

**TAL  
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja Tööstustehnika Instituut

**MIKROVÕRGU ÕPPEMAKETI ARENDUS**  
**DEVELOPMENT OF A MICROGRID LEARNING MODEL**  
MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ats Kaldma

Üliõpilaskood 221579MATM

Juhendaja: Vahur Maask, Teadur

Tallinn 2024

(Tiitellehe pöördel)

## **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.

"....." ..... 2024

Autor: Ats Kaldma

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 2024

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Ats Kaldma

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Mikrovõrgu õppemaketi arendus", mille juhendaja on Vahur Maask.

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.

---

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup> 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.

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Ats Kaldma, 221579MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/22 Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja(d): Teadur, Vahur Maask, vahur.maask@taltech.ee, 6203703

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Mikrovõrgu õppemaketi arendus*

(inglise keeles) Development of a microgrid learning model

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Õppemaketi lahenduse kontseptsiooni koostamine ja vajaduste väljaselgitamine.
2. Õppemaketi mehaanilise ja elektrilise osa projekteerimine.
3. Õppemaketi valmistamine ja kasutajaliidese programmeerimine.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kontseptsiooni loomine	08.10.2023
2.	Komponentide valik	15.10.2023
3.	Kohvri projekteerimine	05.11.2023
4.	Kohvri komplekteerimine	20.12.2023
5.	Tarkvara loomine	01.02.2024
6.	Lõputöö vormistamine	20.05.2024

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "20"mai 2024.a

**Üliõpilane:** Ats Kaldma ..... ".....".....2024.a  
/allkirjastatud digitaalselt/

**Juhendaja:** Vahur Maask ..... ".....".....20.....a  
/allkirjastatud digitaalselt/

**Programmijuht:** Martin Eerme..... ".....".....20.....a  
/allkirjastatud digitaalselt/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	8
1 SISSEJUHATUS.....	9
2 Lähteülesanne ja mikrovõrgu maketi kontseptsioon .....	10
2.1 Probleemi aktuaalsus .....	11
2.2 Lahendused .....	11
2.2.1 Mudeli rakendus/kasutus .....	12
2.3 Lahendusvariandi otsus .....	13
2.3.1 Lahenduste hindamine .....	13
2.3.2 Lõpplahenduse valik.....	14
2.4 Lahenduse täiendavad nõuded .....	14
2.5 Maketi kontseptsioon .....	14
2.5.1 Alajaam.....	15
2.5.2 Elektrituulik .....	16
2.5.3 Generaator .....	16
2.5.4 Päikeseelektrijaam.....	17
2.5.5 Akusalvesti .....	17
2.5.6 Tarbijad .....	18
2.5.7 Juhtimissüsteem.....	18
2.5.8 Energiaallikas.....	19
3 Mikrovõrgu maketi mehaanika.....	20
3.1 Materjali/komponentide valik .....	20
3.2 Üldplaan ja projekteerimine .....	22
3.2.1 Kohver .....	22
3.2.2 Moodulid .....	23
3.3 Funktsionaalsed lisad .....	29
3.4 Materjali tugevusarvutused/simulatsioon. ....	30
3.4.1 Hingede arvutused.....	33
3.5 Valmistamine .....	35
3.6 Disain/esteetika.....	38
4 Mikrovõrgu maketi elektriline osa.....	41
4.1 Komponentide valik .....	41
4.1.1 Juhtseade .....	41
4.1.2 Toiteplokk.....	43
4.1.3 Juhtmete arvutused .....	43

4.1.4	Kasutajaliides.....	44
4.1.5	Trükkplaadid .....	45
5	Mikrovõrgu maketi tarkvara .....	49
5.1	Programmi eesmärk .....	49
5.1.1	Plokkskeem .....	49
5.1.2	Kasutajaliides.....	50
6	Mikrovõrgu maketi valmistamine .....	52
6.1	Tükitabel ja omahinna arvutus .....	52
6.2	Probleemid.....	53
6.2.1	Kohver .....	53
6.2.2	Lisafunktsioonid .....	54
6.2.3	Moodulid .....	54
6.2.4	Trükkplaat .....	55
6.2.5	Lahenduse valmidus .....	55
	KOKKUVÕTE .....	56
	SUMMARY.....	57
7	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	58
	LISAD .....	59
	LISA 1 Elektroonikaskeem .....	60
L1.1	.....	60
L1.2	.....	61
	LISA 2 Tükitabel.....	62
L2.1	.....	62
L2.2	.....	63
L2.3	.....	64
L2.4	.....	65
	Graafiline osa.....	66

# EESSÕNA

Töö eesmärk on luua õppetöökä kasutatav õppemakett, mida saavad tulevikus kasutada tudengid ning tõsta huvi elektroenergeetika ja mehhatroonika õppekavade vastu. Antud magistritöö on kirjutatud jätkuna aineprojektile, mille kavandamine toimus õppeaine EEV5120 mehhatroonikasüsteemid - projekt raames. Õppemaketi tellijaks on TalTechi elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut, keda antud lõputöö raames esindas juhendaja teadur Vahur Maask. Maketi projekteerimisel aitasid kaasa teised eriala tudengid. Autor soovib avaldada neile tänu.

