

TAL TECH

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

COOLERDECK JAHUTUS MÄNGUKONSOOLILE STEAM DECK

COOLERDECK COOLING SYSTEM FOR STEAM DECK GAME CONSOLE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Martin Tõniste

Üliõpilaskood 211605MATM

Juhendaja: Martin Eerme, Programmijuht –
Inseneriteaduskonna dekaanat

Tallinn 2023

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

"20" mai 2023.

Autor: Martin Tõniste

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Martin Tõniste (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose *CoolerDeck* jahutus mängukonsoolile *Steam Deck*,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Martin Eerme,
(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

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

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

21.05.2023(kuupäev)

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 tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Martin Tõniste (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Martin Eerme, Programmijuht – Inseneriteaduskonna dekanaat
(amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Mängukonsooli Steam Deck jahutuse CoolerDeck projekteerimine*
(inglise keeles) *Designing the CoolerDeck cooling for the Steam Deck game console*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tõsta *Steam Deck*-i soojusdisaini võimsust.
2. CoolerDeck peab säilitama konsooli kaasakantavuse

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "21" mai 2023a

Üliõpilane: Martin Tõniste "21" mai 2023a

Üliõpilane: ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....20.....a
/allkiri/

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

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
SISSEJUHATUS	9
1. PÕHIOSA	11
1.1 <i>Steam Deck</i> -i konsool.....	11
1.1.1 <i>Steam Deck</i> -i jahutus	12
1.1.2 Inspiratsioon ja kontseptsioonid	14
2. Komponentide tootearendus.....	16
2.1 Vaheplaat	16
2.2 Radiaator.....	19
2.2.1 Radiaatori valik.....	19
2.2.2 Kogu süsteemi soojustakistuse ja soojusülekanne arvutamine	20
Süsteemi ülevaade ja eeldused	21
Soojustakistuse arvutamine	21
Soojuse ülekandevõime arvutamine	22
Järeldused	22
2.3 <i>CoolerDeck</i> süsteemi kinnituse väljatöötamine	22
2.3.1 Plastik kinnitus	22
2.3.2 Magnetite valik <i>CoolerDeck</i> süsteemi jaoks.....	24
2.3.3 Terasest kinnitus.....	26
2.3.4 Kruvi valik kinnituse paigaldamiseks.....	27
2.4 3D Printimine	28
2.4.1 <i>CoolerDeck</i>	28
Algsed iteratsioonid	28
Ventilaatori muster	34
Toiteallika disaini lahendus	35
2.4.2 Ääretükk	36
2.4.3 <i>CoolerDeck</i> -i ja <i>Steam Deck</i> -i kate	38
2.5 Elektrisüsteem	40
2.5.1 USB-C Toiteallika valik.....	40
2.5.2 Ventilaatori valik.....	42
3. Lõpplahendus ja tulevik	43
KOKKUVÕTE	48

SUMMARY	49
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	51
GRAAFILINE OSA.....	52

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema ja sellest tuleneva projekti CoolerDeck sündmus sai alguse minu ja minu kolleegide poolt meie ettevõttes Nupp Engineering OÜ algatatud kollektiivsest ettevõtmisest. Meie meeskond, kuhu kuuluvad Henri Georg Kambura ja Karl Merisalu, nägid potentsiaalset innovatsioonivõimalust mängutööstuses ja haarasid kinni võimalusest töötada välja uus jahutuslahendus populaarsele mängukonsoolile *Steam Deck*.

Kogu arendusprotsessi vältel tuginesime suuresti andmetele, mida koguti ja analüüsiti meie enda ruumides. Meie kollektiivsed teadmised ja pühendumus moodustasid *CoolerDeck*-i projekti selgroo, mis võimaldas meil läbida esialgse kontseptsiooni faasi kuni lõpliku toote valmimiseni turule tulekuks.

Seda teekonda on läbinud erinevate isikute abi ja toetus. Olen eriti tänulik Meeli-Mari Napp-ile, kes pakkus hindamatut abi lõputöö vormindamisel, tagades, et see dokument oleks võimalikult selge ja loetav.

Koos tootearendusega käivitasime uue veebilehe (nupp.eu), et hõlbustada *CoolerDeck*-i turustamist ja müüki. Sellel platvormil on hulk ressursse, sealhulgas tootepildid, videod ja kasutusjuhend, mis olid käesoleva lõputöö jaoks oluliseks andmeallikaks.

Käesolevas lõputöös esitatakse üksikasjalik kirjeldus meie teekonnast *CoolerDeck*-i, *SteamDeck*-i magnetiga ühilduva jahutuslahenduse väljatöötamisel. Selles dokumenteeritakse meie projekteerimisprotsessid, iteratiivsed testimisfaasid ja strateegiad, mida me kasutasime probleemide ületamiseks. Lõpptoode mitte ainult ei suurenda konsooli jõudlust, vaid loob ka vaiksema mängukogemuse, pakkudes potentsiaali ületamiseks ilma soojusprobleemideta. *CoolerDeck*-i projekt näitab uuendusliku mõtlemise, ühiste jõupingutuste ja range testimise jõudu idee muutmisel käegakatsutavaks tooteks.

Märksõnad – *CoolerDeck*, *Steam Deck*, jahutuslahendus, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

TDP – Terminiline disaini võimsus

MPS – Mikroprotsessori süsteem

APU – Kiirendatud töötlemisüksus (Protsessor ja Graafika kaart)

OS – Operatsiooni süsteem

CFM – Kuupmeetrit minutis

AAA – Kõrgkvaliteedilised, suure eelarvega videomängud

SISSEJUHATUS

Järgnevas lõputöös tutvustatakse põhjalikult *Valve*-i pihuarvuti mängukonsoolile *Steam Deck* mõeldud uuendusliku jahutuslahenduse *CoolerDeck* projekteerimis- ja arendusprotsessi. See projekt tuleneb tungivast vajadusest lahendada soojusjuhtimise probleeme, mis tulenevad kaasaegsete kaasaskantavate mängukonsoolide suure jõudlusega arvutamishõuetest. *Steam Deck* oma võimsa protsessori ja suure arvutuskooormusega tekitab märkimisväärset soojust. Tõhusa jahutuslahenduse puudumisel võib see soojus põhjustada soojuspiiranguid, mis omakorda võivad negatiivselt mõjutada mängukogemust, vähendades konsooli jõudlust.

CoolerDeck-i peamine eesmärk on suurendada *Steam Deck*-i konsooli jahutuse tõhusust, säilitades seeläbi selle jõudluse suure koormuse korral. Lisaks sellele avab *CoolerDeck* tänu konsooli soojusootmise tõhusale juhtimisele võimaluse *Steam Deck*-i üle kiirendamiseks. Üle kiirendamine ehk konsooli protsessori käivitamine selle vaikimisi seadistustest kõrgemal kiirusel võib tagada parema mängutõhususe. See tekitab aga ka täiendavat soojust, mistõttu on tõhus jahutuslahendus hädavajalik.

CoolerDeck-i disaini teekond algas keskendumisega ühele võtmekomponendile: vaheplaadile. See element moodustab *CoolerDeck*-i jahutuslahenduse selgroo. Vaheplaadi disain põhines olemasoleval *SteamDeck*-i metallkattel. Esialgne metallkate valiti distantssplaadi mudeliks, sest see sisaldas juba vajalikke termopadjakesi, mis on seadme soojusjuhtimise jaoks hädavajalikud.

Konstrueerimisprotsessi käigus võeti konsooli pealt välja soojusvaheti kinnituskohtade koordinaadid. Seejärel kanti need koordinaadid hoolikalt üle digitaalsele konstruktsioonile, mis loodi AutoCAD tarkvara abil. See protsess nõudis suurt täpsust, et tagada vahekaabli täpne projekteerimine ja selle sujuv integreerimine konsooli olemasolevate komponentidega. Konstruktsiooni täpsuse kinnitamiseks viidi läbi kaheastmeline prototüüpimisprotsess. Esialgsete katsed viidi läbi vaheplaadi plastmudelil, millele järgnesid katsed pleksiklaasist mudeliga.

CoolerDeck-i projekteerimisprotsessi oluliseks osaks oli ka sobivate radiaatorite valik ja katsetamine. Valiti 40x40 mm aluse suurusega radiaatorid, et need vastaksid konsooli olemasoleva radiaatori aluse mõõtmetele. Hangiti radiaatorite valik ja hinnati soojustaksitust. Viidi läbi katsed, et teha kindlaks kõige paremat jahutustõhusust pakkuv radiaatorivariant.

Teine oluline kaalutlus oli *CoolerDeck*-i elektrisüsteem. See hõlmas 5-voldise ventilaatori ja USB-C-ühenduse kaudu toimuva toiteallika valimist. Konsoolist sobiva toiteallika hankimisega seotud väljakutsed tõid kaasa TYPE-C-plaadi prototüübi väljatöötamise, millel on isendliitmik.

Kokkuvõttes paneb see sissejuhatuse aluse *CoolerDeck*-i disaini ja arendusprotsessi üksikasjalikule uurimisele. Selles tuuakse esile keerukus, mis on seotud tõhusa jahutuslahenduse loomisega suure jõudlusega mängukonsoolile, ning potentsiaalsed eelised, mida selline lahendus võib pakkuda, sealhulgas võimalus konsooli üle kiirendamiseks, et saavutada parem mängujõudlus. Järgnevad peatükid süvenevad *CoolerDeck*-i disaini ja arendamise igasse etappi, andes põhjaliku ülevaate uuenduslikust *Steam Deck*-i konsooli jahutuslahendusest.

1. PÕHIOSA

1.1 *Steam Deck*-i konsool

Kaasaskantava mängutehnoloogia tulek on muutnud revolutsiooniliselt, kuidas kasutajad videomänge kogevad ja nendega interaktiivselt mängivad. Üks selline oluline uuendus on *Steam Deck*, Valve Corporationi poolt välja töötatud kaasaskantav mängukonsool. Käesolev lõputöö algab põhjaliku sissejuhatusega *Steam Deck* konsoolile, selle põhiomadustele ja kaasaskantava mänguseadme projekteerimisega kaasnevatele väljakutsetele.

2021. aasta juulis avalikustatud *Steam Deck* on esimene Valve Corporationi poolt välja töötatud käes hoitav seade, mis võimaldab mängijatel oma *Steam*-mänge kaasa võtta. Konsool, mis meenutab Nintendo *Switch*-i suuremat ja võimsamat versiooni, täidab PC- ja käes hoitavate mängude vahelise lõhe, pakkudes kasutajatele mugavust ja kaasaskantavust koos PC-mängude ulatusliku mängude kollektsiooni ja võimsusega.

Konsool sisaldab AMD poolt spetsiaalselt käes hoitavate mängude jaoks välja töötatud APU-d. See on mõeldud uuemate AAA-mängude mängimiseks väga tõhusa energiatarbimisega. Konsoolil on 7-tolline puutekraan ja täielik juhtimissüsteem, mida kasutajad on harjunud tipptasemel mänguseadmetelt ootama, sealhulgas pöidlakangid, puuteplaadid, D-pad ja mängunupud. Lisaks on sellel kohandatud *Steam OS*, mis pakub sujuvat ja optimeeritud mängukogemust.

Steam Deck-i üks peamisi müügiargumente on selle ühilduvus *Steam*-is kättesaadava tohutu mängude raamatukoguga. See ühilduvus annab kasutajatele vabaduse mängida oma lemmikmänge, millal ja kus iganes nad soovivad. Lisaks ei piirdu *Steam Deck* ainult mängimisega - see on sisuliselt kaasaskantav arvuti. Kasutajad saavad paigaldada teisi mängupoode, tarkvara, sirvida veebi, voogedastada videot ja isegi paigaldada teisi operatsioonisüsteeme, näiteks Windows.

Vaatamata oma muljetavaldavatele spetsifikatsioonidele ja võimalustele seisab *Steam Deck*, nagu paljud teisedki pihuarvutid, silmitsi märkimisväärsete soojusjuhtimise probleemidega. Konsooli suur töötlemisvõimsus tekitab tähelepanuväärt soojust, eriti kui käivitatakse nõudlikke mänge. Seadme optimaalse jõudluse ja pikaeealisuse tagamiseks on oluline seda soojust tõhusalt juhtida. *Steam Deck*-i algsel jahutuslahendusel, mis on küll piisav ülekuumenemise vältimiseks, on mõningad

loomupärased piirangud, näiteks müra tekkimine ja võimalik termiline aeglustumine suure koormuse korral.

Käesoleva lõputöö järgmistes peatükkides keskendutakse *Steam Deck*-i täiustatud jahutuslahenduse projekteerimisele ja arendamisele. Selle lahenduse, millele viidatakse kui *CoolerDeck*, eesmärk on parandada konsooli soojusjuhtimist, säilitades samal ajal selle kaasaskantavuse ja kasutatavuse. Eesmärk on pakkuda kasutajatele vaiksemat ja jahedamat mängukogemust, pikendada seadme kasutusiga ja suurendada kasutajate üldist rahulolu.

1.1.1 *Steam Deck*-i jahutus

Käesoleva töö teine peatükk on pühendatud *Steam Deck*-ile omase soojussüsteemi üksikasjalikule uurimisele, mis on põhiline tegur, mis mõjutab seadme jõudlust, pikaealisust ja kasutajakogemust. See uuring on aluseks järgmistele peatükkidele, milles käsitletakse täiustatud jahutuslahenduse kavandamist ja arendamist.

Käesolevas lõputöös uuritud *Steam Deck* kasutab kiirendatud protsessorüksust (APU), mis vajab originaal sättes 15 vatti. See APU on kõrgelt integreeritud seade, mis ühendab protsessori ja graafikaprotsessori võimekuse. Selle peamine väljakutse seisneb tasakaalu säilitamises jõudluse ja soojuse tekkimise vahel, eriti arvestades konsooli kaasaskantavat vormifaktorit.

