4.5 Vertikaalpaneel

Vertikaalpaneelide projekteerimisel käsitletakse äärmist külgpaneeli ja vaheseinapaneele. Paneelid on üksteise suhtes väga sarnased ning vaheseinapaneele on eriversioon külgpaneelist, kus väline külge ei ole mitte tasapinnaline ja sisemine

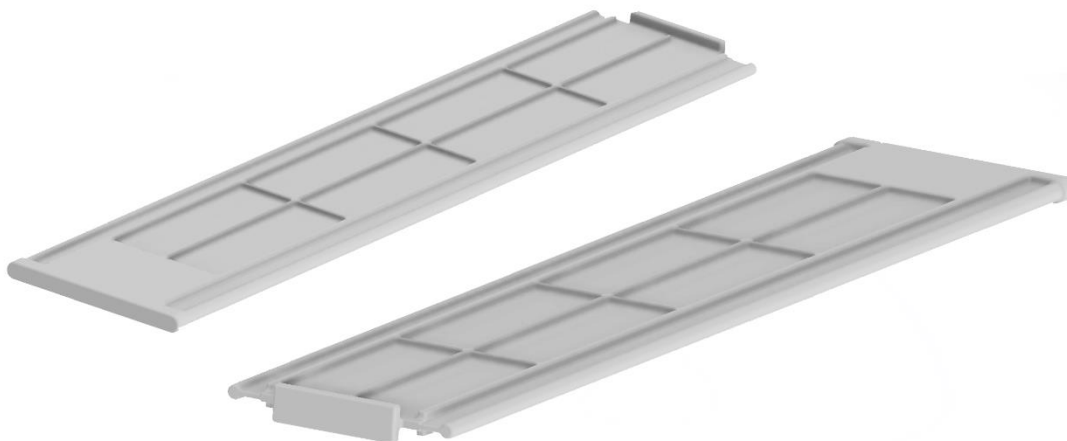
süvendatud ja ribistatud kuni välimise seinani, vaid mõlemal küljel on külgpaneeli sisekülge kujutav profiil. Vaheseinapaneel on täielikult sümmeetriline paksuse sihis.

Külgpaneeli projekteerimisel külgpaneelidesse luuakse üks sahtli liikumise sihis ribi, mis jookseb külgpaneeli keskelt. Liikumise suunaga risti asetsevad ribad vastavalt varasemalt sõnastatud sammule. Ribide paksuseks on 1 mm ning kaldenurgaks $2,5^\circ$ (Joonis 7.22).



Joonis 7.22 Külgpaneeli süvistus ja jäikusribide asetus

Vaheseina paneeli projekteerimisel on mõlemad küljed täielikult identsed. Süvistuse juures kõige väiksemaks materjalipaksuseks on 2 mm ning tagapaneeli kinnitid ulatuvad välja mõlemas suunas. Kõik ülejäänud projekteerimise parameetrid on vastavalt varem käsitletule (Joonis 7.23).



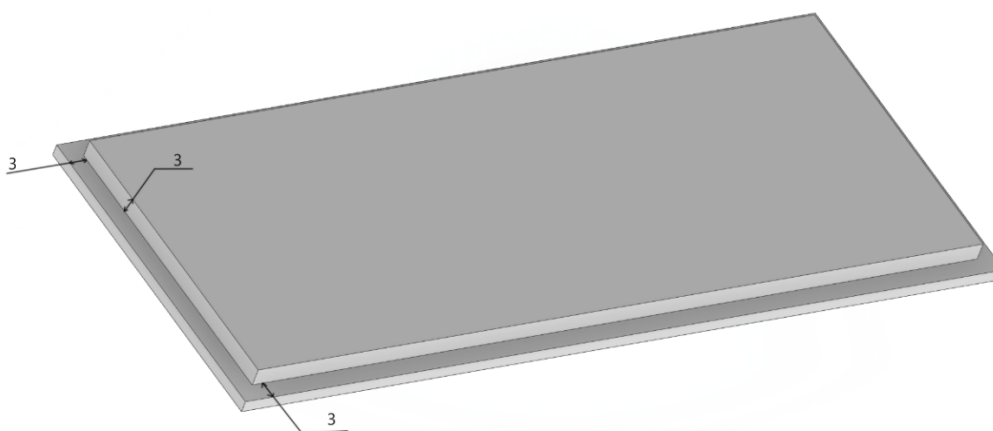
Joonis 7.23 Vaheseina paneeli süvistused ja jäikusribide asetus

7.4.6 Tagapaneel

Tagapaneeli projekteerimisel käsitletakse ühena nii kitsama mooduli kui laiema mooduli tagapaneeli. Kahe paneeli erinevuseks on paneeli pikkus, ning sellest tulenev sama

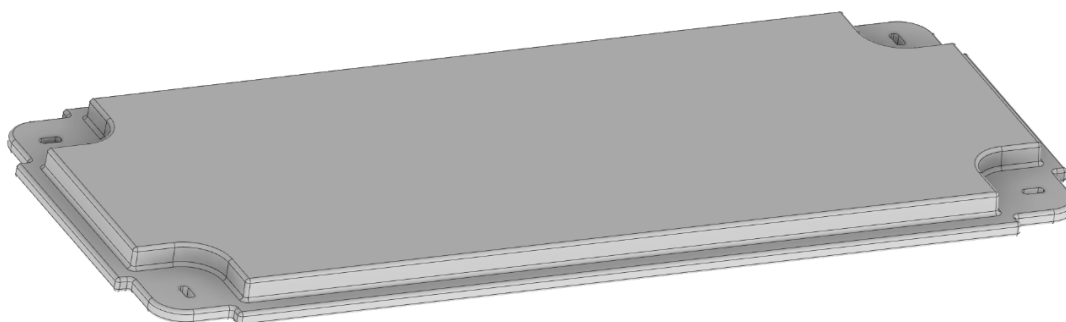
sammuga üksteise suhtes asetsevate jäikusribide arv ja pikkus ning laiema mooduli ühendusdetailile lisanduv vabastus kitsamate moodulitega ühendamiseks.

Ühendus küljepaneelidega projekteeritakse selliselt, et küljepaneelid ja tagapaneel sobituksid võimalikult terviklikult üksteisega kokku ning detailide ühenduspiir jääb nähtavaks mooduli tagumisest küljest ning ka seal jäävad eri detailid samasse tasapinda. Seetõttu on tagapaneeli servadesse tehtud 3 mm sügavused sisselõiked ulatuses, kus muidu kattuksid tagapaneel ja ühendatav detail kokku. Sisselõiked projekteeritakse selliselt, et detailide servade vahele jääb kuni 0,2 mm (Joonis 7.24). Vahe ei suurenda detailidevahelist lõtku ja loksumist, sest detailide liikumise piiravad ära muud ühenduselemendid.



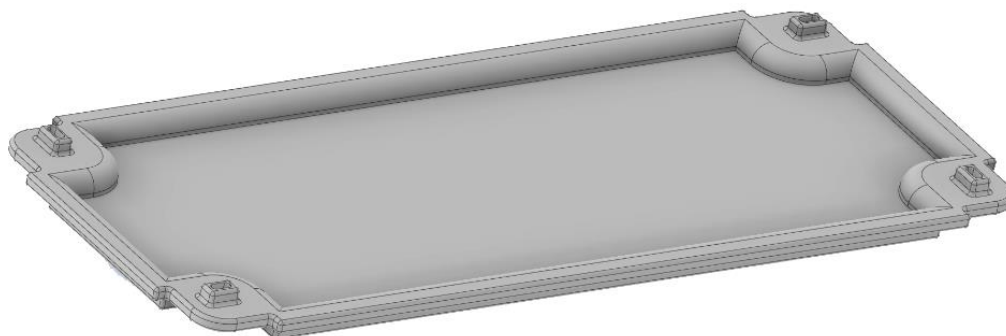
Joonis 7.24 Tagapaneeli sisselõiked küljedetailide ja ühendusdetailide ühenduskohta