Võtmesõnad: Mikrovõrk, õppemakett, disain, energiahaldussüsteem, Magistritöö;

# LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

A – Juhtme ristlõike pindala –  $m^2$

d – Juhtme diameeter - mm

I – Vool – A

L – Juhtme pikkus - m

R – Takistus -  $\Omega$

V – pingelang, allika ja juhtme kaugeima otsa vahel – V

$\varrho$  – Materjali takistus -  $\Omega m$



# 1 SISSEJUHATUS

Magistritöö eesmärgiks on projekteerida ja komplekteerida õppemakett, mis kujutab endast miniatuurset elektrivõrku ehk teisisõnu mikrovõrku. Mikrovõrke kasutatakse, et pakkuda efektiivset ja töökindlat elektrivarustust piiratud geograafilisel alal. Mikrovõrgud on iseseisvad üksused elektrisüsteemis, mis suudavad töötada välise elektrivõrguga paralleelselt või isoleeritult, võimaldades elektrikatkestuse ajal tagada tarbijatele elektritoite. Mikrovõrk koosneb elektritootjatest, tarbijatest ja salvestistest. Tegemist on keerulise süsteemiga, mille juhtimiseks on tarvis luua tõhusaid mudeleid ja meetodeid, mis suudaksid prognoosida, optimeerida ja hallata mikrovõrgu energiavarustust. Selleks on vaja võtta arvesse erinevaid tegureid nagu tarbimismustrid, taastuenergia tootmine ja energiasalvestus.

Lahenduste leidmiseks ja analüüsimiseks kasutati mitmeid meetodeid, sealhulgas konsultatsioone tellija esindajaga, olemasolevate lahenduste uurimist, Google'i otsinguid projekteerimisel ning lahenduste analüüse. Konsultatsioonid tellija esindajaga aitasid täpsustada nõudeid ja ootusi. Olemasolevate lahenduste uurimine andis ülevaate juba kasutusel olevatest meetoditest ja tehnoloogiatest. Google'i otsingud aitasid leida asjakohast teadus- ja tehnilist teavet, mis oli kasulik projekteerimisprotsessis. Lahenduste analüüs võimaldas hinnata erinevate lähenemisviiside tõhusust ja valida sobivaimad lahendused mikrovõrgu jaoks.

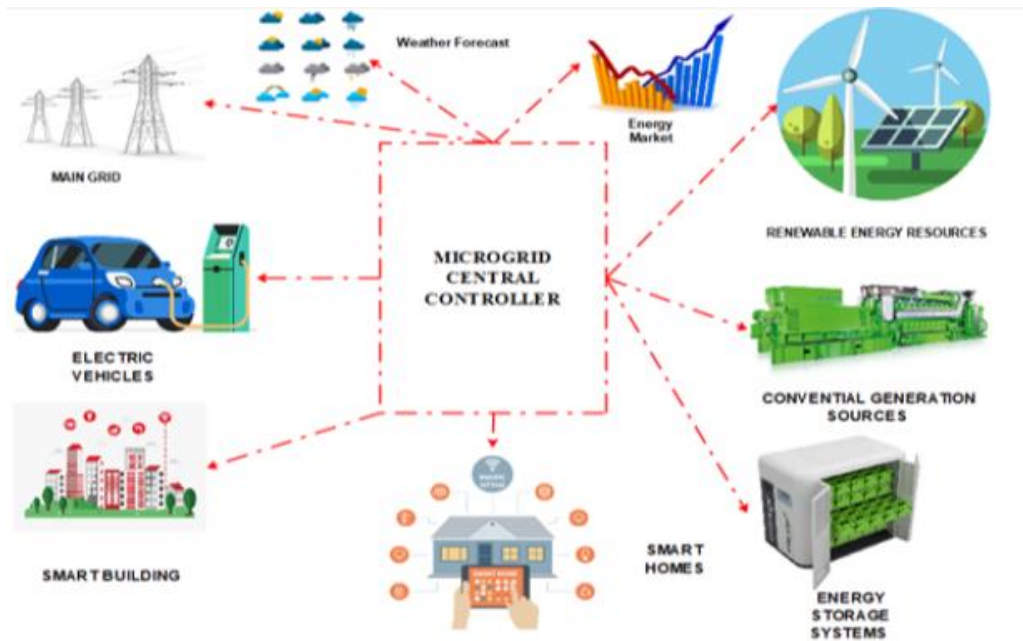
Lõputöö esimeses peatükis kirjeldatakse mis on lähteülesanne, mida hakatakse lõputöös lahendada ning mis osad peavad õppemaketis olema. Uuritakse olemasolevad lahendusi ning valitakse selle informatsiooni põhjal sobiv lahendus, mida hakatakse arendama. Lõputöö järgmises peatükis kirjeldatakse lõputöö mehhaanilist lahendust, valitakse välja materjal ning tehakse valmis lõputöö joonised, kasutades CAD tarkvara Solidworks. Kolmas peaosas peatükk tegeleb lõputöö elektroonikaga, seletatakse lahti missugused komponendid ja miks valitud said. Kirjeldatakse ka moodulite erinevusi trükkplaadi tasemel. Eelviimases peatükis käsitletakse lõputöö tarkvara osa. Kirjeldatakse kuidas töötab lõputöö peaprogramm ja milline tuli kasutajaliides. Viimases lõputöö peatükis näidatakse projekti tükitabelit ning arvutatakse välja toote omahind. Lisaks tuuakse välja ka probleemid, mis tekkisid maketi valmistamisel.