APU peale on paigaldatud soojusjaotur, mis on ühendatud vasest soojustoruga, moodustades lõppkokkuvõttes tervikliku soojusvahetussüsteemi. Soojusjaoturi esmane ülesanne on jaotada APU poolt tekitatud soojus ühtlaselt suuremale pinnale, vähendades kuumakohtade tekkimise ohtu. Vasest soojustorustik, mis on tuntud oma suurepärase soojusjuhtivuse poolest, kannab soojuse kiiresti üle soojusjaoturist süsteemi kaugemasse otsa, kuhu on paigutatud väike radiaator.



Pilt 1.1 – *Steam Deck*-i originaal jahutuse lahendus

Radiaator, mis töötab koos ventilaatoriga, mängib olulist rolli soojuse hajutamisel ümbritsevasse keskkonda. See soojuse hajutamise protsess tugineb ventilaatorile, mis liigutab jahedamat õhku üle radiaatori, viies seeläbi APUst ülekantud soojuse ära. Kuigi see jahutuslahendus on tõhus, on sellel omad piirangud.

Esialgse jahutuslahenduse puhul jääb APU temperatuur vahemikku 90-100 kraadi Celsiuse järgi. Kuigi need temperatuurid jäävad APU jaoks vastuvõetavasse tööpiirkonda, käivitab see ventilaatori töötamise kõrgemal kiirusel, mille tulemuseks on märgatav müratase. Kahjuks on see müra märgatav isegi siis, kui kannad mürasummutusega kõrvaklappe, mis võib häirida kasutajakogemust.

Lisaks on *Steam Deck*-i originaaldisainis emaplaadil ka metallkate, mille eesmärk on veelgi enam hajutada emaplaadil olevate kiipide soojust. See kate aitab oluliselt kaasa selliste komponentide nagu laadimiskiibi, MPS-muunduri ja 35 ampriga MPS-kiibi jahutamisele.



Pilt 1.2 – Originaal metallist katte sisemine pool

Siiski mõjutab see metallkate tõenäoliselt õhuvoolu konsooli sees. Sisemise õhuvoolu täpne juhtimine on optimaalse jahutuse saavutamiseks hädavajalik ning igasugune õhuvoolu takistamine või valesti suunamine võib põhjustada ebaefektiivset jahutust.

Kokkuvõttes võib öelda, et kuigi *Steam Deck*-i soojussüsteem on konsooli toimimiseks piisav, on sellel siiski arenguruumi. Käesoleva lõputöö järgmistes peatükkides uuritakse, projekteeritakse ja katsetatakse täiustatud jahutuslahendust, mille eesmärk on lahendada need probleemid, parandada konsooli jõudlust ja kasutajakogemust.

1.1.2 Inspiratsioon ja kontseptsioonid

Selle projekti inspiratsiooniks oli *Linus Tech Tips*'i video[1], milles näidati täiendava jahutussüsteemi loomist *Steam Deck*-ile. Video näitas tõhusalt, kuidas inseneriteadmisi saab rakendada uuenduslike lahenduste väljatöötamiseks. See tekitas huvi ja uudishimu, kuid tõi esile ka olulise takistuse. Paljud vaatajad väljendasid videokommentaarisid pettumust, märkides, et neil puudub juurdepääs kallitele CNC-pinkidele ja eriteadmistele, mis on sellise projekti teostamiseks vajalikud. See olukord

oli katalüsaatoriks käesoleva projekti eesmärgile - töötada välja lahendus, mis oleks laiemale publikule kättesaadavam.

Selle projekti alustamise ajal ei olnud turul veel ühtegi muud jahutuslahendust, mis oli tingitud peamiselt sellest, et konsool oli suhteliselt hiljuti välja tulnud. See alternatiivide puudumine rõhutas *Steam Deck*-ile täiustatud jahutuslahenduse väljatöötamise potentsiaalset väärtust. Seetõttu oli kavas projekteerida *Steam Deck*-i konsoolile uuenduslik jahutusseade, kusjuures projekti juhtimiseks seati konkreetsed eesmärgid.

Esiteks eelistati komponentide valikul Euroopa turul kättesaadavaid komponente. Selle strateegia eesmärk oli tagada lühikesed tarneajad ja säilitada konkurentsieelis. Lisaks peeti oluliseks, et jahutusseade oleks kergesti eemaldatav. See omadus oli oluline, et säilitada konsooli teisaldavatus ja tagada, et konsool mahuks endiselt oma algsesse kandekotti.

Teine oluline eesmärk oli vähendada konsooli töömüra. Esialgne jahutuslahendus, mida on käsitletud eelmises peatükis, võis põhjustada märgatavat ventilaatorimüra, eriti kui konsool töötas intensiivselt. Jahutussüsteemi täiustamisega loodeti, et ventilaator peab töötama vähem agressiivselt, vähendades seeläbi müra ja parandades kasutajakogemust.

Lisaks sellele loodeti, et jahutusseade tagab konsooli parema üldise jahutuse. Suurem jahutusvõimsus aitaks säilitada optimaalse töötemperatuuri APU ja muude komponentide jaoks, mis võib pikendada konsooli eluiga ja jõudlust.

Projekti varajased kontseptsioonid kaalusid erinevaid disainilahendusi ja -valikuid. Nende hulka kuulusid USB C-kaabli valik toiteallikaks, magnetite kasutamine jahutusseadme hõlpsaks kinnitamiseks ja eemaldamiseks ning otsused radiaatori ja ventilaatori suuruse kohta. Kõik need valikud lähtusid projekti eesmärkidest, aga ka tehnilise teostatavuse, kulude ja otstarbekuse kaalutlustest. Käesoleva lõputöö käigus uuritakse neid varaseid kontseptsioone ja projekteerimise käigus tehtud otsuseid üksikasjalikumalt.

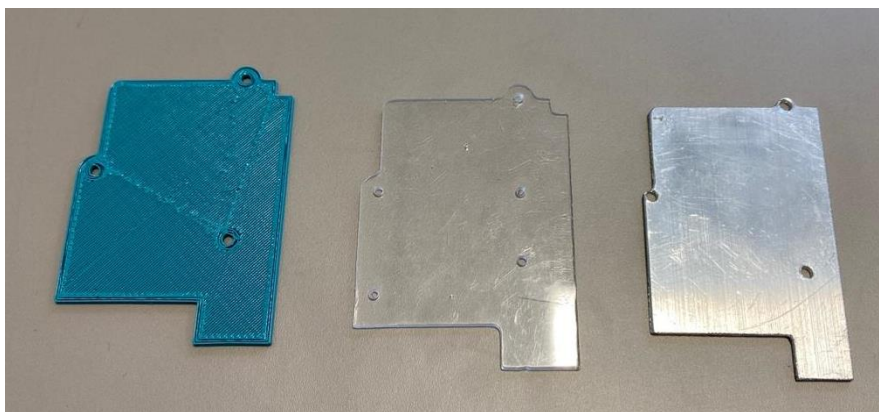
2. Komponentide tootearendus

2.1 Vaheplaat

Projekti algaasis projekteeriti oluline komponent, vaheplaat, mis on spetsiaalse jahutuslahenduse põhielement. Selle disaini aluseks oli *Steam Deck* mängukonsooli algne metallkate. Originaalkate valiti selle juba olemasolevate termopadjade tõttu, mis on seadme soojusjuhtimise jaoks hädavajalikud.

Disainiprotsess algas soojusvaheti kinnituskoha koordinaatide väljatoomisega konsooli pealt. Seejärel kanti need koordinaadid üle digitaalsele konstruktsioonile, mis loodi *AutoCAD* tarkvara abil. See hoolikas protsess tagas, et vahekaaslane projekteeriti erakordselt täpselt, tagades tõrgeteta ühilduvuse konsooli olemasolevate komponentidega.

Aukude asukoha täpsuse kinnitamiseks kasutati kaheastmelist prototüüpimise protsessi. Esialgu kasutati aukude asukoha esialgseks kontrollimiseks distanttsplaadi plastmudelit. Sellele järgnes pleksiklaasist prototüüp, mis andis kavandatud konstruktsiooni mõõtmete poolest täpse mudeli.

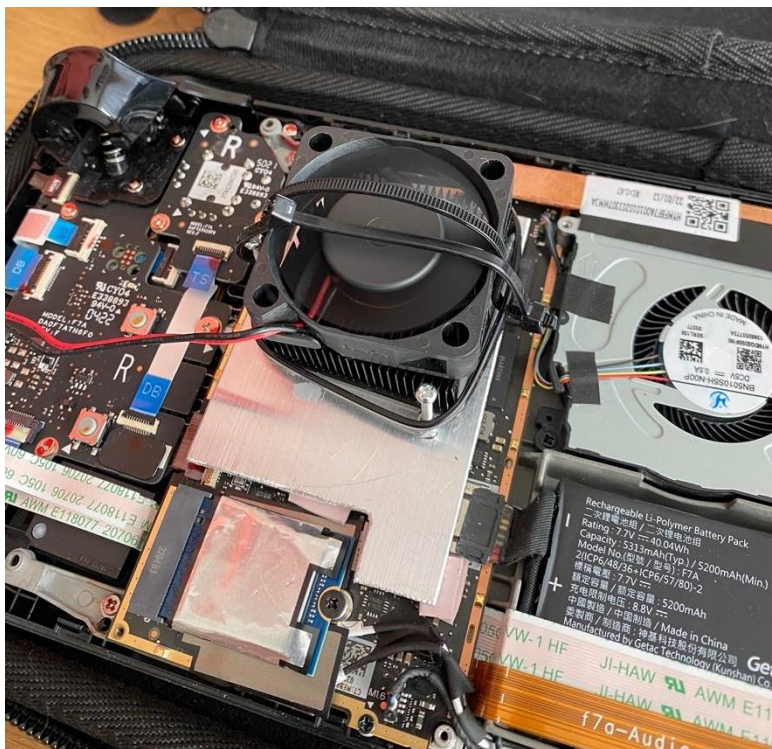


Pilt 2.1 – Vaheplaadi esimesed protüübid

See valideerimisprotsess viidi läbi, võttes arvesse CNC-tööpingi varajase faasi olemust, mis ei pruugi saavutada lõplikku täpsust. Pärast aukude asukohtade kontrollimist loodi alumiiniumist vaheplaadi versioon.

Alumiiniumplaati kasutati esialgsete radiaatoritestide tegemiseks. Hinnati mitmesuguseid radiaatoreid, millest igaühel oli 40x40 mm suurune põhi. Selleks tuli demonteerida konsool, kinnitada see alumiiniumplaadi külge ja katsetada erinevate

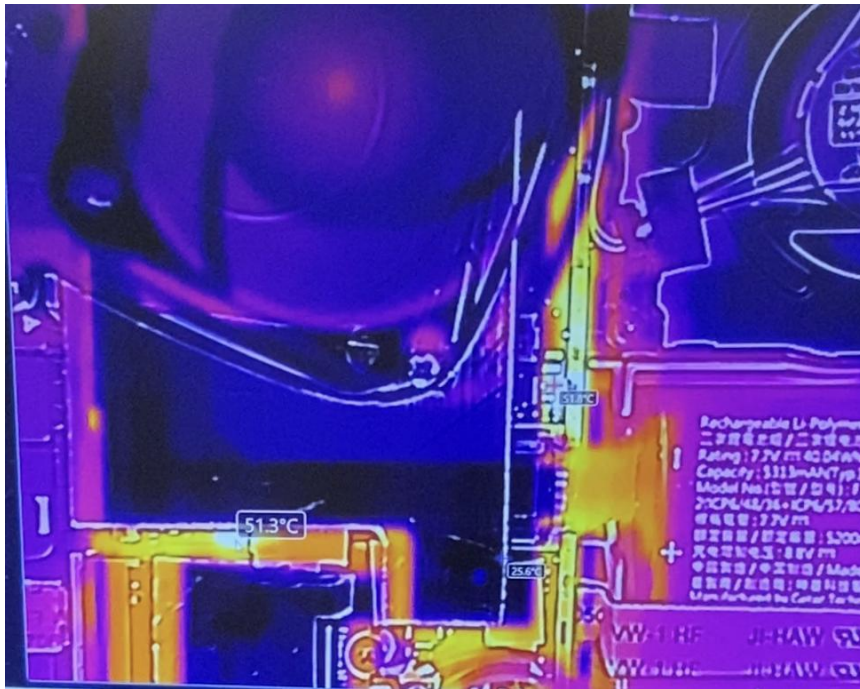
radiaatoritega. Reaalsete tingimuste jälgendamiseks käivitati konsoolil mäng, et kontrollida jahutuskontseptsiooni elujõulisust.



Pilt 2.2 – Esimene testimine

Testimine kinnitas idee paikapidavust; pärast ventilaatori kinnitamist hakkas konsooli temperatuur langema. Testiti kõiki radiaatoreid, millest selgus, et kõige väiksema soojuse eemaldamise koefitsiendiga radiaator oli kõige tõhusam soojuse hajutamisel. Kaaluti ka vaskplaadi võimalikke eeliseid, arvestades selle paremat soojusjuhtivust (60% parem kui alumiinium).

Vajaliku vaskplaadi hankimisel loodi uued prototüübid. Esimesed katsetused vaseplaadiga kinnitasid hüpoteesi: parem soojusjuhtivus andis parema jahutustõhususe. Tulemused kinnitati täiendavalt soojuskaamera abil, mis oli oluline, et tagada kogu konsooli ühtlane jahutus vaheplaadi kaudu. Soojuskaamera kinnitas, et süsteem jahutab edukalt kõiki peamisi komponente ja hoiab ära emaplaadi kuumad kohad. Seejärel telliti laseriga lõigatud vasest vaheplaat.