Ühendus ühendusdetailiga projekteeritakse selliselt, et iga erinevat sorti ühendusdetaili saaks kasutada iga tagapaneeli variandi igas nurgas. Sarnaselt ühendusele küljepaneelidega, luuakse ühendusdetailidega ühendusele tagapaneeli tagumisse seinna süvendid, kuhu ühendusdetailid sobituvad selliselt, et jäävad tagumise seinaga samale tasapinnale. Süvendi ja ühendusdetaili vahele on projekteeritud maksimaalselt 0,5 mm lõtku. Ühendusdetailile ruumi tegemiseks on tagapaneeli nurkadest ühendusdetaili ulatuses nurkasid kärbitud 2 mm ulatuses (Joonis 7.25)



Joonis 7.25 tagapaneeli ja ühendusdetaili ühendus

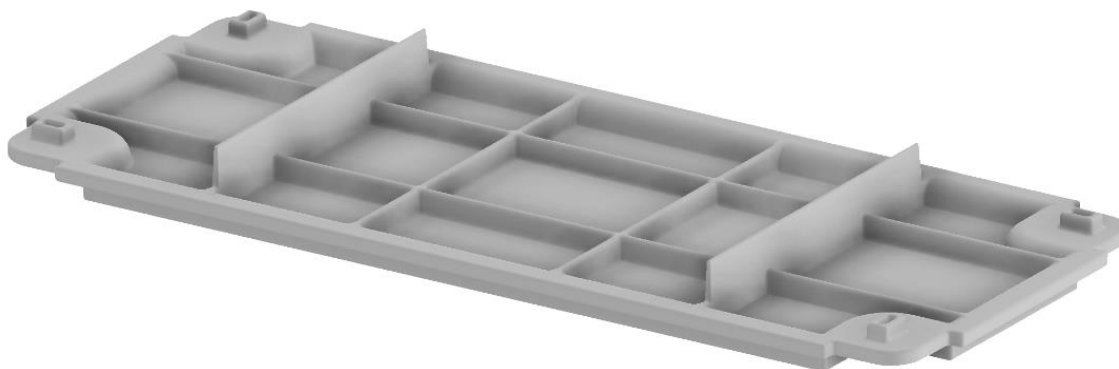
Ühendusdetaili fikseerub tagapaneeli külge läbi *snap-fit* ühenduse, mille tarbeks on tagapaneeli tagumises küljes ava, millest ühendusdetaili konks läbi läheb ja seeläbi ühendusdetaili tagapaneeli külge fikseerib. Tagapaneeli esiküljel on ühendusava ümber 0,8 mm seinapaksusega ja 2 mm kõrgusega kõrgendus, mis võimaldab projekteerida ühendusdetaili konksu piisavalt pikaks, et saaks elastselt deformeeruda vajaliku ulatuse (Joonis 7.26).



Joonis 7.26 Tagapaneeli ühendusdetaili ava kõrgendus

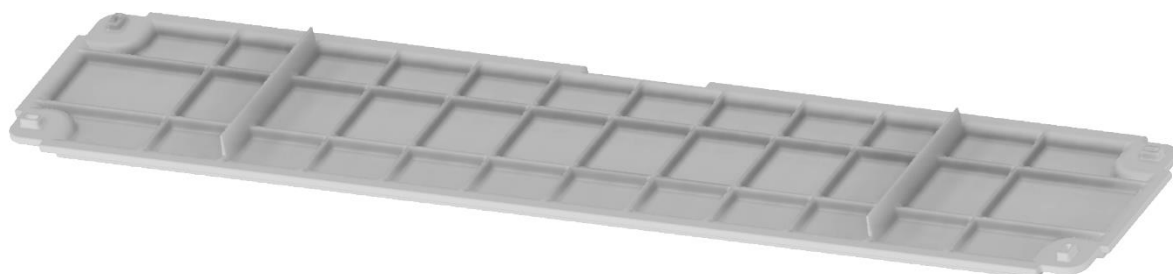
Süvistus, ribid ja sahtlipiiraja. Tagapaneelile projekteeritakse sarnaselt teiste detailidega süvistus selliselt, et mooduli välikülgedest süvistatud osi näha ei jää. Süvistuse puhul jääb minimaalseks materjalipaksuseks 2 mm. Süvistatud alale projekteeritakse 1 mm laiused jäikusribid, mis on seinakaldega 2,5 mm laienevalt detaili põhja suunas. Tagapaneelil on horisontaalsuunalist ribi, mis on horisontaalse sümmeetriasapinna suhtes sümmeetrilised ning mille kaugus üksteisest on 20 mm.

Kitsa mooduli tagapaneelil on 4 vertikaalset jäikusribi, mis on vertikaalse sümmeetriasapinna suhtes sümmeetrilised ning kus keskmiste ribide kaugus üksteisest on 28 mm ning sisemiste ribide kaugus välimistest on 20 mm. Välimistele ribidele on projekteeritud 5 mm ribidest välja ulatuvad sahtlipiirajad, mis fikseerivad sahtli lõppasendi ega lase sahtli servadel *snap-fit* kinnituse konksu läbi tagapaneeli lükata (Joonis 7.27).



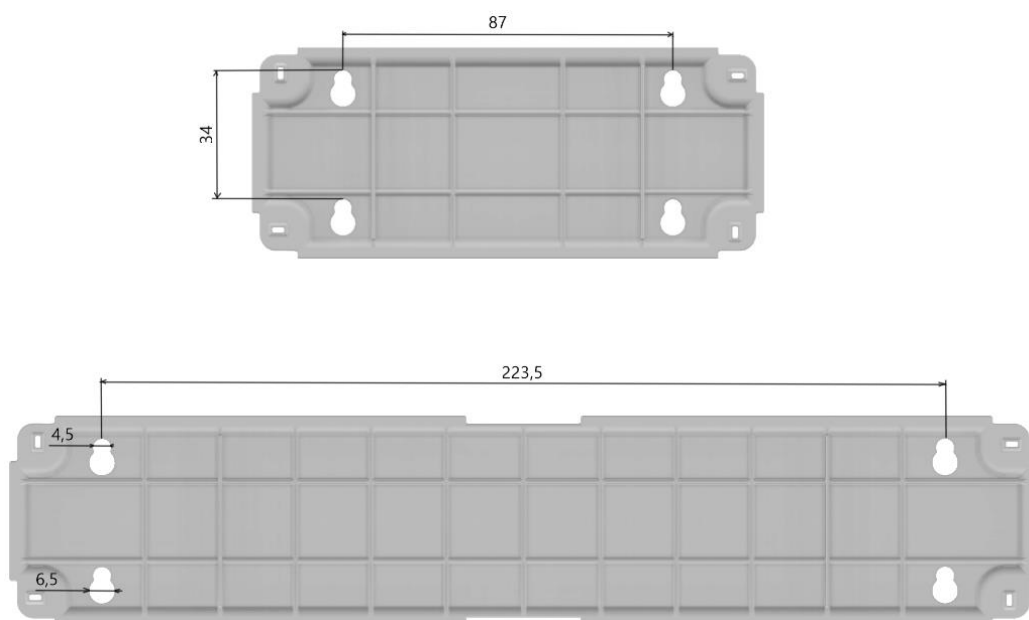
Joonis 7.27 Kitsama mooduli tagapaneeli süvistus, ribid ja sahtlipiiraja

Laia mooduli tagapaneelil on 11 vertikaalset jäikusribi, millest keskmine asetseb vertikaalsel sümmeetriatasapinnal ning mille suhtes kõik vertikaalsed ribad asetsevad sammuga 20 mm ning mis on kõik sümmeetrilised vertikaalse sümmeetriatasapinna suhtes. Väljastpoolt teistele ribidele on projekteeritud 5 mm väljaulatuvad sahtlipiirajad, mis fikseerivad sahtli lõppasendi (Joonis 7.28).