## 2 Lähteülesanne ja mikrovõrgu maketi kontseptsioon

2023 aastal toimunud õppeaine "Mehhatroonikasüsteemid projekt" raames mõtles välja Vahur Maask projekti, luua õppemakett [1]. Plaanis oli valmistada kaasaskantav ning modulaarne õppesüsteem.

Töö jaotati osadeks:

- mehhaanika
- elektroonika
- tarkvara

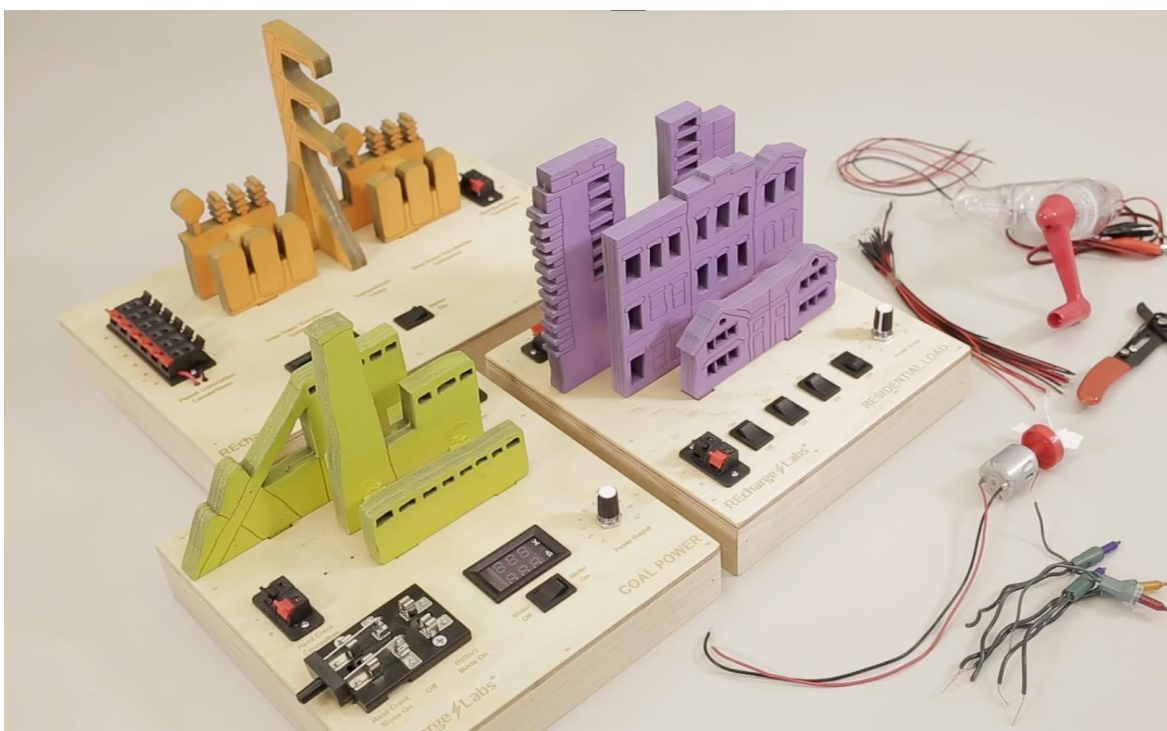


Joonis 2.1 Mikrovõrgu joonis [2]

## 2.1 Probleemi aktuaalsus

Eeluurimisel leiti, et kuigi sellised lahendusi on juba olemas, siis ükski neist soovitud eesmärki ei täitnud. Näiteks sarnane toode on KidWind Projecti "Power Grid Kit". Selles komplektis simuleeritakse söe-, tuule-, hüdro-, päikese-, naturaalse gaasi ja tuumaenergia kasutust läbi alajaamade ennem kui see jõuab majapidamistesse. Komplektis demonstreeritakse nii oleviku kui ka tuleviku energiaallikate laia valikut. KidWind Project-i "Power Grid Kit-i" maksumus on 2000 dollarit. Komplekti eesmärk on anda õpilastele võimalus kuidas uurida elektrivõrke ning nende töötamist, seda läbi erinevate praktiliste projekteerimis probleemide.