Pilt 2.3 – Soojuskaamera valideerimine



Pilt 2.4 – Vaheplaadi vask prototüübid, viimane versioon laserlõikusega


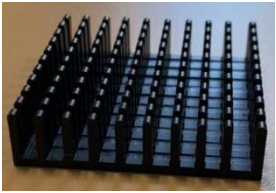
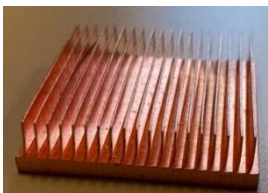
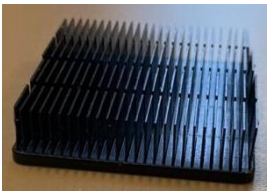
Esialgne metallkate oli 5 mm paksune, mis jättis lisakomponentide jaoks vaid 3 mm ruumi, arvestades APU ja soojusvaheti kombineeritud 2 mm paksust. See kõrguspiirang dikteeris komponentide disainikriteeriumid. Vaskplaat valmistati 1 mm paksusega, mis on kõige õhem võimalik variant. Mis tahes edasine vähendamine ohustaks plaadi struktuurilist terviklikkust, mistõttu see ei oleks võimaline kandma kavandatud konstruktsiooni.

2.2 Radiaator

2.2.1 Radiaatori valik

Radiaator on *CoolerDeck*-süsteemi oluline komponent, mis juhib konsooli tekitatud soojust, et vältida ülekuumenemist. Valikuprotsess algas radiaatori aluse ideaalse suuruse määratlemisega 40x40 mm, mis on kooskõlas konsooli olemasoleva radiaatori aluse mõõtmetega. Selle parameetri alusel valiti mitmesugused radiaatorid, mis vastasid nendele spetsifikatsioonidele.

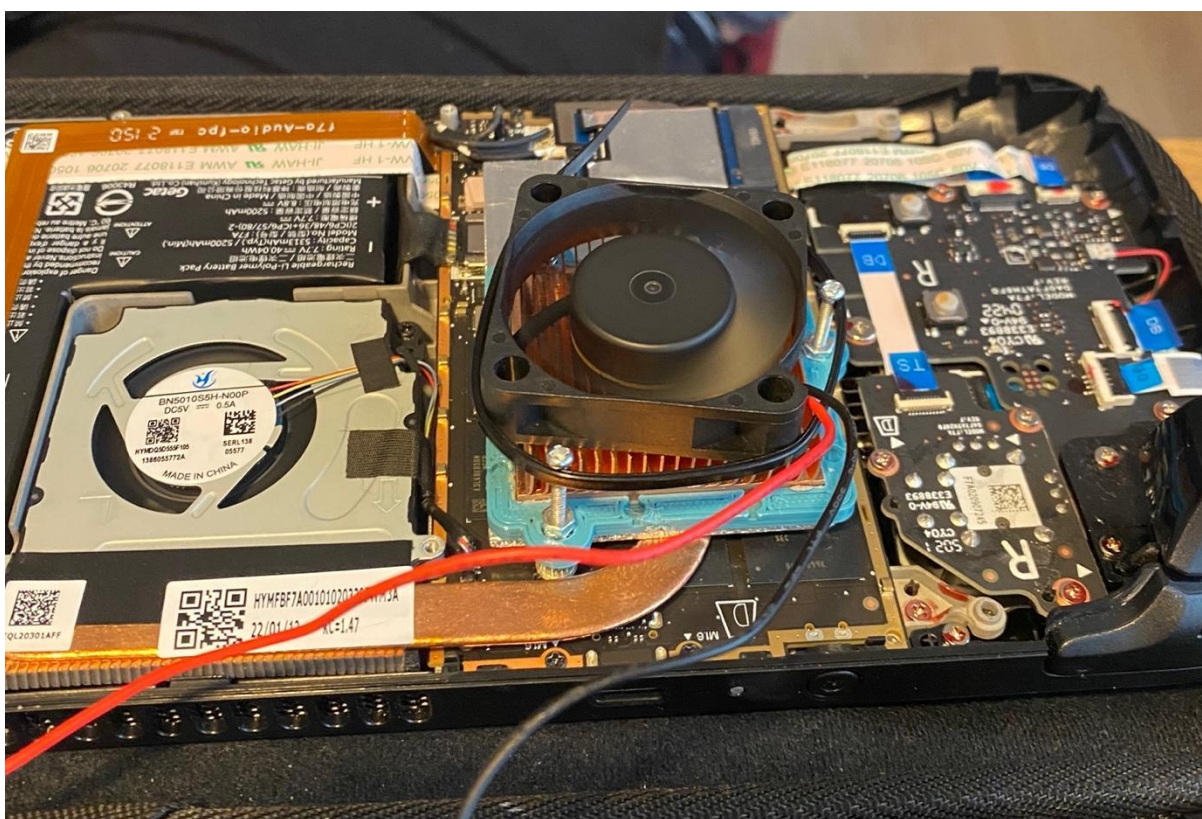
Tabel 1 – Radiaatorite võrdlus

Variant	Suurus(mm)	Soojustakistus ventilaatoriga (°C/Vatt)	Pilt
1	40x40x5[2]	5.14	
2	40x40x10[3]	4.3	
3	40x40x11	N/A (Pole tootjapoolset infot - Päritolumaa Hiina)	
4	40x40x10[4]	2.5	

Tabelit hinnates võib järeldada, et variant 4 on soojuskindluse poolest kõige tõhusam. Arvestades, et algne jahutussüsteem jääb siiski töökorda, ei ole selge, kas optimaalse jahutuse saavutamiseks on vaja kõige tõhusamat radiaatorit. Seega katsetati iga radiaatorivariandiga, et teha kindlaks süsteemi jaoks kõige sobivam.

Nende katsete tulemusi ei dokumenteeritud muutuvate tegurite võimaliku mõju tõttu. Esialgse hüpoteesi kohaselt võib variant 1 olla piisav. Selle radiaatori eeliseks oli selle madal kõrgus, mis säilitas konsooli kaasaskantavuse, ilma et oleks vaja jahutussüsteemi eemaldada.

Katsed näitasid, et variant 4 pakkus kõige tõhusamat jahutustõhusust, mis vastab ootustele, arvestades selle madalaimat soojustakistust. Lisaks oli selle variandi jahutuspinna kõige suurem, mis aitab kaasa selle paremale jõudlusele. Variandi 1 katsetamine näitas, et selle soojustakistus ei olnud jahutusnõuete täitmiseks piisav, kuna see parandab jahutuse tõhusust vaid vähesel määral. See kinnitas otsust jätkata CoolerDeck süsteemi puhul variandi 4 kasutamisega.



Pilt 2.5 – Variant 3 testimine

2.2.2 Kogu süsteemi soojustakistuse ja soojusülekanne arvutamine

Käesoleva peatüki eesmärk on kvantifitseerida projektis rakendatud mitmekihilise jahutussüsteemi soojusülekandevõimsust. Süsteem koosneb mitmest kihist: roostevabast terasest soojusjaotur, kaks soojuspastakihti Artic MX-4, 1 mm paksune vaskplaat, radiaator dokumenteeritud soojustakistusega ja jahutusventilaator.

Süsteemi ülevaade ja eeldused

Jahutussüsteem hõlmab mitmeid kihte: alustades altpoolt, soojuse jaotur, termopasta kiht, vaseplaat, teine termopasta kiht, radiaator ja lõpuks ventilaator. Peamised mõõtmised ja materjaliomadused on järgmised:

- Roostevabast terasest valmistatud soojusjaotur, mille soojusjuhtivus on 16 W/mK ja mille mõõtmised on 10 mm x 27,5 mm ning paksus 1 mm.
- Termopasta Artic MX-4 soojusjuhtivus on 4 W/mK. Pärast pealekandmist ja kokku surumist on termopasta kihi paksus hinnanguliselt 0,01 mm[5].
- 1 mm paksuse vaskplaadi soojusjuhtivus on 401 W/mK.
- Radiaatori dokumenteeritud soojustakistus on 2,5 °C/W. [4]
- Soojusallika temperatuur (T_{kuum}) on 80 °C ja ümbritseva keskkonna temperatuur ($T_{\text{külm}}$) on 21 °C.

Tasub täheldada, et käesolevas peatükis esitatud arvutused eeldavad ideaalset soojuskontakti kihtide vahel ja konstantseid soojusomadusi. Reaalses stsenaariumis võivad kõrvalekaldeid põhjustada sellised muutujad nagu termopasta ebajärjekindel pealekandmine, õhuvahed, materjali ebapuhtus ja materjali omaduste muutumine sõltuvalt temperatuurist.

Soojustakistuse arvutamine

Iga kihi soojustakistus arvutatakse valemiga $R = t / (k * A)$, kus "t" tähistab materjali paksust, "k" tähistab soojusjuhtivust ja "A" tähistab pindala. Süsteemi summaarne soojustakistus (R_{kokku}) on iga üksiku komponendi soojustakistuse summa.

Praeguse süsteemi puhul on arvutatud soojustakistused järgmised:

- soojusjaotur (R_{HS}): 0,22727 °C/W
- Esimene soojuspastakiht (R_{TP1}): 0,15625 °C/W
- Vaskplaat (R_{Cu}): 0,00156 °C/W
- Teine soojuspastakiht (R_{TP2}): 0,15625 °C/W
- Radiaator (R_{R}): 2,5 °C/W

Nende väärtuste liitmisel saadakse summaarne soojustakistus $R_{\text{kokku}} = 3,04133$ °C/W.

Soojuse ülekandevõime arvutamine

Pärast summaarse soojustakistuse määramist saab süsteemi soojusülekandevõime (Q) arvutada valemiga $Q = (T_{\text{kuum}} - T_{\text{külm}}) / R_{\text{kokku}}$. Selle tulemusel saadakse süsteemi soojusülekandevõime $Q = 19,36$ W.

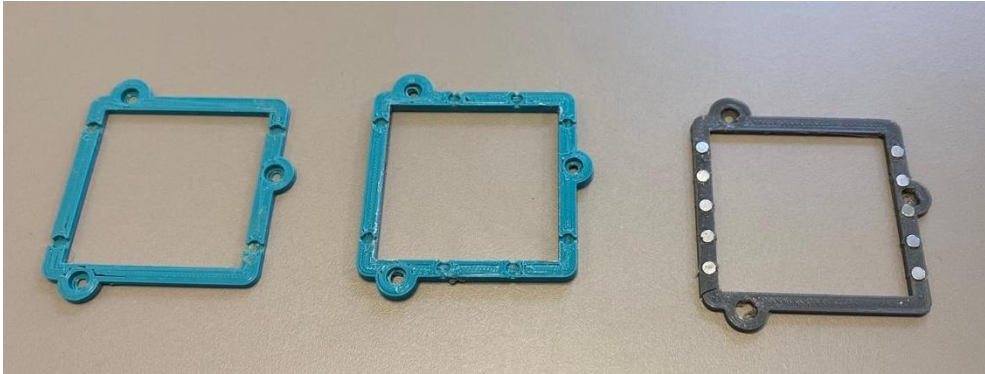
Järeldused

Kogu süsteemi arvutatud soojusülekandevõime on ligikaudu 19,36 W. See kujutab endast soojuse kogust, mida saab soojusallikast ümbritsevasse keskkonda üle kanda kindlaksmääratud tingimustel. On tähelepanuväärne, et teoreetiline soojusülekandevõime vastab täpselt katsete käigus täheldatud tegelikule jõudlusele. Konsool, mis töötab TDP-ga 22-24 W, näitas temperatuurilangust kuni 20 °C, kui kasutati algset jahutuslahendust koos *CoolerDeck*-i modifikatsiooniga. Lisaks täheldati, et süsteem suudab ilma tõrgeteta toime tulla kuni 32 W piikidega. Selline kokkulangevus arvutatud ja testitud tulemuste vahel lisab mitmekihilise jahutussüsteemi konstruktsioonile usaldusväarsust ja tagab, et see suudab tõhusalt toimida reaalsetes kasutustingimustes.

2.3 *CoolerDeck* süsteemi kinnituse väljatöötamine

2.3.1 Plastik kinnitus

Arendusprotsessi teise etapi eesmärk oli integreerida radiaator, ventilaator ja vaheplaat omavahel kokku, moodustades seeläbi *CoolerDeck*-süsteemi tuuma. See ülesanne nõudis õrna tasakaalu tehnilise disaini ja funktsionaalsuse vahel, et tagada tõhus jahutussüsteem, mis oleks kasutajasõbralik ning mida oleks lihtne paigaldada ja eemaldada. Esialgne mudel projekteeriti ja 3D-trükiti, mis andis alguse iteratiivsele disainiprotsessile.



Pilt 2.6 – Esimesed kinnituse prototüübid

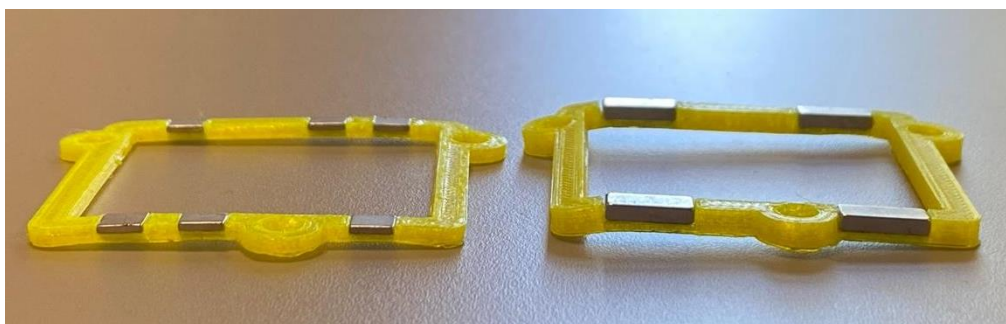
Eemaldatavuse lisamine oli üks *CoolerDeck*-süsteemi disaini peamisi eesmärke. See funktsioon pidi parandama kasutajakogemust, võimaldades jahutussüsteemi hõlpsasti paigaldada ja eemaldada, võimaldades konsooli kaasaskantavat kasutamist. Selle saavutamiseks pakuti välja ja rakendati magnetite kasutamise kontseptsioon. Magnetid pidid olema kinnitatud nii jahutussüsteemi kui ka konsooli külge, moodustades eemaldatava ühenduse. Konsooli poolele projekteeriti plastmassist kinnitus, millel oli ette nähtud magnetite kinnitamine. See kinnitus kinnitati seejärel jahutuselemendi külge, mis lõpetas magnetilise kinnitussüsteemi esialgse kontseptsiooni.