Joonis 7.28 Laia mooduli tagapaneeli süvistus, ribad ja sahtlipiiraja

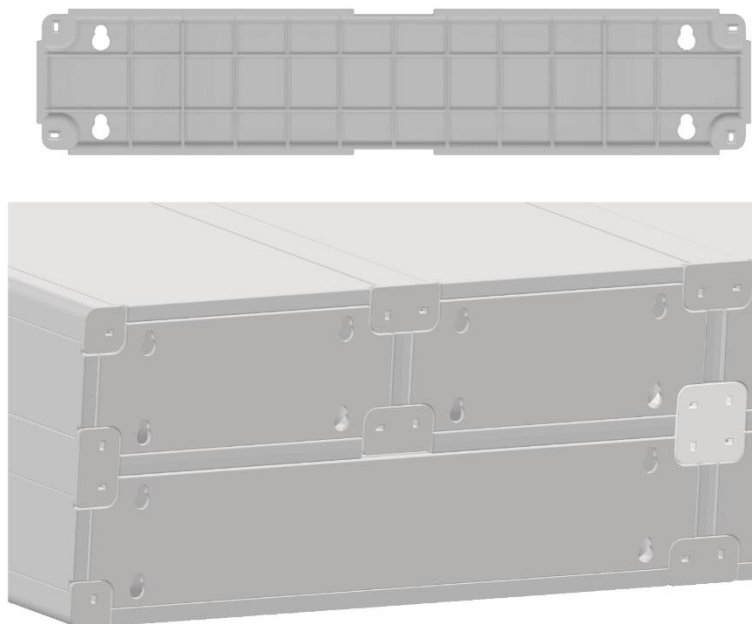
Seinakinnitused projekteeritakse kitsal ja laial versioonil sama profiiliga ning sama kõrguse erinevusega. Seinakinnituse eesmärk on kuni 6 mm peaga kruvi või poldi külge sahtlimooduli kinnitamine selliselt, et seinakinnituse ava laiemast osaga asetatakse tagaplaadist seinas asuvad poldipead läbi ning seejärel vajutatakse tagapaneel alla selliselt, et seinakinnituse profiili kitsam osa jääb poldi ümber ning poldipea kitsamast avast välja ei tule. Kitsama mooduli seinakinnitamiseks vajalik poldide laius on 87 mm ning laia mooduli puhul 223,5 mm (Joonis 7.29).



Joonis 7.29 Tagapaneeli seinakinnitus

Laia mooduli tagapaneeli ühendusdetaili sisselõiked luuakse selleks, et laia mooduli alla või peale kahe kitsama mooduli ühendamisel kitsaste modulite vaheline

kolmene ühendusdetailil oleks ruumi ning seetõttu tehakse laia tagapaneeli keskele ühendusdetaili ulatuses sarnaselt nurkades asuvatele ühendusdetailide vabastustele (Joonis 7.30).



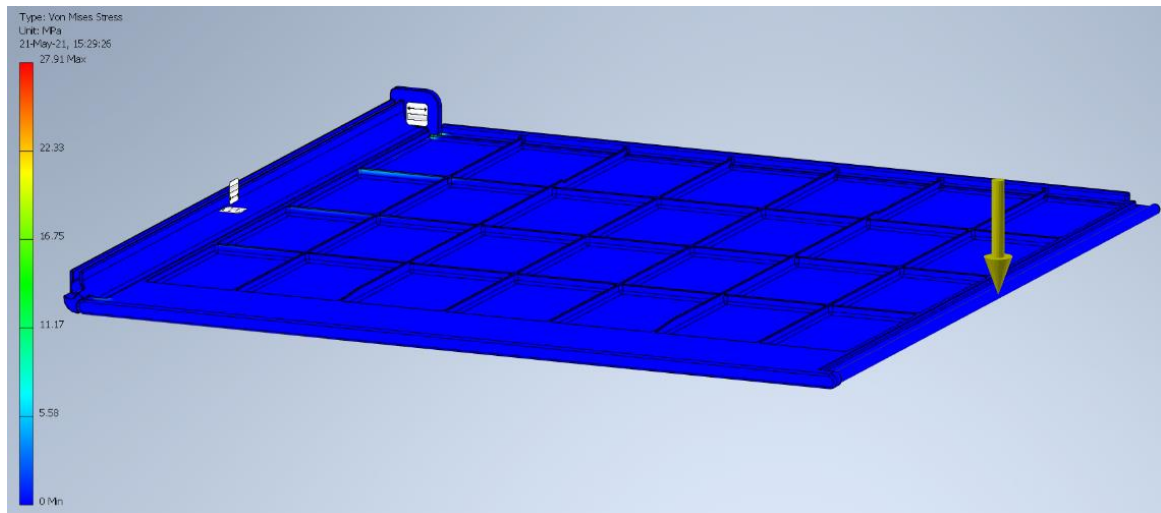
Joonis 7.30 Laia mooduli tagapaneeli vabastus

8. INSENERTEHNILISED ARVUTUSED

Modulaarse ja kompaktse sahtlisüsteemi puhul on arvestatud arenduses, et täpne ja lõplik seadme detailide materjalivalik jääb kliendi otsustada koostöös toodet tootma hakkava teenusepakkujaga. Detailide puhul jäid varasematest etappidest valikusse materjalina HIPS, PC, HDPE ja PETG. Inseneritehnilisi arvutusi läbi viies arvestatakse, et detailide valmistamisel on materjalina kasutusel HIPS. Toote kõige ohtlikumateks olukordadeks on ühendusdetaili soonele läbi plaadi mõjuv moment ning seetõttu viiakse läbi selle olukorra kohta ka LEM analüüs. Lisaks viiakse läbi LEM analüüs ühendusdetaili *snap-fit* ühenduse konksu kohta, et kontrollida, kas soovitud jõudu rakendades konks deformeerub piisavalt ilma, et ületaks lubatud pingeid. *Snap-fit* ühenduse LEM analüüsi kontrollimiseks viiakse lisaks läbi kontrollarvutused. LEM analüüside tegemisel kasutatakse Inventor Professional 2021 projekteerimistarkvara Stress Analysis moodulit, mis võimaldab LEM analüüside läbi viimist.

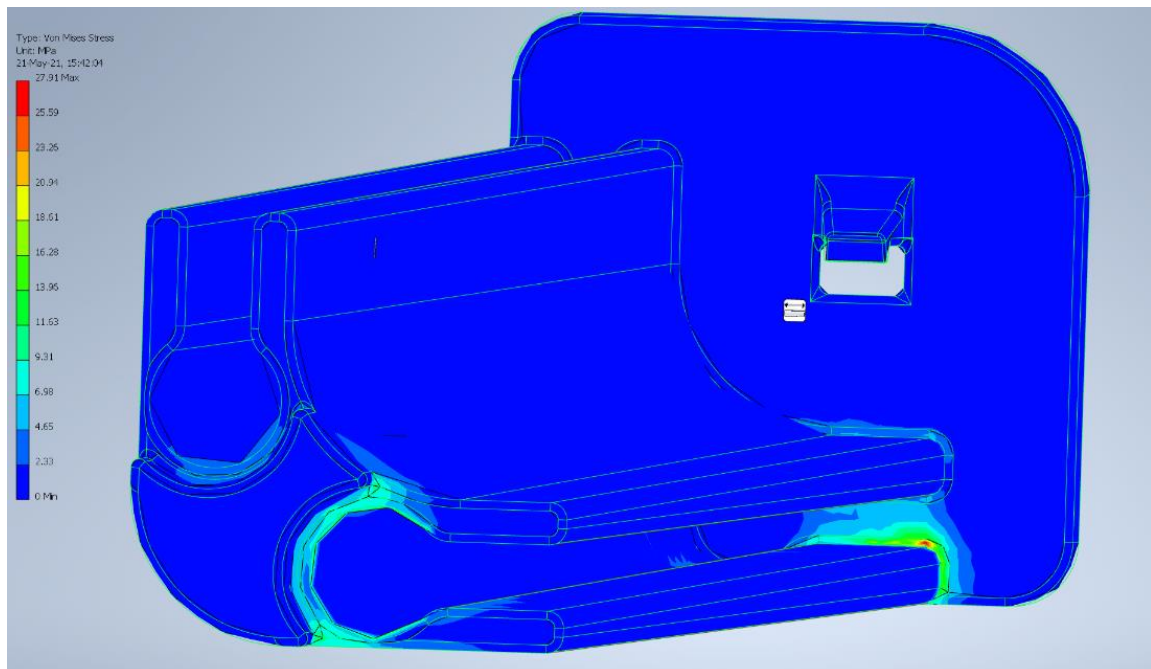
8.1 Ühendusdetaili ja küljepaneeli ohtliku olukorra analüüs

Seadme kasutamisel loetakse kõige ohtlikumaks olukorraks olukorda, kus seadme üht vertikaalset serva hoitakse paigal ning üritatakse liigutada üles või alla teist vertikaalset serva. Kõige ohtlikum taoline olukord tekib laia mooduli horisontaalse paneeli korral, kus tekib ühendusdetaili ja küljepaneeli ühendusse kõige suurem moment, kui horisontaalpaneelile mõjub ribistatud poole ühendussoonele mõjuv jõud. Ohtliku olukorra jõus valitakse jõud, mis tekib, kui horisontaalse plaadi ühenduse vastasühendusele rakendatakse jõud 20 N. Karbimoodulil on neli ühendust, ning antud olukorras rakendatud jõud jaguneb võrdselt ühenduste vahel, mistõttu tugevusanalüüsis rakendatakse jõudu väärtusega 5 N (Joonis 8.1).



Joonis 8.1 Ühendusdetaili ja küljepaneeli ohtliku olukorra LEM analüüsi pinged ja rajatingimused

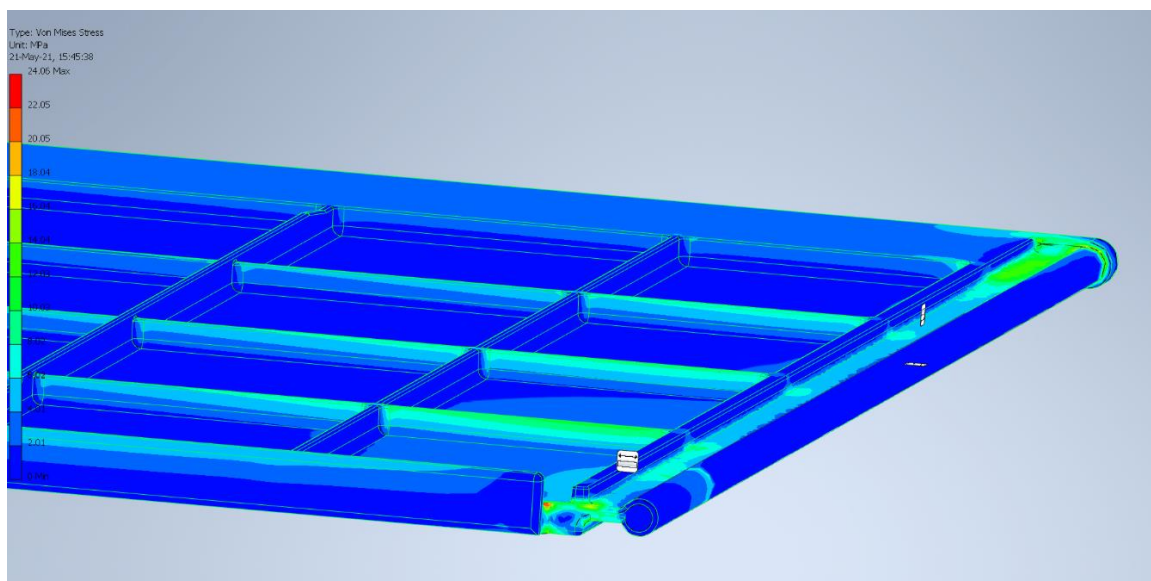
Ühendusdetaili ja küljepaneeli ühenduse analüüsi läbiviimisel piirati ühendusdetaili avatud profiili silindriline pind, üks sirge pind ja ühendusdetaili tagakülg frictionless tüüpi piiranguga, mis fikseerib elemendi pinnanormaali sihis ning mida on rajatingimuste joonisel (Joonis 8.1) näha ka valgete kastidena. Suurim pingeväärtus LEM analüüsis on 27,9 MPa (N/mm^2). Suurim pingeväärtus asub ühendusdetaili ühenduselemendi sirge osa tagaservas äärmiselt väikeses ulatuses (Joonis 8.2) ning ulatuslikumalt ühendusdetailis üle 20 MPa pingeid ei ole.



Joonis 8.2 Ühendusdetaili ja küljepaneeli ohtliku olukorra LEM analüüsi pinged ühendusdetailis

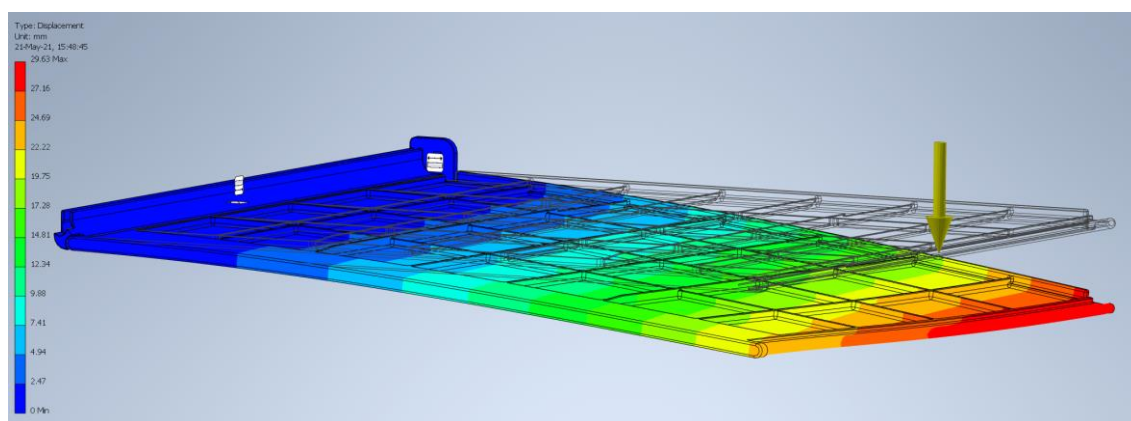
Ühendusdetaili ja küljepaneeli ühenduse LEM analüüsis horisontaalpaneelis tekkisid suurimad lokaalsed pinged tagapaneeli ja küljepaneeli ühenduselemendi servale

pingekontsentraatorina, kus suurimaks pingeks on 24,06 MPa. Ülejäänud küljepaneeli ulatuses on suuremad pinged ühendusprofili tasapindadel, kus suurimad pinged jäävad alla 20 MPa (Joonis 8.3).



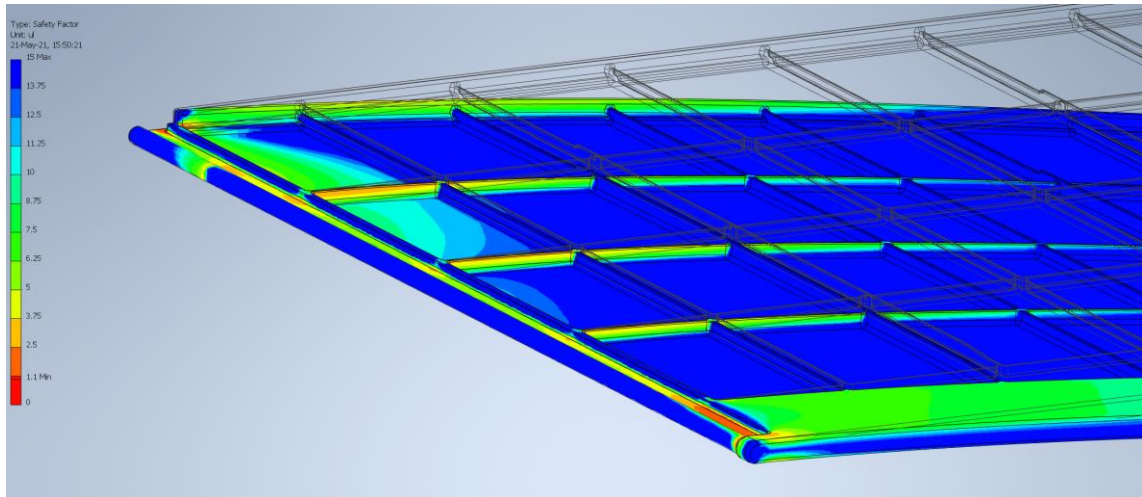
Joonis 8.3 Ühendusdetaili ja küljepaneeli ohtliku olukorra LEM analüüsi pinged horisontaaldetailis

Läbiviidud LEM analüüsis suurimaks võimalikuks deformatsiooniks on 29,6 mm (Joonis 8.4), mis peamiselt on põhjustatud asjaolust, et analüüsis on horisontaalpaneeli profiil, millele jõud rakendatakse, täielikult vaba ning sellel puudub toetus teiste detailide poolt. Reaalsuses on projekteeritud korpusemoodul selliselt, et deformatsiooni takistab vabasse profiili kinnituv ühendusdetail, mis seob horisontaalpaneeli nii tagapaneeli kui ka teiste küljepaneelidega.