Esimene prototüüp näitas julgustavaid tulemusi, mis kinnitasid magnetipõhise eemaldatava jahutussüsteemi teostatavust. Siiski ilmnisid ka teatavad piirangud, mis vajasisid lahendamist. Selles esialgses konstruktsioonis kasutatud magnetid olid väikesed, ümmargused ja nende tõmbetugevus oli vaid 130 grammi. Need magnetid kinnitusid halvasti plasti külge ja nende kokkupanek nõudis hoolikat tähelepanu, et tagada õige orienteeritus.

Nende piirangute kõrvaldamiseks valiti teise iteratsiooni jaoks teistsugune magnet. Uute magnetite tõmbetugevus oli suurem (350 grammi ühe magneti kohta) ja nende struktuur oli plastkinnitusega paremini seotud. Parandatud magnetkinnitussüsteemi abil viidi läbi ulatuslikumad katsed, mis hõlmasid pikaajalisi katseid ja mitmeid jahutussüsteemi kinnitamise ja lahti võtmise tsükleid.

Vaatamata nendele parandustele esinesid endiselt probleeme, eelkõige seoses konstruktsiooni plastikkomponendiga. Konsooli mõõtmed seadsid konstruktsioonile ranged piirangud, mis lubasid ainult 2 mm kõrgusvabadust mis tahes täiendavate konstruktsioonielementide jaoks. Vaskplaadi ja klambri kinnitamiseks mõeldud kruvide lisamine suurendas kokkupaneku ajal täiendavat survet konsoolile, mis põhjustas selle paindumise. See paindumine viitas konstruktsiooni ebatäiuslikule sobivusele, mis tulenes konsooli suurusel ja kokkupaneku ajal tekkinud pingest.

Vastuseks alustati uurimistööd tugevama lahenduse leidmiseks. Testiti tugevamaid magneteid, et tagada radiaatori kindel kinnitus ilma, et see kasutamisel klambrist lahti läheks. Selle protsessi käigus ilmnis aga uus probleem viimase prototüübiga - 3D-prinditud plastik ei olnud piisavalt jäik, et magneteid kindlalt paigal hoida. Pärast jahutussüsteemi korduvat kinnitamist ja eemaldamist, hakkas klamber deformeeruma. See deformatsioon takistas jahuti piisava kontakti säilitamist vaheplaadiga. Magnetite tõmbetugevus osutus liiga suureks plastik kinnituse jaoks, mis hakkas kõrgemal temperatuuril pehmenema.



Pilt 2.7 – Läbipaindunud kinnitused, Variant 2 ja 3 magnetid



Pilt 2.8 – Kinnituse prototüübid

Konstrueerimisprotsessi selles etapis tekkinud probleemid tõid esile vajaduse tugevama materjali järele kinnitusklambri jaoks ja magneti kinnitussüsteemi võimaliku läbivaatamise järele. Need tähelepanekud ja saadud õppetunnid andsid väärtuslikke teadmisi järgnevate iteratsioonide ja projekteerimisotsuste jaoks, mis viisid projekti ühe sammu lähemale *Steam Deck*-i konsooli toimivale jahutuslahendusele.

2.3.2 Magnetite valik *CoolerDeck* süsteemi jaoks

CoolerDeck süsteemi väljatöötamisel mängis olulist rolli magnetite võimaluste uurimine. Hinnati kolme erinevat magnetivarianti, millest igaühel on oma ainulaadsed omadused ja jõudlusparameetrid.

Esimene variant, mida nimetatakse variandiks 1, oli esimene magnetitüüp, mida kasutati konstruktsioonis. Selle variandi magnetid olid sisseehitatud nii *CoolerDeck*-

süsteemi kinnitusele kui ka ülemisse ossa. 1. variandi rakendamine tekitas siiski katsetusetapis probleeme. Nende magnetite õige orientatsiooni säilitamine kinnitamise ajal osutus keeruliseks ülesandeks. Lisaks sellele kaldusid magnetid kokku tõmbuma, mis muutis liimimisprotsessi veelgi keerulisemaks. Tõmbetugevuse poolest olid esimese variandi magnetid suhteliselt tagasihoidlikud, andes 10 magnetile kokku 1,3 kg tõmbetugevuse.

Pärast 1. variandiga saadud kogemusi hangiti kaks uut magnetitüüpi, 2. ja 3. variant, ja neid katsetati põhjalikult. Teine magneti variant näitas oma eelkäijaga võrreldes märkimisväärseid täiustusi. Kuuest magnetist koosneva konfiguratsiooniga saavutati 2,1 kg tõmbetugevust. Teisalt pakkus variant 3, mille paigutus koosnes neljast magnetist, muljetavaldavat 4,4 kg tõmbetugevust. See variant mitte ainult ei vastanud nõuetele, vaid ületas need. Sellise tõmbetugevuse juures saab CoolerDeck-ist kinni hoida, ilma et see eemalduks konsooli küljest.

Tabel 2 – Magnetite võrdlus

Magneti variant	Suurus(mm)	Kuju	Tüüp	Tõmbejõud(kg)	Pilt
Variand 1 [6]	3x1	Silinder	N35	0.13	
Variand 2 [7]	5x4x1	Blokk	N50	0.35	
Variand 3 [8]	10x4x2	Blokk	N50	1.1	

Õige magnetvariandi leidmine rõhutas iteratiivse projekteerimise ja katsetamise tähtsust optimaalse tulemuse saavutamisel. Kolmanda variandi paremad tulemused on rõhutanud selle sobivust CoolerDeck-i nõuetele, aidates oluliselt kaasa süsteemi üldisele tõhususele ja usaldusväärsusele.

2.3.3 Terasest kinnitus

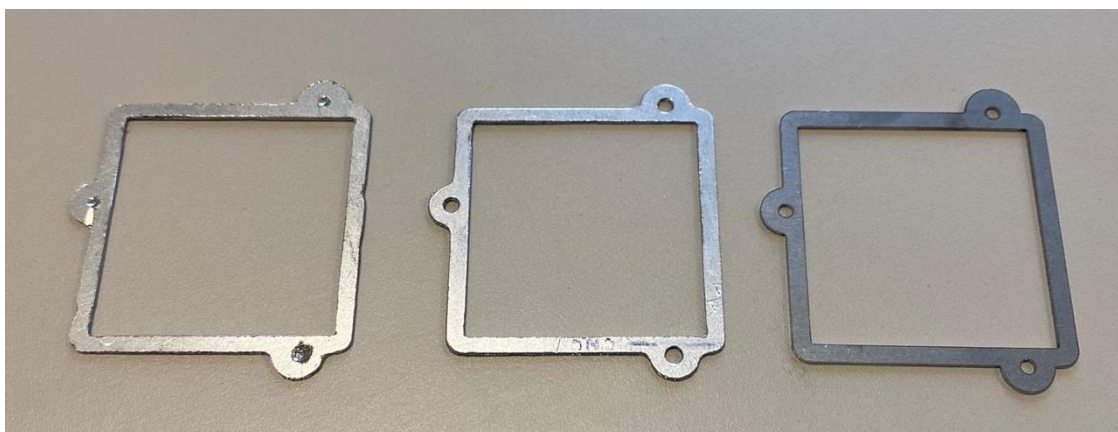
CoolerDeck süsteemi arendamisel võeti kasutusele üks keskne komponent - terasest kinnitussüsteem. Teras on tuntud oma tugevuse ja vastupidavuse poolest ning see valiti välja sellepärast, et see pakub *CoolerDeck*-i kinnituse jaoks vajalikku stabiilsust.

See valik ei tehtud mitte ainult materjali magnetiliste omaduste tõttu, mis välistas täiendavate magnetite vajaduse, vaid tulenes ka selle mehaanilisest paremusest. Teras oli piisavalt jäik, et taluda *CoolerDeck*-süsteemi korduvalt kinnitamisest ja lahti võtmisest tulenevaid korduvaid pingeid. See oli oluline kogu süsteemi konstruktsiooni pikaealisuse tagamisel, mis on äärmiselt oluline toote puhul, mis on mõeldud regulaarseks tarbijakasutamiseks.

Väljakutse seisnes sellise kinnituse kujundamises, mis oleks sujuvalt integreeritav konsooli piiratud ruumi, tagades samas, et see säilitaks oma kuju ja funktsionaalsuse aja jooksul. Klamber pidi vastu pidama deformatsioonile, näiteks väändumisele pideva kasutamise tõttu. Disainiprotsess oli iteratiivne, kusjuures iga prototüüpi testiti rangelt sobivuse, tugevuse ja vastupidavuse suhtes.

Pärast seda, kui oli saavutatud kõiki nõutud kriteeriume rahuldav disain, alustati tootmisprotsessi. Teraskinnitus lõpliku versiooni loomiseks kasutati laserlõikamis tehnoloogiat. See meetod hõlbustas täpsete ja kvaliteetsete lõikude tegemist, mis oli vajalik keerulise klambri konstruktsiooni täpsuse säilitamiseks.

Lõplik laseriga lõigatud teraskinnitus vastas kõigile nõuetele: see sobis ideaalselt konsooli sisse, magnetid näitasid piisavat tõmbetugevust, et hoida *CoolerDeck* kindlalt paigal, ja teras osutus paindumiskindlaks.



Pilt 2.9 – Teraskinnitus viimased versioonid ja laseriga lõigatud versioon

Tagantjärele osutus teraskinnitus *CoolerDeck*-i süsteemi lahutamatuks osaks. Selle edukas rakendamine suurendas oluliselt *Steam Deck*-i konsoolijahutuslahenduse usaldusväarsust, vastupidavust ja tõhusust. Selle komponendi väljatöötamise käigus saadud õppetunnid rõhutavad materjali valiku, iteratiivse testimise ja täpsema tootmise tähtsust sellise toote loomisel, mis mitte ainult ei vasta, vaid ületab kliendi ootusi.

2.3.4 Kruvi valik kinnituse paigaldamiseks

Sobivate kruvide valimine kinnituse paigaldamiseks oli ülesanne, mis nõudis erilist tähelepanu. Kinnituse konstruktsiooni terviklikkuse tagamiseks oli vaja säilitada originaalkruvide suurused ja mõõtmed. Võttes arvesse *CoolerDeck*-i modifikatsiooni 2 mm suurust ruumivajadust konsooli sees, lisati originaalkruvile samaväärne pikkus. Selle tulemusel valiti M2x6 kooniline kruvi.

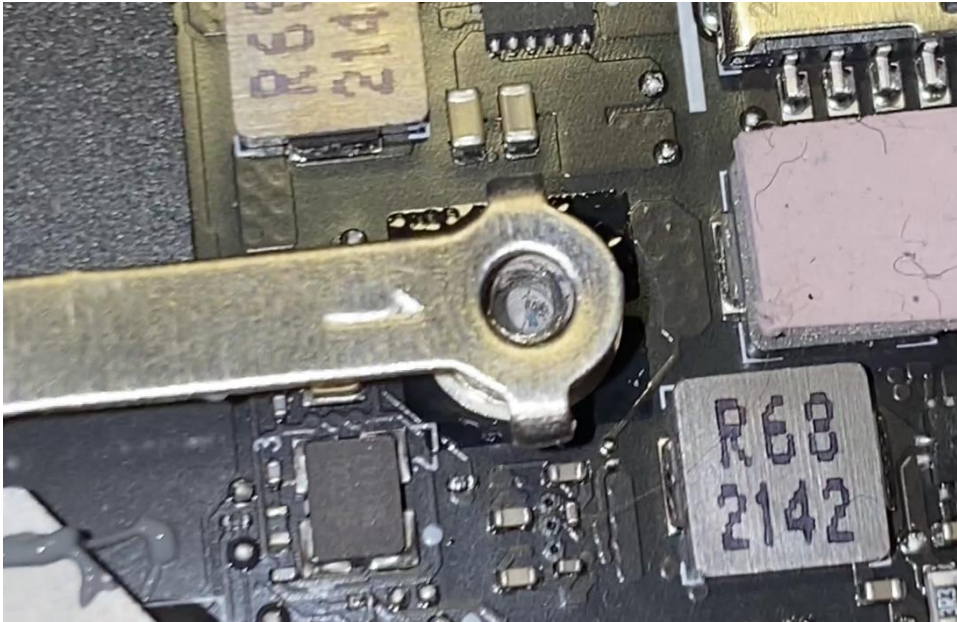
Koonilise kruvi eelistamine tulenes peamiselt selle võimest säilitada katte kuju, ilma et see põhjustaks deformatsiooni *Steam Deck*-i tagumisele korpusele. Tähelepanu, et tavalise peaga kruvi kasutamine põhjustas konsooli korpuse ülespoole tõusu, mis viis konsooli sulgemisel märgatava lõhe tekkimiseni. Selleks, et koonilist kruvi oleks võimalik paigaldada, suurendati veidi kinnituse kruviauke, mis võimaldas kruvil piisavalt sügavale istuda.



Pilt 2.10 – Probleem tavalise kruvipeaga

Otsust kruvitüübi kohta ei tehtud kergekäeliselt, sest sobimatu pikkusega kruvi valimine võib potentsiaalselt kahjustada emaplaadi vooluahelaid. Kruvi pikkus valiti nii kaugust kui ka kinnitust silmas pidades. Arendusprotsessi raames viidi läbi halvima stsenaariumi test, mis hõlmas pikema kruvi pingutamist ilma kinnituseeta. Selle tulemuseks oli 1 mm paksuse kinnitusplaadi eemaldamine, mis oli algsest kruvi pikkuse kaalumisel tähelepanuta jäetud.