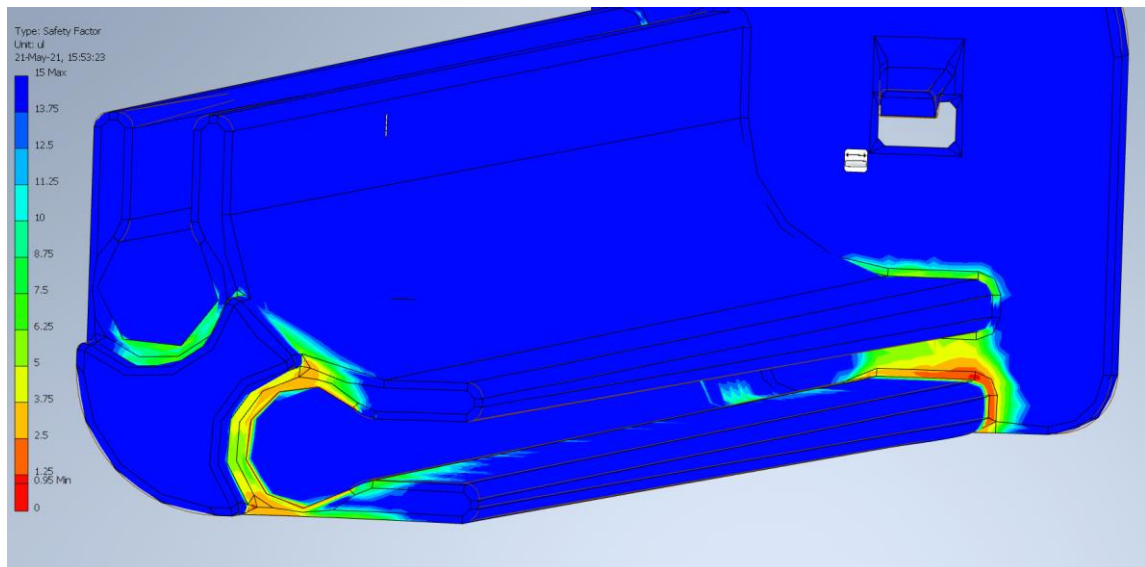
Joonis 8.4 Ühendusdetaili ja küljepaneeli ohtliku olukorra LEM analüüsi deformatsioonid

LEM analüüsis horisontaalpaneeli pingeid ja materjali voolepiiri arvestades jääb minimaalseks varuteguriks 1,1, mis tuleneb sarnaselt maksimaalse pinge väärtusele teoreetilisest pingekontsentraatorist, kus on niivõrd kõrge pinge vähem kui ühe elemendi ulatuses. (Joonis 8.5)



Joonis 8.5 Ühendusdetaili ja küljepaneeli ohtliku olukorra LEM analüüsi küljepaneeli varutegur

LEM analüüsis ühendusdetaili pingeid ja materjali voolepiiri arvestades jääb minimaalseks varuteguriks 0,95, mis tuleneb teoreetilisest pingekontsentraatorist, mis on äärmiselt lokalane ja väikese ulatusega, ega peegelda tegelikku olukorda. Suurema ulatuse ja kõrgema pingega piirkondades on minimaalseks varuteguriks 1,5 (Joonis 8.6).



Joonis 8.6 Ühendusdetaili ja küljepaneeli ohtliku olukorra LEM analüüsi ühendusdetaili varutegur

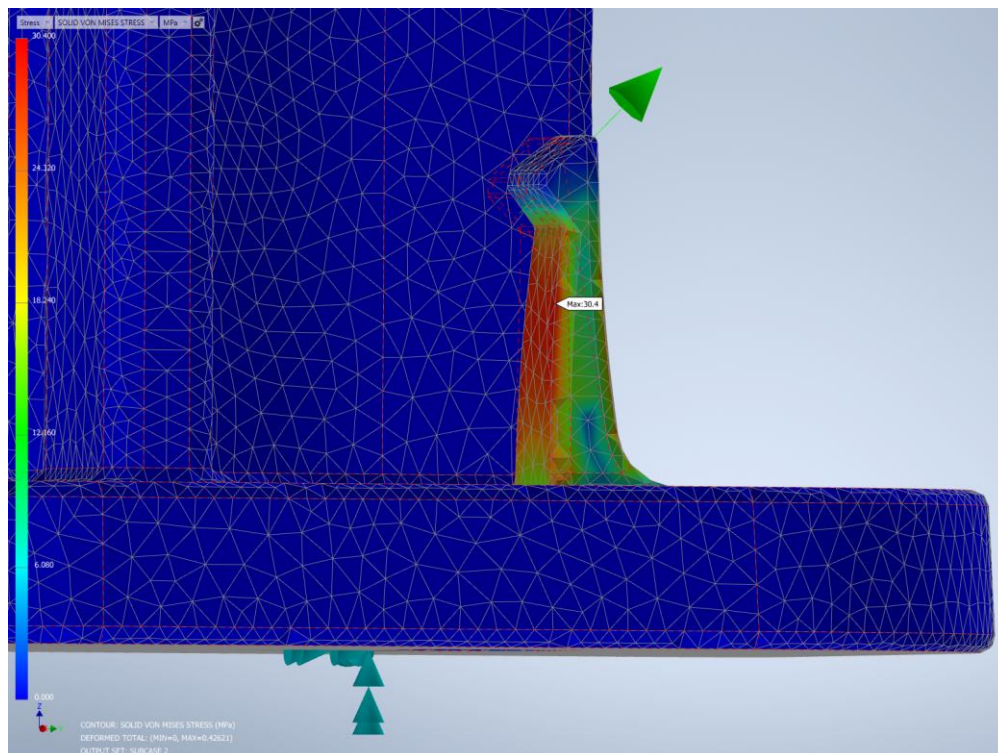
LEM analüüsis saadi adekvaatsed tulemused erandiga väga väikese ulatusega pingekontsentraatoritest ning arvestades toote ja detailide vähest ja madalat vastusrikkust konstruktsiooni purunemiste osas ning LEM analüüsi äärmiselt äärmuslikke tingimusi, on analüüsi minimaalne tugevusvaru 1,5 rahuldav, ühenduses ei toimu plastseid deformatsioone ning detailide tugevus on tagatud.

8.2 Ühendusdetaili *snap-fit* ühenduse konksu tugevusanalüüs

Ühendusdetaili *snap-fit* ühenduse konksu tugevusanalüüsis analüüsitakse ühendusdetaili moodulisse ühendamisel ja selle eemaldamisel *snap-fit* ühenduse konksus tekkivaid deformatsioone ja pingeid. Tugevusanalüüs viiakse läbi staatilise koormusega. Olemuselt on koormus tegelikult ka tsükliline, kuid ühendusdetail ei ole mõeldud pidevaks paigalduseks ja eemaldamiseks vaid eelistatult ühekordseks seadme paigalduseks, mistõttu tsükliliste koormustega tekkivat väsimust ei arvestata. Ühendusdetaili konksu tugevusanalüüsis arvestatakse, et konksu deformeeritakse ühendusdetaili liigutamisel jõuga kuni 5 N, mis konksu puutepinna kaldenurgale teeb konksule puutepinnaga risti mõjuvaks jõuks $F = 5 \cdot \cos(45^\circ) \approx 3,55 \text{ N}$.

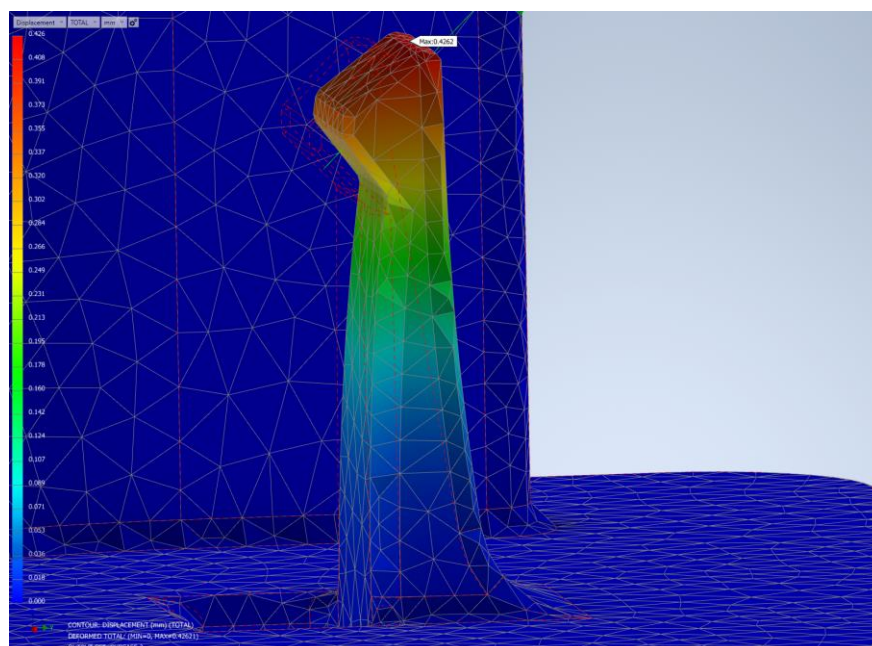
8.2.1 Ühendusdetaili *snap-fit* ühenduse konksu tugevusanalüüs ühendusdetaili eemaldamisel

Ühendusdetaili *snap-fit* ühenduse konksu tugevusanalüüsi läbiviimiseks piiratakse liikumine ühendusdetaili tagaküljel kõigis vabadusastmetes, mis on ühendusdetaili all nooltena (Joonis 8.7), mis fikseerib keha alumise pinna täielikult. *Snap-fit* ühenduse konksu alumisele kaldpinnale rakendatakse jõud 3,55 N, mille tulemusena tekib suurim pinge konksu ja ühendusdetaili tagapinna vahelisse nurka väärtusega kuni 30,4 N/mm² (MPa).



Joonis 8.7 *Snap-fit* ühenduse konksu LEM analüüsi pinged ühendusdetaili eemaldamisel

Ühendusdetaili konksule 3,55 N jõu rakendamisel detaili eemaldamisel on suurimaks deformatsiooniks 0,43 mm (Joonis 8.8), mis on piisav, et ühendusdetailil võimaldada deformeeruda tagapaneelil asuvasse avasse ning võimaldada ühendusdetaili eemaldumist.

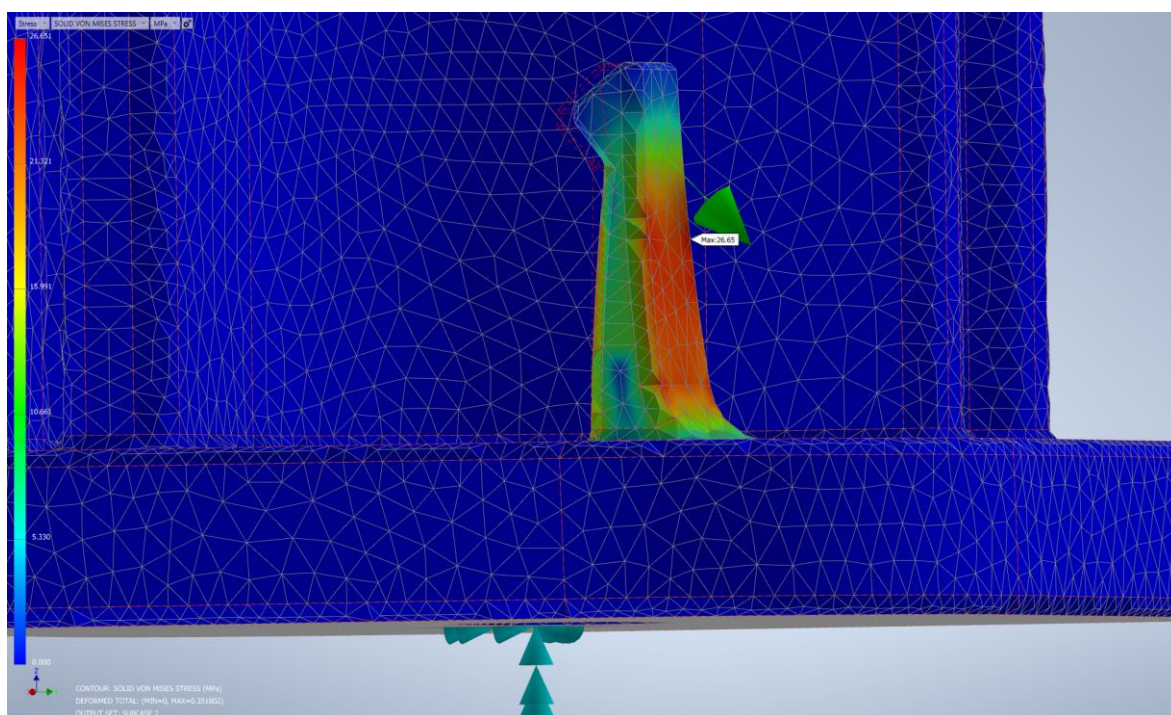


Joonis 8.8 *Snap-fit* ühenduse konksu LEM analüüsi deformatsioonid ühendusdetaili eemaldamisel

Arvestades, et ühendusdetailis tekkivad pinged on tegelikkuses alla 30 MPa ning Teades HIPS voolepiiri $\sigma_y = 32$ MPa [20], mis on suurem kui LEM analüüsis tekkiv maksimaalne pinge $\sigma_{max} = 30,4$ MPa, saab järeldada, et ühendusdetaili konksu tugevus ühendusdetaili paigaldamisel on tagatud ning konksus selle käigus plastseid deformatsioone ei teki.

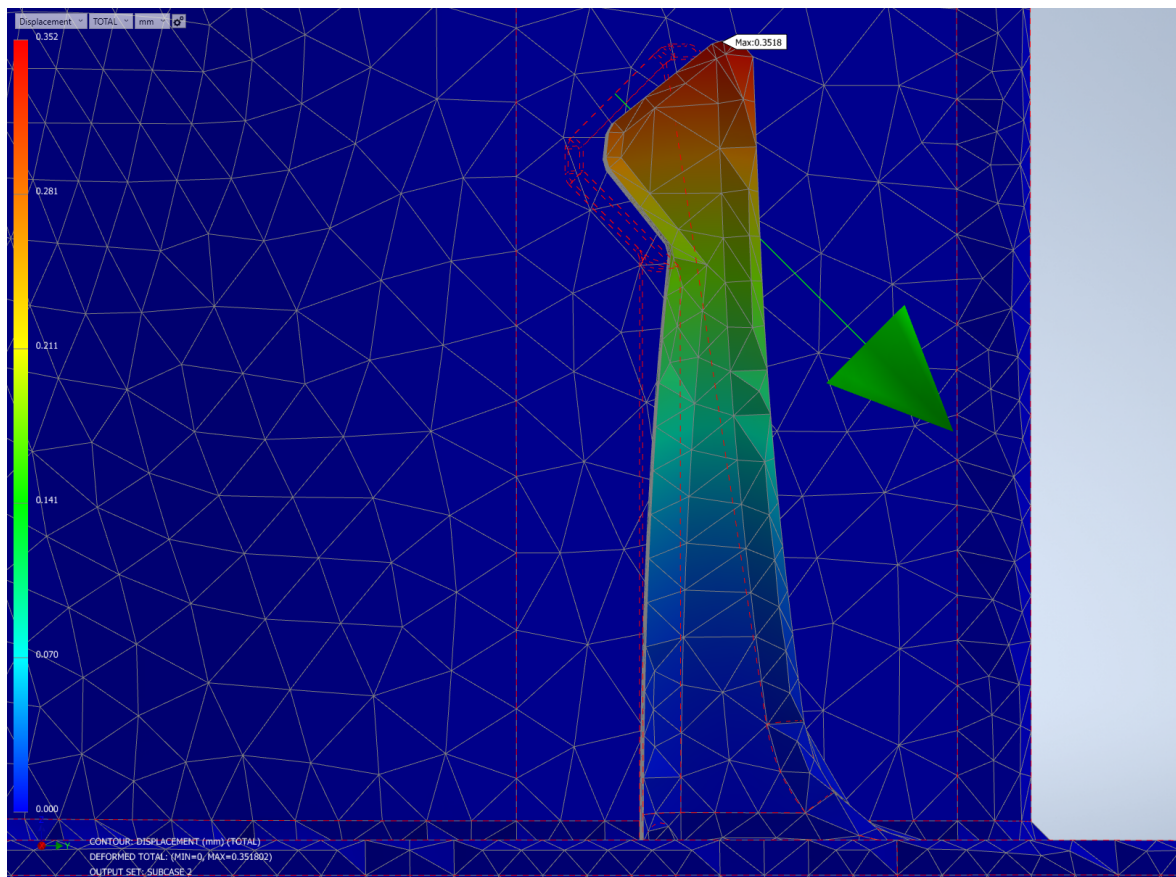
8.2.2 Ühendusdetaili snap-fit ühenduse konksu tugevusanalüüs ühendusdetaili paigaldamisel

Snap-fit ühenduse konksu tugevusanalüüsis ühendusdetaili paigaldamisel rakendatakse konksu alumisele kaldpinnale jõud 3,55 N (Joonis 8.9), mille tulemusena tekib suurim pinge konksu ja ühendusdetaili tagapinna vahelisse nurka väärtusega kuni 26,6 N/mm² (MPa).