Õnneks osutusid katsed edukaks. See näitas, et valitud kruvi oli sobiva pikkusega, mis tagab, et isegi halvima stsenaariumi korral ei riskiks kasutaja oma konsoli kahjustamisega. Allpool olev pilt illustreerib väheseid kahjustusi, mida kruvipesa alusele selle katse käigus tekitati. Oluline on see, et see kahjustus ei olnud piisavalt märkimisväärne, et häirida emaplaadi tööd.



Pilt 2.11 – Kruvi pikkuse testimine

Kokkuvõtteks võib öelda, et hoolikas lähenemine kruvide valikule ei taganud mitte ainult *CoolerDeck*-i kindlat kinnitamist konsoli külge, vaid kaitses ka konsoli sisemisi komponente võimalike kahjustuste eest. Selline tähelepanu detailidele rõhutab pühendumust luua toode, mis on nii tõhus kui ka kasutajasõbralik, säilitades samal ajal *Steam Deck*-i konsoli terviklikkuse.

2.4 3D Printimine

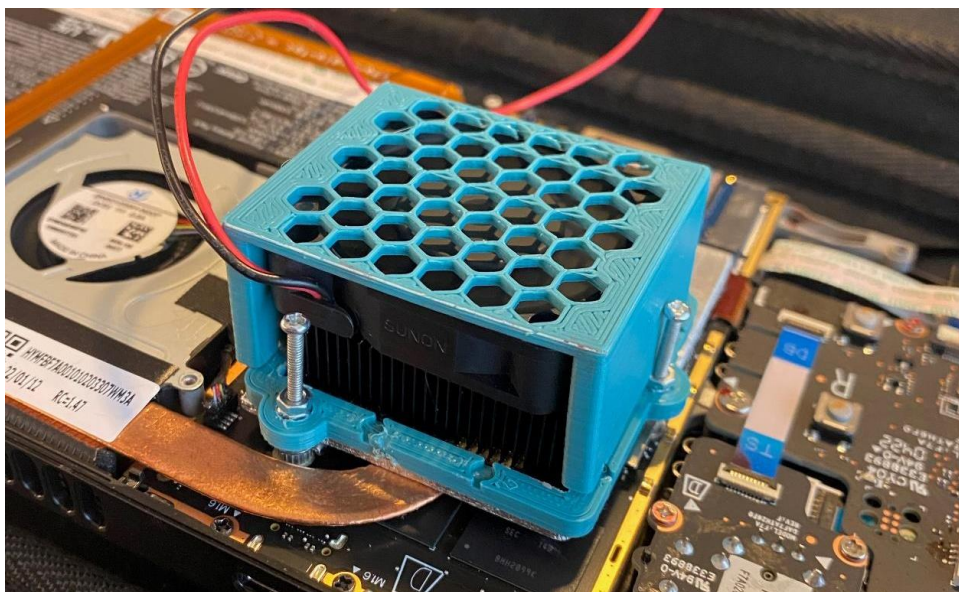
2.4.1 *CoolerDeck*

Algsed iteratsioonid

CoolerDeck oli projekteeritud kui peamine jahutuskomponent, mis koosnes radiaatorist, ventilaatorist ja vastavast toiteallikast. Eesmärk oli ühendada need elemendid ühtseks tervikuks, kasutades 3D-printitud osi struktuurilise raamistikuna, et kõik oleks paigas. Sellegipoolest osutus see protsess keeruliseks, eelkõige seetõttu, et puudusid sobivad 3D-mudelid, mida oleks saanud kasutada võrdlusmudelitena. Seetõttu oli vaja palju katsetada ja täiustada, mille tulemusel loodi ja hinnati mitmeid prototüüpe. Iga kordus

hõlmas mitmeid parameetrite muudatusi, mis arendasid disaini järk-järgult edasi lõpliku toote suunas.

Esialgne mudel oli küll lihtne, kuid funktsionaalne, kuna see oli konstrueeritud vastavalt välismõõtmetele. Sellel mudelil puudusid detailid ja täpsus, kuid see oli oluline lähtepunkt. Konstruktsioon sisaldas kargstruktuuriga ventilaatori katet, kusjuures ventilaator ja radiaator kavatsesi liimida otse plastosade külge.



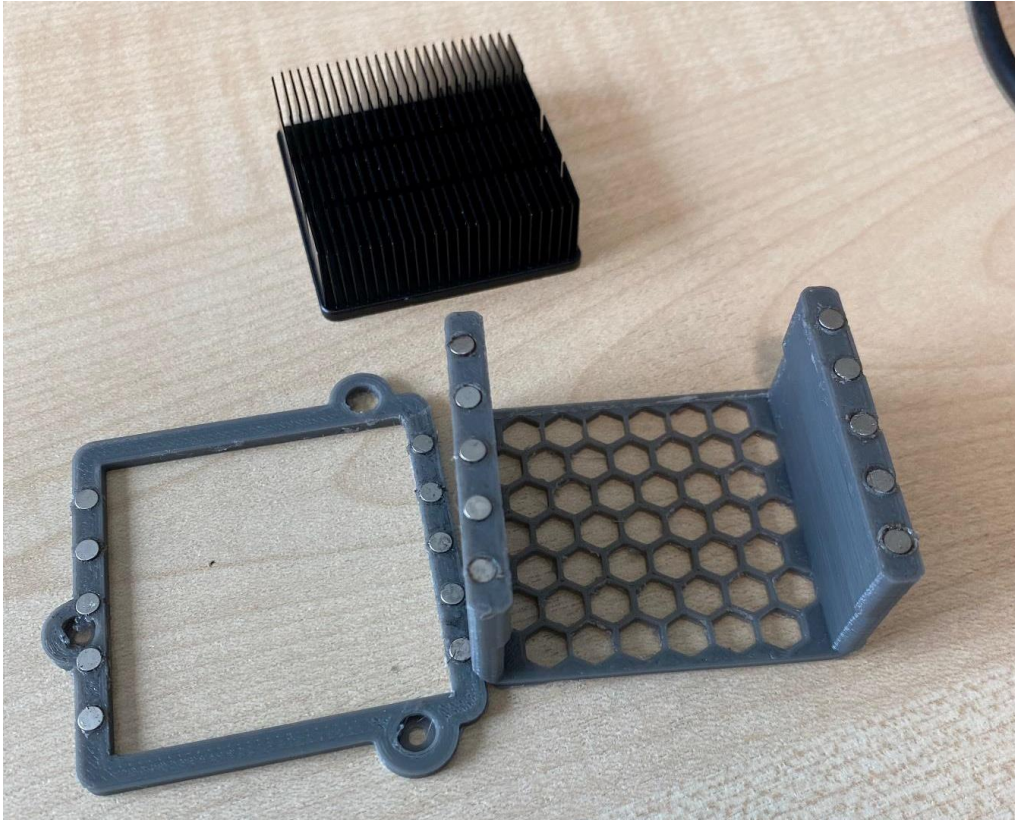
Pilt 2.12 – Esimene iteratsioon

Hoolimata sellest, et see esialgne konstruktsioon oli algeline, andis see olulise ülevaate võimalikest täiustamisvaldkondadest. Kruvid olid valesti dimensioneeritud, mis takistas *CoolerDeck*-i kindlat kinnitamist vaheplaadi külge. Lisaks olid radiaatori jahutusribid väiksemad kui ventilaator, mis tekitas suuruse ebäühtluse. Samuti olid disaini esteetilised aspektid lihtsad ja puudusid disainielemendid, mis võiksid selle visuaalset atraktiivsust suurendada.



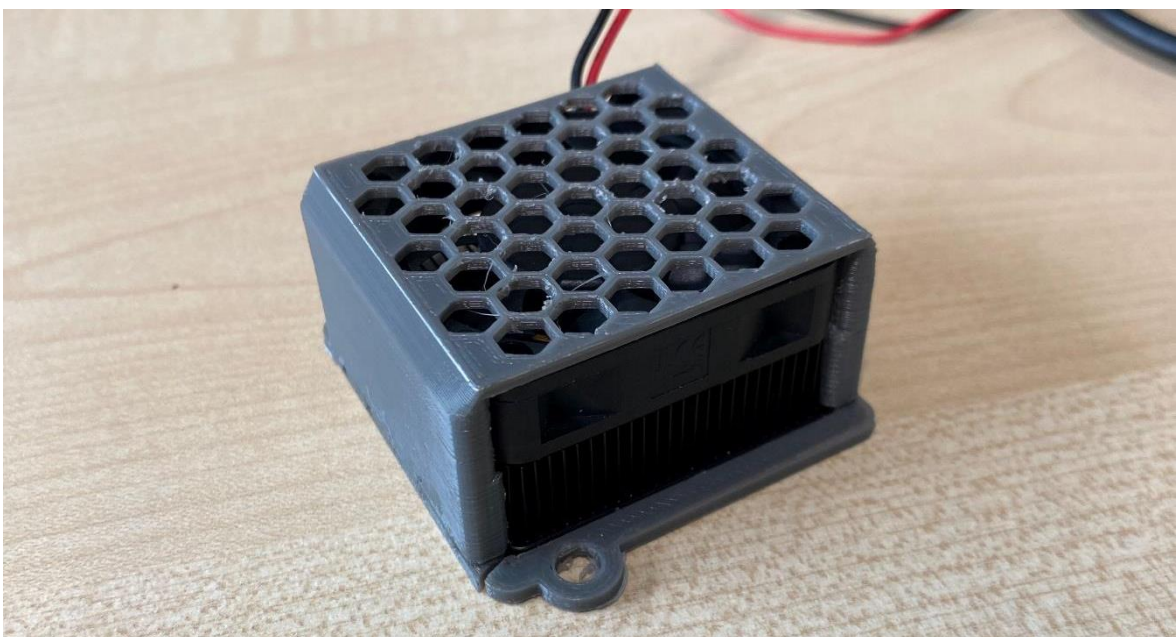
Pilt 2.13 – Teine iteratsioon

Teise iteratsiooniga täiustati *CoolerDeck*-i disaini oluliselt, ühtlustades seda rohkem *Steam Deck*-i konsooli esteetikaga. Konsoolil on valdavalt kaldus servad ja välditakse ümardatud nurki, mis on elemendid, mida selles kujunduses korrati. Samuti võeti kasutusele radiaatorikompensatsioon, et parandada eelmise iteratsiooni puhul täheldatud suuruse sobimatust. See versioon sisaldas nelja 3x1 mm silindrilist magnetit (variant 1), mis kulmineerus 520 g tõmbetugevusega.



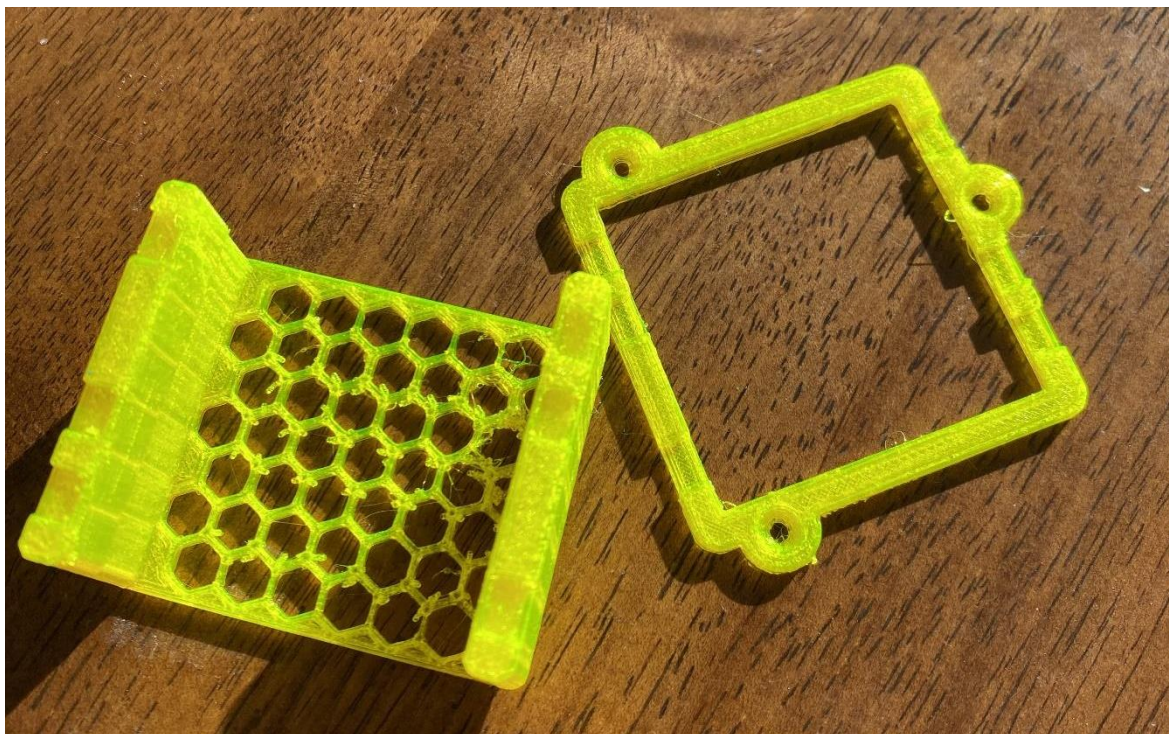
Pilt 2.14 – Kolmas iteratsioon

Kolmanda iteratsiooni puhul lisati tõmbetugevuse suurendamiseks täiendavad magnetid. Selles versioonis kasutati kümnet magnetit, mille tulemuseks on 1,3 kg tõmbetugevus. Kuigi see suurendas *CoolerDeck*-i tugevust konsoolile kinnitamisel, ilmnis ka uus probleem - plastklamber murdus, kuna see ei suutnud suurenenud tõmbetugevusele vastu pidada.