Joonis 8.9 *Snap-fit* ühenduse konksu LEM analüüsi pinged ühendusdetaili paigaldamisel

Ühendusdetaili konksule 3,55 N jõu rakendamisel detaili paigaldamisel on suurimaks deformatsiooniks 0,35 mm (Joonis 8.10), mis on piisav, et ühendusdetailil võimaldada deformeeruda 0,2 mm lõtkuga liikuva tagapaneeli avasse ning võimaldada ühendusdetaili eemaldumist.



Joonis 8.10 *Snap-fit* ühenduse konksu LEM analüüsi deformatsioonid ühendusdetaili paigaldamisel

LEM analüüsis tekkiv maksimaalne pinge $\sigma_{max} = 26,6$ MPa on väiksem materjali voolepiirist, mistõttu saab järeldada, et ühendusdetaili konksu tugevus ühendusdetaili paigaldamisel on tagatud ning konksus selle käigus plastseid deformatsioone ei teki.

KOKKUVÕTE

Magistritöö teema pakkus autor välja erialase koolivälise projekti sidumiseks õppetöoga. Magistritöö ülikoolipoolseks juhendajaks on Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika ja tööstustehnika instituudi lektor Kaimo Sonk.

Lõputöö ülesanne sai alguse kliendi soovist ja vajadusest arendada modulaarne ja kompaktned terviklik sahtlisüsteem, mille komponendid oleksid lihtsalt vahetatavad, konfigureeritavad ning moodulid lihtsasti laiendatavad. Toode on mõeldud peamiselt laste väikeste mänguasjade hoiustamiseks ja korrastamiseks, kuid lisaks sellele on oluline, et see oleks ka esteetiliselt aktsepteeritava välimusega ka täiskasvanutele, et toodet ei oleks vaja peita ära eraldi kappi või sahtli sisse. Toode on mõeldud hoiustama erinevaid väiksemõõtmelisi hobi- ja mänguasju ja -esemeid. Igal sahtlil on võimekus ka sahtlialdajaga sahtli ruumi jaotada. Arendatakse toode kahes laiuse variandis, millest laiema sahtlisse mahub üks plaat mõõtmetega 250 x 250 x 2 mm ning kitsam dimensioneeritakse selliselt, et kahe kitsa mooduli kokku ühendamisest vastab see ühe laia mooduli laiusele.

Lõputöö algaasis viis läbi autor turu-uuringu, mille tulemusena saadi teada, millised analoogsed lahendused on turul, mis on turul olevate toodete eeldatavad nõuded nende toodete loomisel ja arendamisel ning välja toodi ka peamised toodete põhiparameetrid ning tähelepanekud, mida käesoleva arenduse kontekstis kasutada. Turu-uuringu etapis leitud toodetel oli erinevaid üksikuid modulaarsuse elemente, mis on käesoleva arenduse nõueteks kui ka hea kvaliteedi, ja esteetilise välimusega tooteid, kuid mitte ühtegi sellist, mis oleks tervikuna rahuldanud kliendi vajadusi ja nõudeid. Turu-uuringu etapi põhjal võeti kokku tootespetsifikatsioonid ja varasemad nõuded, millest sõnastati arenduse jaoks olulised lõplikud nõuded ning lõplikud soovid, mida võimaluse korral rakendatakse ja arvestatakse.

Esmase tootekontseptsiooni etapis kirjutati lahti toote põhifunktsioonid, leiti neile morfoloogilise maatriksiga hulk lahendeid. Seejärel jaotati toode funktsioonide põhjal karbi-, karbimoodulite vahelise ühenduse ja sahtlimooduliks, mille järel leiti igale moodulile eelistatavad terviklahendid. Moodulite terviklahendeid analüüsiti tehnilise tootekontseptsiooni etapis põhjalikumalt ning loodi põhjalikud lahendid ja nõuded iga mooduli funktsiooni lahenditele. Tehnilise tootekontseptsiooni tulemuseks sai igast moodulist 3 terviklikku ja põhjalikku lahendit, mille põhjal viidi läbi koostööpartnerite poolt autori juhtimisel ja planeerimisel tootedisaini välja töötamine. Tootedisaini etapi lõpuks valmis igast tehnilisest kontseptsiooni lahendist terviklik tehnilise kontseptsiooni nõudeid arvestav kujundus. Koostöös kliendiga valiti tootedisaini etapist välja

valumeetodil toodetav sahtel, mille esikülj koosneb eraldi detailist et muuta sahtlit rohkem konfigureeritavaks. Karbi- ja karbimoodulite ühendusmoodulites valiti välja lahend, kus korpuse elemente ühendav detail on samaaegselt ka karbimooduleid ühendavaks detailiks ning kõik paneelid on valumeetodil toodetavad ja kompaktselt kokku pakitavad. Valitud kujunduste põhjal liiguti edasi projekteerimise etappi.

Projekteerimise etapis projekteeriti varasema töö põhjal kõik detailid ja nendevahelised ühendused, mõõtmestati terve toode selliselt, et toode tervikuna on modulaarne ja valumeetodil toodetav. Projekteerimisel arvestati ka võimalikult lihtsat kokkupandavust ja võimalikult suurt universaalsust. Iga detail projekteeriti selliselt, et võimalikult palju oleks erinevate detailide lõikes kattuvaid elemente ning kõik detailid kinnituvad üksteise külge identse ühendusviisiga. Detailide projekteerimisel alustati nende mõõtmestamisega, ühendusprofiilide loomisest ning varasemate etappide nõuete arvestamisest. Seejärel loodi vajalikesse kohtadesse süvistused ja ribad, loodi ja täiendati tehnoloogilise avasi ja kinnitusi, peale mida lisati detailide servadesse raadiused. Viimase sammuna kontrolliti ja veenduti koostu kokkusobivuses ja toote koostamise võimalikkuses.

Lõputöö viimases staadiumis viidi läbi insenertehnilised arvutused. Toote kasutamise ohtlikumateks olukordadeks oli, kui laia mooduli vaheseinadele rakendatakse jõudu seinalaaiuse sihis üksteise suhtes vastassuundades ehk kui ühendusdetaili külge kinnituva horisontaalpaneelile rakendada paneeli pinnaga risti jõud avatud osa serval ning ühendusdetaili *snap-fit* ühenduse deformeerimisel tekkivaid pingeid. Esmalt analüüsiti ühendusdetaili ja horisontaalpaneeli vahelise ühenduse ohtlikku olukorda, kasutades Autodesk Inventor Professional 2021 tarkvara Stress Analysis moodulit. Ühendusdetaili *snap-fit* ühenduse analüüsiks kasutati Autodesk Inventor Professional 2021 tarkvara Inventor Nastran laiendit, mis võimaldab täpsemaid ja põhjalikumaid analüüse läbi viia. Tugevusanalüüsi tulemusena selgus, et konstruktsiooni vaadeldavates osades plastseid deformatsioone ei teki ning pinged jäävad lubatud piiridesse.

Lõputöö võib lugeda õnnestunuks, sest selle raames jõuti ideest projekteeritud tooteni, mis lõputöö valmimise hetkeks on ka tegelikkuses prototüübitud ja läbinud esmased testid. Prototüüpimisel kasutati MJF ja MSLA meetodeid, mis võimaldasid piisava täpsuse ja pinnakvaliteediga detailide printimist. Arenduse käigus on saadud täiendavaid teadmisi, infot ja uusi mõtteid, kuidas arendatud toodet veel edasi arendada ning reaalsuses on täiendav arendustöö juba käimas.