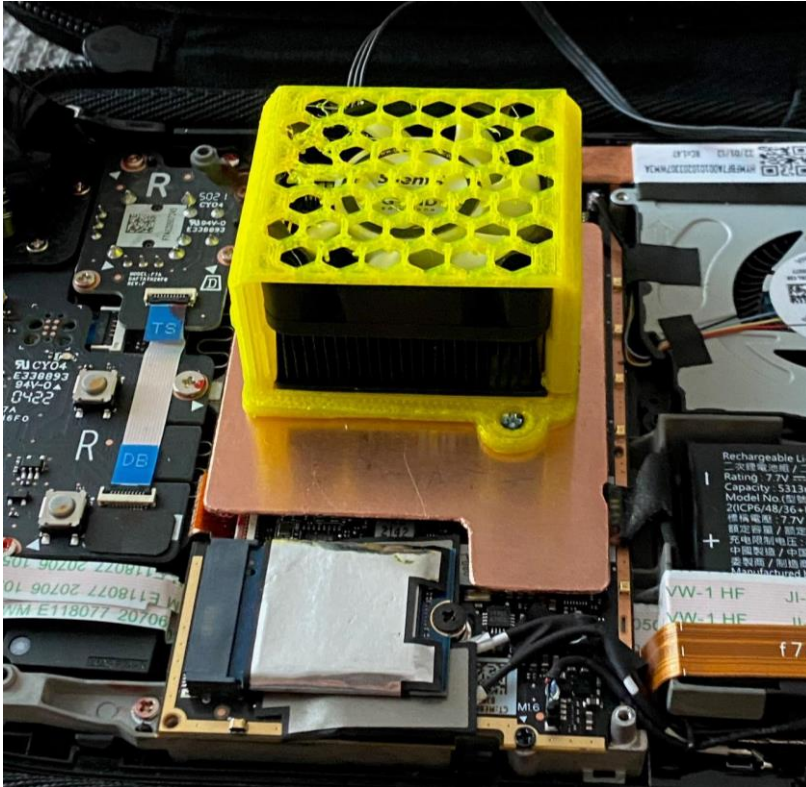
Pilt 2.15 – Kolmas iteratsioon katkise kinnitusega

Neljanda iteratsiooni puhul hangiti uued 5x4x1 mm ruudukujulised magnetid. Tänu oma kujule olid need magnetid oluliselt kergemini liimitavad, mis lihtsustas kokkupanekut. Magnetid paigutati strateegiliselt, et hõlbustada *CoolerDeck*-i kahesuunalist paigaldamist.



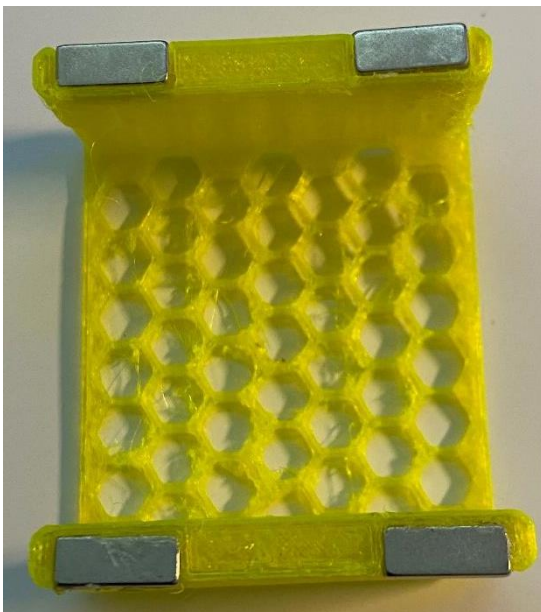
Pilt 2.16 – Neljas iteratsioon

Selles etapis hangiti sobiva suurusega kruvid, mis võimaldas katsetada süsteemi üldist ühilduvust. Konstruktsioon püsis tõhusalt koos ja tõmbetugevus osutus rahuldavaks. Magnetite valiku osas tekkisid siiski eriarvamused. Selle probleemi lahendamiseks kehtestati uus kriteerium: *CoolerDeck*-i magnetid pidid olema piisava tõmbetugevusega, et tagada seadme kinnitumine konsooli külge ka siis, kui seda hoitakse ainult *CoolerDeck*-i küljest.



Pilt 2.17 – Neljanda iteratsiooni testimine

Viiendas ja viimases iteratsioonis läks meeskond üle suurematele 10x4x2 mm magnetitele, millest igaühe tõmbetugevus oli 1,1 kg. Nelja sellise magneti kasutamine andis kumulatiivse tõmbetugevuse 4,4 kg. See vastas nõudele, et kogu konsooli oleks võimalik hoida *CoolerDeck*-i kaudu, ilma et see eralduks. See tõi siiski kaasa uue probleemi: plastikust konsool hakkas suurenenud pinge all deformeeruma. Seda probleemi lahendati konsooli kinnituse konstruktsioonis.



Ventilaatori muster

Arendusetapis kerkis esile ootamatu probleem: ventilaatori kuuldav vilisev heli. Arvestades, et see müra võib mõjutada üldist kasutajakogemust, alustati selle allika uurimist. Leiti, et ventilaatori algne kärgstruktuur oli peamine soovimatu heli tekitaja.

Selle probleemi lahendamiseks alustati alternatiivsete ventilaatorikattemustrite uurimist. Hindamise eesmärgil prinditi seitse unikaalset disaini, millest igaühel oli erinev muster ja geomeetiline konfiguratsioon.



Pilt 2.19 – Erinevate ventilaatorite mustrite testimine

Katsed kinnitasid viidatud allikas [9] esitatud järeldusi; kärgstruktuur põhjustas tõepoolest soovimatut müra. Seda püüti lahendada ventilaatori kiiruse vähendamisega, lootuses, et aeglasemal kiirusel on müra vähem märgatav. See taktika osutus siiski ebaefektiivseks, kuna meekärje muster tekitas häirivat heli kõigil kiirustasemetel.

Katsete käigus selgus, et vaba keerisekujuline muster tekitas kõige vähem müra. See disain ei sobinud aga *CoolerDeck*-i esteetilise visiooniga, kuna see oli vastuolus konsooli disainikeelega.

Otsustati kohandada avatud keerdkujundust, lisades sirged jooned ja integreerides *CoolerDeck*-i logo. See muudetud muster säilitas avatud keerdstruktuuri akustilised eelised ning harmoneerus samas esteetiliselt konsooliga.

Pärast muutmist viidi läbi täiendavad testid ja leiti, et sirged jooned ei tekitanud märgatavat müra. Lõplik disain jäi vaikseks erinevate ventilaatori kiiruste puhul, mis lahendas tõhusalt müraprobleemi, säilitades samas esteetilise atraktiivsuse.



Pilt 2.20 – Ventilaatori mustri viimane disain

Toiteallika disaini lahendus

Eialgne *CoolerDeck*-i disain sisaldas USB-C-kaablit, mis ühendati otse ventilaatorisse ja seejärel konsooliga. See lähenemisviis tõi aga kaasa märkimisväärseid probleeme.

Keskseks probleemiks oli kaabli pingevabastuse konstruktsioon. Ilma sobiva lahendusega võis kaabel pärast pikemat kasutamist füüsilise koormuse all puruneda. Selle probleemi leevendamiseks projekteeriti *CoolerDeck*-i sisse ava, mis võimaldab ventilaatori kaabli läbipääsu. Ventilaatori kaabli jaoks lisati süvend, mida täiendas liimiga kinnitatud termokahanev rüüs.



Pilt 2.21 – Kaabliga disaini lahendus

Vaatamata nendele meetmetele hakkasid ruumiliste piirangute tõttu tekkima ventilaatori ühendusprobleemid. Ühenduskohtades ei olnud piisavalt ruumi, et tõhusalt rakendada pingevabastust. Ventilaatori paigutus tingis ka vajaduse varjata ventilaatori kiiruse vähendamiseks vajalik takisti, mis tegi kaablikonstruktsiooni veelgi keerulisemaks.

Arvestades neid raskusi, otsustati otsida alternatiivset konstruktsioonilahendust: kaabli täielik kaotamine. Selle asemele integreeriti otse *CoolerDeck*-i sisse Type-C emasliitmik. Selline lähenemine välistas vajaduse eraldi kaabli järele ja andis konsoolile otsese ühenduspunkti.



Pilt 2.22 – TYPE-C emase pistikuga disain

See konstruktsiooni muudatus pakkus mitmeid eeliseid, mida käsitletakse üksikasjalikumalt toitesüsteemi osas. Pistikupesa integreerimine *CoolerDeck*-ile vähendas kaabli katkemise ja ühendamisprobleemide võimalust, lihtsustas disaini ja parandas üldist kasutajakogemust.

2.4.2 Ääretükk

Ääretüki disain oli mõeldud selleks, et varjata võimalikke vigu, mida kasutajad võivad löikamise käigus teha, aidates seeläbi kaasa *CoolerDeck*-i ühtsele ja puhtale välimusele. Nagu allpool esitatud pildil on näidatud, jäi *CoolerDeck*-i viimistlemata serv alla esteetiliste ootuste, mis ajendas projekteerima ja katsetama mitut erinevat ääretüki võimalust.



Pilt 2.23 – *Steam Deck* kattega ilma ääretükita

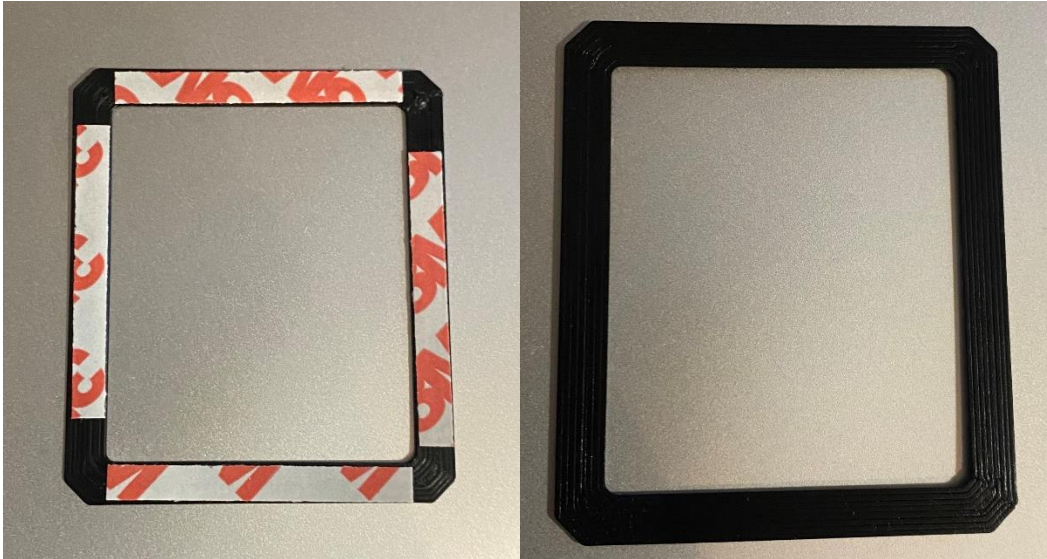
Kasutades mitmekülgset disainilahendust 3D-prinditi neli erinevat ääretüki varianti. Esimesed kaks varianti olid kitsamad ääretükid, millel mõlemal oli ainulaadne nurgakujundus - ühel oli kaldus ja teisel ümar nurk. Kolmas ja neljas variant kujutasid endast laiemaid ääretükke, mis olid samuti vastavalt kaldus ja ümardatud nurkadega.



Pilt 2.24 – Neli ääretüki variatsiooni

Põhjalikul hindamisel leiti, et laiemad äärte osad (kolmas ja neljas variant) toimisid kõige paremini, kuna teibi kinnitamine laiemale pinnale oli hõlpsam. Et säilitada *CoolerDeck*-i toote disaini järjepidevus, valiti lõplikku disainilahendusse kaldnurgad.

Liimiks valiti 3M teip, mis hangiti kohalikul tarnijalt. See kleeplint toimis erakordselt hästi, kleepus kindlalt servaosa külge ja seda oli raske eemaldada. Teatud juhtudel rebenes ääreosa isegi pinge all, mis näitab liimi tugevust.



Pilt 2.25 – Ääretüki viimane versioon koos teibiga



Pilt 2.26 – Ääretüki viimane versioon paigaldatud konsooli külge

2.4.3 CoolerDeck-i ja Steam Deck-i kate

Eemaldatava *CoolerDeck*-konstruktsiooni puhul jääb *Steam Deck*-i korpusesse tühimik, kui jahuti ei ole paigaldatud. See paljastab alumise vaskplaadi, mis muutub konsooli töötamise ajal kuumaks, tekitades kasutajale ebamugava või isegi ohtliku olukorra, kus temperatuur võib ulatuda 80-90 kraadini.

Selle probleemi lahendamiseks konstrueeriti kate, mis täidab konsooli tagaküljel oleva tühimiku, kui jahuti ei ole kasutusel. Kaane esialgne kujundus jäljendas toleaege

CoolerDeck-i disaini meekärje kujulist mustrit. Kuid pärast seda, kui tuvastati probleemid meekärje mustri ja asendati see disainiga, mis imiteerib *Steam Deck*-i tagaküljel olevaid ventilatsiooniavasid.



Pilt 2.27 – Katete prototüübid

Lisaks sellele kaaluti *CoolerDeck*-i enda kate kasutamist, et vältida saastumist transpordi ajal, eriti kui kasutatakse termopastat. Töötati välja mitu iteratsiooni, alustades ümmarguste magnetitega. Samuti tehti kate plastkihi vahele kinnitatavate mutritega katsetusi. Selle meetodi tulemuseks oli siiski ebapiisav tõmbetugevus, mis tähendas, et kate võib transpordi ajal ettearvamatult lahti tulla. Seejärel paigaldati magnetid plastiku sisse pingeistuga.



Pilt 2.28 – *CoolerDeck*-i katete prototüübid

Mõlema mudeli printimise käigus pakuti välja ühe universaalse kate kontseptsioon. See toimiks nii *SteamDeck*-i ava kui ka *CoolerDeck*-i kattena. Lisati disain, mis sarnaneb *SteamDeck*-ile, eesmärgiga saavutada paigaldamisel originaalvarustuse tootja esteetiline väljanägemine. Universaalne kate kavandati nii, et see sobiks täpselt, vältides nii *CoolerDeck*-i kui ka *SteamDeck*-i määrdumist.



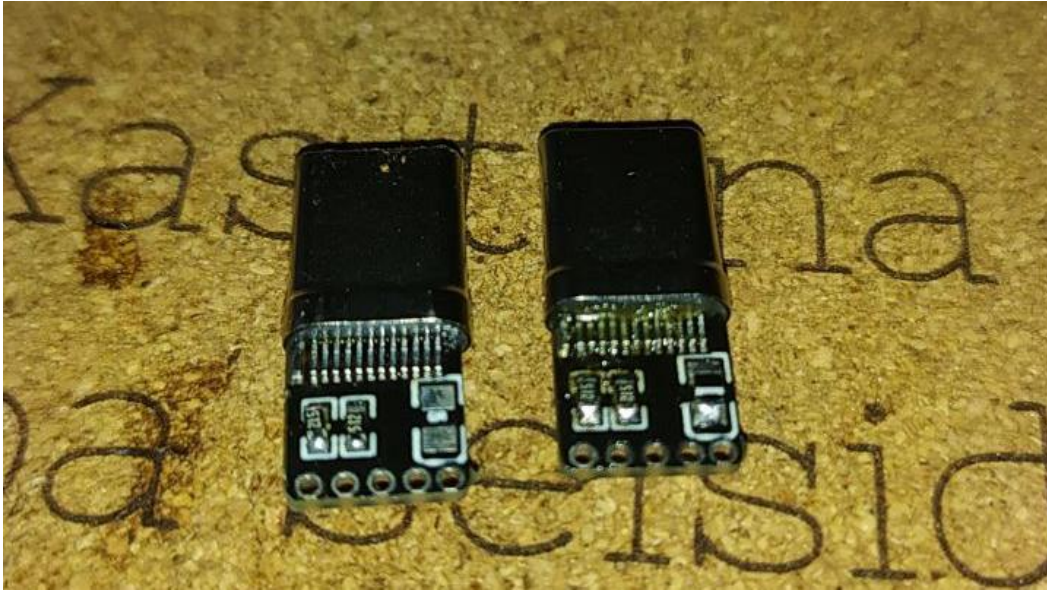
Pilt 2.29 – Universaalne katte disain

2.5 Elektrisüsteem

2.5.1 USB-C Toiteallika valik

CoolerDeck sisaldab 5v ventilaatorit, mistõttu on vaja leida sobiv toiteallikas. Eialgu kaaluti, kas konsolist sisemise toiteallika võtmine on võimalik. Kuid arvestades konsoli uudsust, ei olnud piisavalt üksikasjalikku dokumentatsiooni emaplaadi kohta, mis oleks võimaldanud kindlaks teha ventilaatori toiteallika. Uuriti selliseid alternatiive nagu toitejuhtimine magnetite või vedruga varustatud tihvtide kaudu, et suurendada kasutajasõbralikkust. Siiski ei leitud rahuldavat lahendust mugava toiteallika jaoks.

Sellest tulenevalt töötati välja TYPE-C-plaadi prototüüp, millel on meesliitmik, eesmärgiga joota ventilaatori juhtmed sellele plaadile.



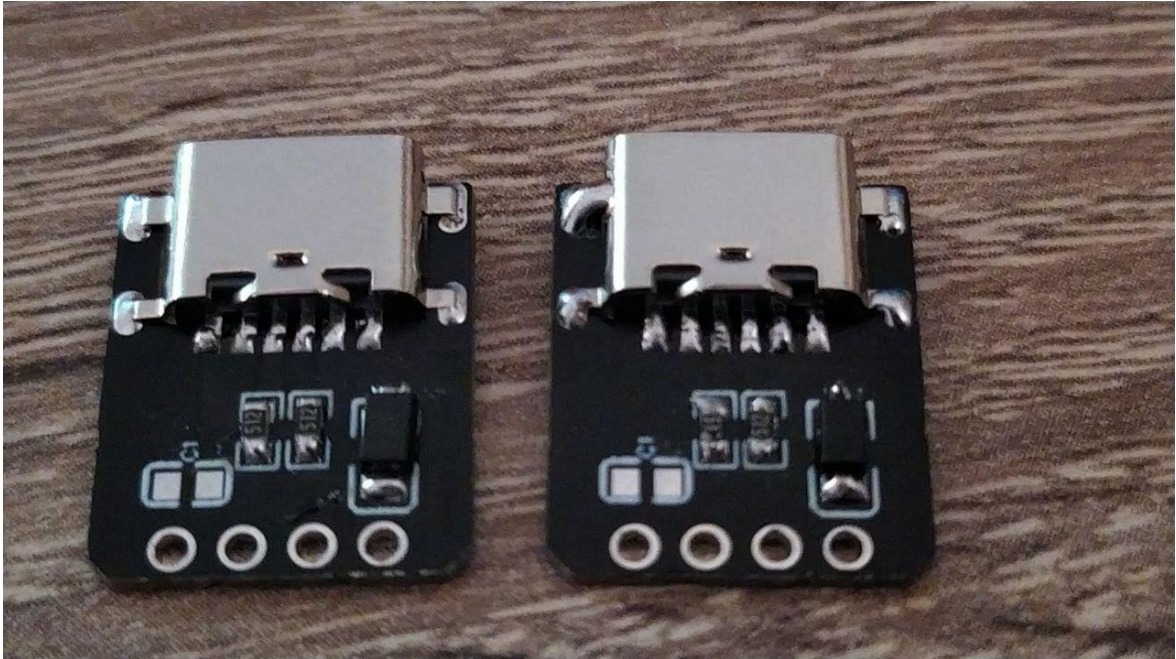
Pilt 2.30 – Esimene TYPE-C prototüüp

Seejärel hangiti valmis kaablikomplekt, mille üks ots kavatseti lõigata ära, et ühendada see ventilaatori juhtmetega. Tunnistati, et ventilaatori kiiruse reguleerimiseks on vaja diodi või takistust toiteallika ja ventilaatori vahel, arvestades, et selles rakenduses ei ole vaja suurt õhuvoolu. See viis erinevate ventilaatori kiiruste katsetamiseni ja süsteemi temperatuuri muutuste jälgimiseni. Süsteemi soojuse hajutusvõimsuse arvutused näitasid, et *CoolerDeck*-i lahendus suudab hajutada peaaegu 20 W energiat, samal ajal kui *Steam Deck* tarbib kokku vaid 15 W.

Kaabli integreerimisel süsteemi ja stressianalüüsi läbiviimisel selgus, et see lahendus ei ole jätkusuutlik. Aja jooksul hakkasid ventilaatoril tekkima tõrked, mis olid seotud ebapiisava ruumiga ventilaatori ühenduskohas, kuhu olid joodetud takistid. Ruumipuudus takistas tõhusat tootmist ja piisavat ruumi pingeleevenduse jaoks.

Selle tulemusena loodi uus TYPE-C-plaadi prototüüp, millel on emasliitmik. See pistik integreeriti *CoolerDeck*-i, võimaldades kasutajatel kasutada oma isiklike kaableid vastavalt vajadusele. See disainimuudatus kõrvaldas kaabli purunemise ohu ja suurendab eeldatavasti toote pikaealisust turul.

See TYPE-C-plaat sisaldab sobivaid takisteid ventilaatori kiiruse reguleerimiseks, tagades *CoolerDeck*-i vaikse töö. Plaadi disain järgib ka universaalset lähenemist, sisaldades andmeedastusühendusi. Konstruksioonis on ette nähtud ka kondensaatori ühenduskoht, mis võib olla vajalik teatud stsenaariumides. Need disainiomadused võimaldavad plaadi potentsiaalset kasutamist teistes projektides, kus on vaja 5v toiteallikat TYPE-C pistikust.



Pilt 2.31 – TYPE-C teine prototüüp

2.5.2 Ventilaatori valik

Otsus ventilaatori valiku kohta tundus esialgu lihtne, sest katsetamiseks kaaluti ainult kahe eri tootja ventilaatorit. Esimeseks ventilaatoriks valiti *Gelid Solutions Silent 4* [10], 40 mm ventilaator, mis töötab 5 V pingel ja andis 4,5 CFM õhuvoolu. Nõue töötada 5v pingel piiras oluliselt valikuvõimalusi, kuna enamik selle suurusega ventilaatoreid on mõeldud 12v pingeliseks tööks. Hoolimata selle ventilaatori atraktiivsusest, peeti selle hinda mõnevõrra üle jõu käivaks.

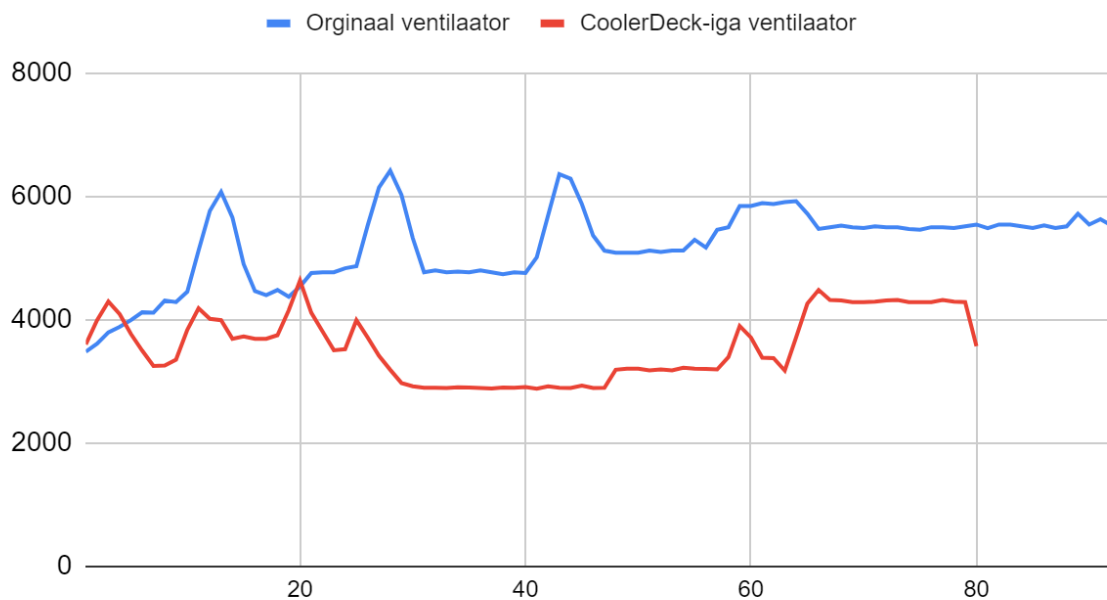
Seevastu viidi läbi katse odavamaga *MultiComp-i* [11] ventilaatoriga, mis töötas samuti 5v pingel, kuid mille õhuvool oli suurem, 7 CFM. Siiski oli see ventilaator märkimisväärselt mürrarikas, mistõttu otsustati vähendada ventilaatori pinget, et kõrvaldada töö ajal kuuldav müra.

Lõplik ventilaatori valik põhines selle kättesaadavusel nii Euroopas kui ka rahvusvaheliselt.

3. Lõpplahendus ja tulevik

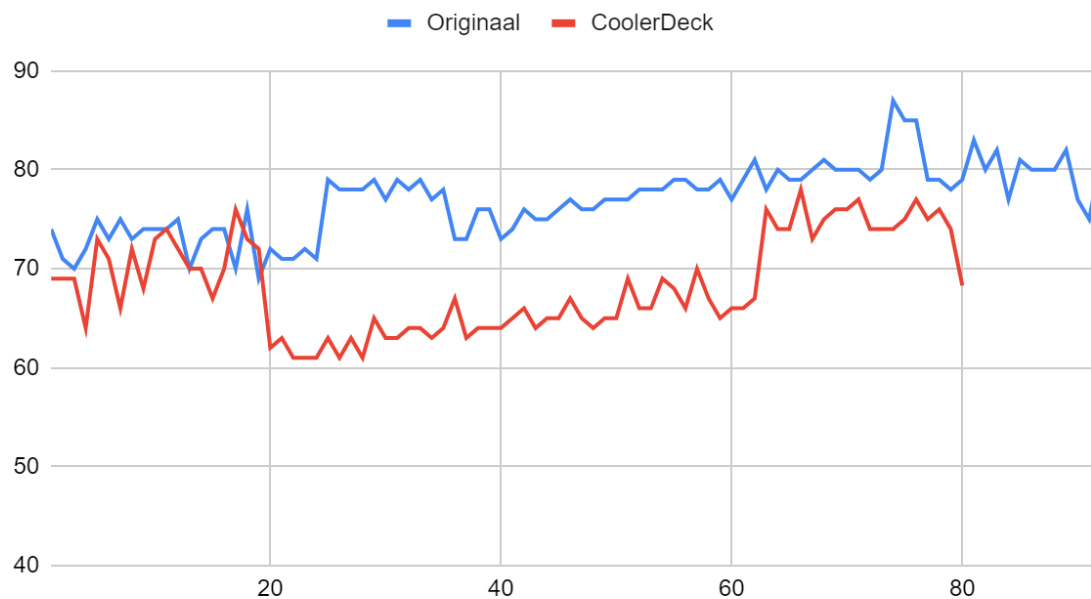
Selle projekti kulminatsiooniks on CoolerDeck, magnetiliselt ühilduv jahutuslahendus *Steam Deck*-ile. CoolerDeck-i tõhusust rõhutab selle võime vähendada ventilaatori pöörlemiskiirust umbes 2000 pööret minutis meie testimise ajal, mis on märgatavalt kuuldav erinevus. Sellest tulenevalt muutub *Steam Deck* standardseadistustes märkimisväärselt vaiksemaks. APU põhjalik temperatuurikontroll näitas, et *CoolerDeck* võib vähendada temperatuuri keskmiselt 10-20 °C võrra, sõltuvalt mängu eripärast ja testimistingimustest.