Kokkuvõttes võib väita, et lõputöös püstitatud eesmärgid on saavutatud ja projekteeritud toode on reaalsuseks saanud.

SUMMARY

The author proposed the topic of the master's thesis to link the, extracurricular project with the studies. Kaimo Sonk, a lecturer at the Institute of Mechanics and Industrial Engineering of Tallinn University of Technology, is the university's supervisor of the master's thesis.

The task of the thesis started with the client's desire and need to develop a modular and compact complete drawer system, the components of which would be easy to change, configure and the modules could be easily expanded. The product is mainly intended for storing and arranging small children's toys. Still, it is vital that it also has an aesthetically acceptable appearance for adults so that there is no need to hide the product in a separate cupboard or drawer. The product is designed to store a variety of small hobby items and toys. Each drawer also can divide the drawer space with a drawer divider. The product is developed in two width variants. The wider drawer can accommodate one plate measuring 250 x 250 x 2 mm. The narrower one is dimensioned so that when two slim modules are joined together, it corresponds to the width of one wide module.

In the initial phase of the thesis, the author conducted a market study to find out what similar solutions are on the market, what are the expected requirements of the products in the market for their creation and development, and the main product parameters and observations to be used in the context of this development. The products found in the market investigation phase had various individual elements of modularity, which are the requirements of the current development as well as products of good quality and aesthetic appearance, but none that would have fully satisfied the needs and conditions of the customer. Based on the market research phase, the product specifications and previous requirements were summarised, the final requirements necessary for development were formulated, and the final wishes will be implemented and taken into account if possible.

The product's main functions were described in the initial product concept stage, and several solutions were found with a morphological matrix. The product was then functionally divided into a box, a connection between the box modules and a drawer module, after which preferred complete solutions were found for each module. The complete solutions of the modules were analysed in more detail in the technical product concept stage, and comprehensive solutions and requirements for the solutions of the function of each module were created. As a result of the technical product concept, each module resulted in three complete and thorough solutions. The cooperation partners

developed the product design under the guidance and planning of the author. By the end of the product design phase, a complete design considering the technical concept requirements was completed from each technical concept solution. In cooperation with the client, a drawer produced by the molding method was selected from the product design stage. The front consists of a separate detail to make the drawer more configurable. A solution was chosen in the connection modules of the box and box modules, where the part connecting the elements of the housing is at the same time also the part connecting the box modules, and all the panels can be moulded and compactly packed. Based on the selected designs, it was moved on to the engineering stage.

At the engineering stage, all the details and the connections between them were designed based on previous work, and the whole product was dimensioned so that the product as a whole is modular and can be produced by the molding method. The design also took into account the most straightforward possible assembly and the most excellent possible versatility. Each part was designed so that as many elements as possible would overlap in different parts, and all the pieces are attached identically. Designing the details was started by dimensioning them, creating connection profiles, and considering the requirements of previous stages. Recesses and ribs were then formed in the required places, technological openings and fasteners were created and supplemented, after which radii were added to the edges of the details. As a final step, the compatibility of the assembly and the feasibility of assembling the product were checked and verified.

In the last stage of the thesis, engineering calculations were performed. The most dangerous situations of using the product were when a force is applied to the partitions of a comprehensive module in opposite directions of the wall width, i.e. when a force perpendicular to the surface of the panel is applied to the horizontal panel attached to the connector and the snap-fit of the connector. The Stress Analysis module of the Autodesk Inventor Professional 2021 software was first used in analysis for the hazardous condition of the connection between the connector and the horizontal panel. The snap-fit connection was analysed using an Inventor Nastran extension from Autodesk Inventor Professional 2021, allowing for more accurate and in-depth analysis. As a result of the strength analysis, it was revealed that no plastic deformations occur in the observed parts of the structure, and the stresses remain within the permissible limits.

The thesis can be considered successful because it resulted in a product designed from the idea. By the time the thesis is completed, it has been prototyped and passed the initial tests. The prototyping used MJF and MSLA methods, which allowed the printing

of details with sufficient accuracy and surface quality. In the development, additional knowledge, information, and new ideas have been gained to develop the developed product further. In reality, additional development work is already underway.

In conclusion, it can be said that the goals set in the thesis have been achieved, and the designed product has become a reality.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. “Drawers Toys Organizer” [WWW]
<https://pl.aliexpress.com/i/4000415864946.html>. (05.02.2021)
2. “Akro-Mils Plastic Parts Storage Hardware and Craft Cabinet” [WWW]
https://www.amazon.co.uk/dp/B003P2UOCO/ref=as_li_ss_tl?psc=1&dpID=51p1PNPSuKL&pd_rd_i=B003P2UOCO&dpSrc=detail&_encoding=UTF8&pd_rd_wg=H1tbI&pd_rd_w=z83X0&preST=_SY300_QL70_&refRID=W26429QEFQPH5K8QJER5&pd_rd_r=W26429QEFQPH5K8QJER5&linkCode=gs2&linkId=fb5ccff951c50076016d47962adac26c&tag=brickarchi06-21. (05.02.2021)
3. “IRIS USA LEGO 6-Case workstation” [WWW]
https://www.amazon.com/IRIS-6-Case-Workstation-Storage-Plates/dp/B0031P85VC/ref=pd_sim_21_4?ie=UTF8&dpID=41TDsFCE9ZL&dpSrc=sims&preST=_AC_UL160_SR116%2C160_&refRID=0Q2H5HD95VDG0H8DKH2J (05.02.2021)
4. “Parts Box” [WWW]
https://pl.aliexpress.com/item/4001314816528.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.49c94da3aIwNMb&algo_pvid=9fad42ab-573f-4a98-9f84-547384b393f7&algo_expid=9fad42ab-573f-4a98-9f84-547384b393f7-2&btsid=0bb0624516037948628563916e86af&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_ (05.02.2021)
5. “Plastic Drawer Organizer” [WWW]
<https://pl.aliexpress.com/item/33026660082.html> (05.02.2021)
6. “Snap-fit” [WWW]
<https://www.brightonk12.com/cms/lib/MI02209968/Centricity/Domain/517/Snap%20Fitting%201.jpg> (08.03.2021)
7. “Injection molding service” [WWW]
<https://www.xometry.com/capabilities/injection-molding-service/> (08.03.2021)
8. “Swiss Screw Turning vs. Traditional CNC Machining” [WWW]
<https://www.thomasnet.com/insights/swiss-screw-turning-vs-traditional-cnc-machining-/> (08.03.2021)
9. “Mayku FormBox Desktop Forming Machine” [WWW]
<https://www.robotshop.com/uk/mayku-formbox-desktop-vacuum-forming-machine-eu.html> (08.03.2021)

10. “Vacuum Forming” [WWW] <https://vacmouldsdisplays.com.au/our-services/vacuum-forming/> (08.03.2021)
11. “Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and its Features” [WWW] <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-plastic> (20.04.2021)
12. “PMMA - Polymethylmethacrylate” [WWW] <https://www.resinex.co.uk/polymer-types/pmma.html> (20.04.2021)
13. “PETG Characteristics” [WWW] <https://dielectricmfg.com/knowledge-base/petg/> (20.04.2021)
14. “High Impact Polystyrene (HIPS): Techno Brief” [WWW] <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/high-impact-polystyrene> (20.04.2021)
15. “A Complete Guide to Polycarbonate (PC)” [WWW] <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polycarbonate-pc-plastic> (20.04.2021)
16. “Polypropylene (PP)” [WWW] <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/pp.aspx> (20.04.2021)
17. “Polyethylene (High Density) HDPE” [WWW] <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/hdpe.aspx> (20.04.2021)
18. “The manufacturing & design guide: Injection molding” [WWW] <https://www.hubs.com/guides/injection-molding/#the-basics> (01.05.2021)
19. “*Snap-fit* Joints for Plastics” [WWW] http://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/people/vernelle.noel/Plastic_Snap_fit_design.pdf (07.05.2021)
20. “High Impact Polystyrene (HIPS) properties” [WWW] <https://www.makeitfrom.com/material-properties/High-Impact-Polystyrene-HIPS> (12.05.2021)

LISAD