Ventilaatori kiirus (RPM)



Graafik 1 – Ventilaatori pöörete võrdlus

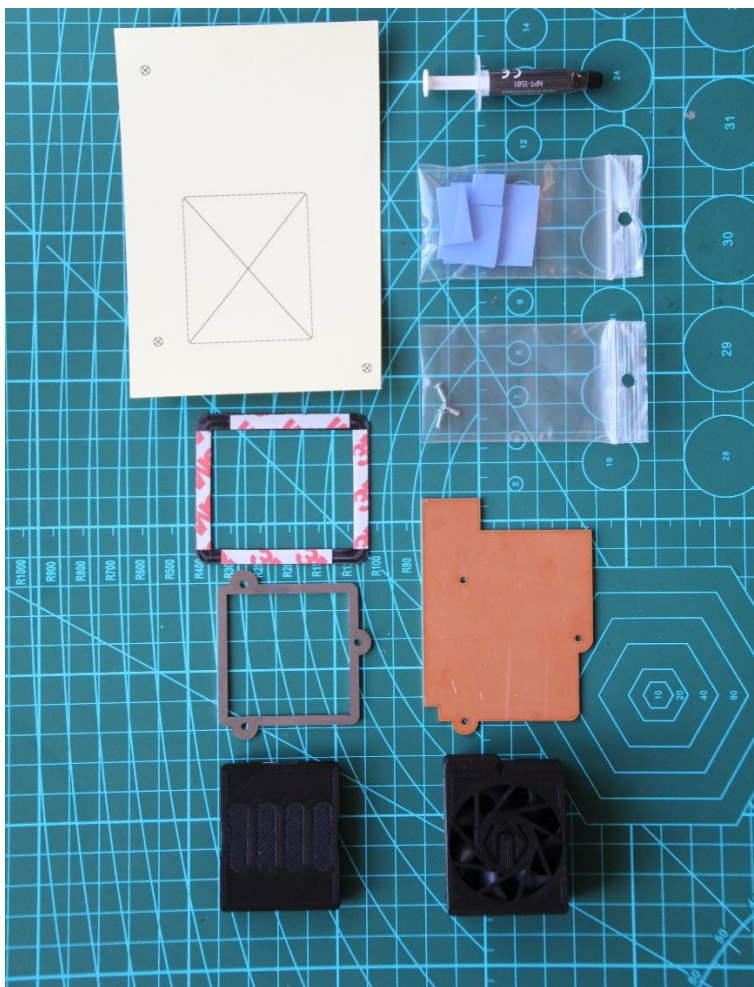
APU temperatuurid (°C)



Graafik 2 – APU temperatuuride võrdlus

CoolerDeck-i põnevaks omaduseks on selle potentsiaal konsooli ületaktimiseks. Testimise eesmärgil kõrvaldati konsooli piirangud, mis võimaldas nii graafika kui ka protsessori suuremat taktimahtu. Sellistes tingimustes jäi energiatarve keskmiselt 22-24 W vahele, kusjuures tipud ulatusid kuni 32 vatini. Oluline on see, et isegi ületaktimise korral püsis konsooli temperatuur tootja normide piires ja ei ilmnenud mingeid termilisi probleeme.

Käesoleva lõputöö tulemuseks on toode, mis on valmis turule viimiseks. *CoolerDeck*-i komplekt sisaldab kõiki vajalikke komponente konsooli muutmiseks ja jahutussüsteemi paigaldamiseks. Ainus lisavajadus on tööriistad plastiku lõikamiseks ja kruvikeeraja.



Pilt 3.1 – Toote pakendi sisu

Toode sisaldab *CoolerDeck* jahutussüsteemi, kruvisid, vaheplaati, paberist šablooni aukude lõikamiseks, metallkinnitust, ääretükki, termopatju, termopastat ja katteid.



Pilt 3.2 – CoolerDeck paigaldatud konsoolile



Pilt 3.3 – CoolerDeck paigaldatud kujul konsooli sees

Kuigi tootmisprotsessi ei käsitleta käesolevas töös põhjalikult, tehti arendusetapis märkimisväärseid jõupingutusi tootmisprotsessi täiustamiseks. Näiteks TYPE-C plaadi loomine, et vältida kaabli eelpaigaldamise aeganõudvat tööd.

Paralleelselt töötati välja veebisait (nupp.eu), et hõlbustada *CoolerDeck*-i turustamist ja müüki. Sellel platvormil on tootepildid, videod, kasutusjuhend ja muud asjakohased ressursid.

Üheks väljakutseks on jätkuvalt vajadus lõigata originaalkattesse auk, mis võib mõnda klienti heidutada. Selle probleemi lahendamiseks uurib meeskond alternatiive, kasutades kolmanda osapoole katteid, mis on juba varustatud vajaliku metallist ühenduskohaga. *CoolerDeck*-i klambrit saab seejärel kinnitada selle metallkatte külge.



Pilt 3.4 – Kolmanda osapoole kattega *CoolerDeck*-i installatsioon

See ettepanek näitab *CoolerDeck*-i mitmekülgsust ja seda, kui hoolikalt on selle väiksemaid puudusi tootearenduse käigus käsitletud. *CoolerDeck* kujutab endast paljulubavat lahendust *Steam Deck*-i konsooli jõudluse suurendamiseks ning selle arendusprotsess annab väärtuslikke teadmisi tulevaste uuenduste kohta mängutehnoloogias.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös on selgitatud keerulist teekonda, mis kulges *Valve*-i käepärase mängukonsooli *Steam Deck*-i uuendusliku jahutuslahenduse *CoolerDeck*-i projekteerimisel ja arendamisel. Selle projekti eesmärk oli tingitud vajadusest tõhusa soojusjuhtimislahenduse järele, mis mitte ainult ei parandaks konsooli mängujõudlust, vaid hõlbustaks ka selle ülekiirendamist, tagades seeläbi parema mängukogemuse.

Selle projekti käigus projekteeriti, arendati ja testiti mitmeid *CoolerDeck*-i põhikomponente. *CoolerDeck*-süsteemi selgroo moodustav vaheplaat kujundati *Steam Deck*-i originaalse metallkatte põhjal. Soojusvaheti kinnituspunktide koordinaadid kanti hoolikalt üle digitaalsele disainile ning prototüübid töötati välja ja katsetati nende täpsuse ja toimivuse osas. Lõplik vaheplaadi konstruktsioon tehti vasest, mis valiti selle parema soojusjuhtivuse tõttu.

CoolerDeck-i teine kriitiline komponent, radiaator, valiti välja rangete katsete käigus. Valitud radiaatori aluse suurus oli 40x40 mm, mis vastas konsooli olemasoleva radiaatori aluse mõõtmetele. Pärast erinevate radiaatorivariantide soojustakistuse hindamist valiti kõige väiksema soojustakistuse ja suurima jahutuspinnaga radiaator, mis tagab kõige tõhusama jahutuse.

CoolerDeck-i elektrisüsteemi osas valiti 5-voldine ventilaator ja toiteallikaks USB-C ühendus. Selle protsessi oluliseks osaks oli TYPE-C-plaadi prototüübi väljatöötamine. Selle plaadi disain läbis iteratsioone, mis põhinesid tekkinud väljakutsetel, ja lõpuks integreeriti see *CoolerDeck*-i süsteemi emase pistiku abil, parandades seeläbi toote pikaajalisust ja kasutajakogemust.

CoolerDeck-i väljatöötamine tõi kaasa mitmeid väljakutseid, mis lahendati uuendusliku mõtlemise, põhjaliku testimise ja iteratsioonide abil. Iga disainiotsus tehti pärast hoolikat kaalumist ja erinevate võimaluste hindamist. Lõplik *CoolerDeck*-süsteem kujutab endast tõhusat ja kasutajasõbralikku lahendust, mis parandab oluliselt *Steam Deck*-i konsooli mänguvõimet.

Kokkuvõtteks võib öelda, et *CoolerDeck*-i projekt on edukalt saavutanud oma eesmärgid, kavandades ja arendades jahutuslahenduse, mis võib oluliselt parandada *Steam Deck*-i konsooli jõudlust ja potentsiaalselt avada selle ülekiirendamise võimalused. See on näide tõhusast lahendusest suure jõudlusega pihuarvutite mängukonsoolide soojusjuhtimisega seotud probleemidele, mis aitab kaasa kasutajate mängukogemuse parandamisele..

SUMMARY

This thesis has elucidated the intricate journey of designing and developing the *CoolerDeck*, an innovative cooling solution for *Valve's* handheld gaming console, the *Steam Deck*. The objective of this project was rooted in the necessity for an effective thermal management solution that could not only enhance the gaming performance of the console but also facilitate its overclocking, thereby delivering a superior gaming experience.

In the course of this project, several key components of the *CoolerDeck* were designed, developed, and tested. The spacer plate, which forms the backbone of the *CoolerDeck* system, was designed based on the original metal cover of the *Steam Deck*. The coordinates of the heat exchanger mounting points were meticulously transferred onto a digital design, and prototypes were developed and tested for accuracy and performance. The final spacer plate design was made of copper, chosen for its superior thermal conductivity over aluminium.

The radiator, another critical component of the *CoolerDeck*, was selected through a process of rigorous testing. The selected radiator had a base size of 40x40 mm, aligning with the dimensions of the console's existing radiator base. After assessing the thermal resistance of different radiator variants, the one with the lowest thermal resistance and the largest cooling surface area was chosen, ensuring the most efficient cooling performance.

In terms of the *CoolerDeck's* electricity system, a 5v fan was selected, and a power supply was provided via a USB-C connection. The development of a prototype TYPE-C board with a male connector was a significant part of this process. This board design underwent iterations based on the challenges encountered and was eventually integrated into the *CoolerDeck* system with a female connector, thereby enhancing the product's longevity and user experience.

Upon reflection, the journey of developing the *CoolerDeck* presented multiple challenges that were addressed through innovative thinking, rigorous testing, and iterations. Each design decision was taken after careful consideration and evaluation of various options. The final *CoolerDeck* system represents an effective and user-friendly solution that significantly enhances the gaming performance of the *Steam Deck* console.

In conclusion, the *CoolerDeck* project has successfully achieved its objectives, designing and developing a cooling solution that can significantly improve the performance of the *Steam Deck* console and potentially unlock its overclocking capabilities. It exemplifies

an effective response to the thermal management challenges posed by high-performance handheld gaming consoles, contributing to an enhanced gaming experience for users.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] *I'm shocked how well this worked - Steam Deck Cooler Upgrade*, (20. juuni 2022).
Vaadatud: 17. mai 2023. [Online Video]. Available at:
<https://www.youtube.com/watch?v=-DUWTteit-0>
- [2] „317989.pdf“. Vaadatud: 19. mai 2023. [Online]. Available at:
<https://www.farnell.com/datasheets/317989.pdf>
- [3] „1533424.pdf“. Vaadatud: 19. mai 2023. [Online]. Available at:
<https://www.farnell.com/datasheets/1533424.pdf>
- [4] „Plate_Fin_Configuration_Oct2018-2079791.pdf“. Vaadatud: 19. mai 2023.
[Online]. Available at:
https://www.mouser.ee/datasheet/2/96/Plate_Fin_Configuration_Oct2018-2079791.pdf
- [5] „Spec_Sheet_MX-4_EN.pdf“. Vaadatud: 17. mai 2023. [Online]. Available at:
https://www.arctic.de/media/46/b8/bd/1663244390/Spec_Sheet_MX-4_EN.pdf
- [6] „2200634.pdf“. Vaadatud: 17. mai 2023. [Online]. Available at:
<https://www.farnell.com/datasheets/2200634.pdf>
- [7] „5 x 4 mm | 1 mm Block magnets neodymium, nickel-plated | SPRINTIS“,
<https://www.sprintis.eu/>. <https://www.sprintis.eu/en/Magnets/Neodymium-magnets/Block-magnets/Block-magnets-neodymium-nickel-plated-5-x-4-mm-1-mm.html> (vaadatud 17. mai 2023).
- [8] „10 x 4 mm | 2 mm Block magnets neodymium, nickel-plated | SPRINTIS“,
<https://www.sprintis.eu/>. <https://www.sprintis.eu/en/Magnets/Neodymium-magnets/Block-magnets/Block-magnets-neodymium-nickel-plated-10-x-4-mm-2-mm.html> (vaadatud 17. mai 2023).
- [9] M. Bach, „Effects of Grill Patterns on Fan Performance/Noise“, *Puget Systems*, 19. september 2011. <https://www.pugetsystems.com/labs/articles/effects-of-grill-patterns-on-fan-performance-noise-107/> (vaadatud 17. mai 2023).
- [10] „Silent 4, 40mm Quiet Case Fan“. <https://www.quietpc.com/gel-silent4> (vaadatud 17. mai 2023).
- [11] „2620154.pdf“. Vaadatud: 17. mai 2023. [Online]. Available at:
<https://www.farnell.com/datasheets/2620154.pdf>

GRAAFILINE OSA

Lisana kaasas –

CD1.1_Vaheplaat.pdf

CD1.0_Koostujoonis.pdf

CD1.2_Kinnitus.pdf

CoolerDeck_A1_poster.pdf