Selle lahendusel puudub vajalik kasutajaliides ning veel mitmeid komponente, nende juurde lisamisel tuleks arvestada olemas olevate komponentide esteetikaga.

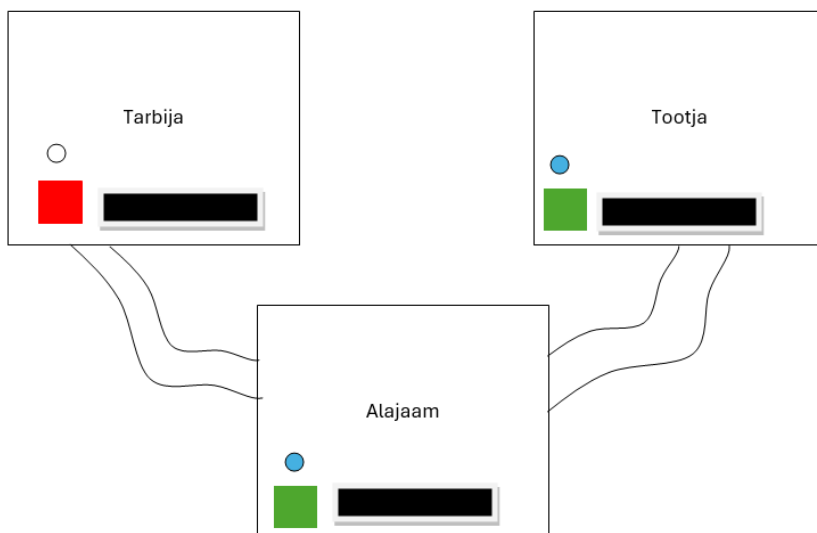


Joonis 2.2 KidWind Project "Power Grid Kit" [3]

## 2.2 Lahendused

Kuna ei leitud olemasolevad lahenduste seast projekti jaoks sobivat, tuli sobiv lahendus välja mõelda. Esimene variant on ehitada sarnane projekt nagu KidWind Project, kõik maketi osad on eraldi plokid(Vt. Joonis 2.3). Plokid on omavahel ühendatud väliselt

kaablitega. Nii on lahenduse valmistamine lihtne. Kõik moodulid on eraldatud ja kui tekib probleem ühe mooduliga, siis selle välja vahetamiseks on vaja ainult see moodul eemaldada. Igal mooduli küljes on tema enda kasutajaliides.



Joonis 2.3 Lahendus 1 – Kontseptsioon

Teine lahendus oleks osta olemasolev lahendus „KidWind Project“ ja teha sellele vajalikud muudatused. Lisades sellele kõik puuduolevad komponendid. Selle lahenduse juures jääb ära suurem osa valmistustööst, sest plaanitakse kasutada olemasolevaid komponente.

Kolmas variant, mis välja pakuti, oli kasutada ühte suurt plaati, kuhu kõik moodulid ühendatud on. Sedasi saab juhtmete vedamise teha plaadi alt ning ei jää kellelegi silma. Sellega likvideeritakse ka võimalus, et mõni moodul peaks kaotsi minema, sest kõik on ühe plaadiküljes kinni, aga kui tekib mingi probleem, siis on vaja terve plaat kasutusest eemaldada.

### 2.2.1 Mudeli rakendus/kasutus

Tallinna Tehnikaülikooli Mikrovõrkude ja metroloogia uurimisrühmal on tarvis maketti, millega oleks võimalik näidata mikrovõrgu tööd võimalikult huvitavalt. Eesmärk on kasutada maketti oma uurimistöö ning ülikooli õppekava promomiseks. Mikrovõrkude maketti hakatakse kaasas kandma messidel, ülikooli promo üritustel ning keskkoolides eriala vastu huvi kasvatamiseks ning lisaks ka õppevahendina ülikooli õppeainetes. Maketti ei hakka kasutama ainult lapsed, vaid ka bakalaureuse ja magistri tudengid.

## **2.3 Lahendusvariandi otsus**

Sobiliku lahendust hinnati määratud vajaduste põhjal. Võeti arvesse eeldatavat hinda lahenduse soetamisel ja rakendamisel, kui suureks võib lahendus minna. Lahenduse kasutusvõimalusi. Lisaks on rõhk peal ka lahenduse välimusel, kuna on soovi kasutada lahendust Tallinna Tehnikaülikooli promoks.

### **2.3.1 Lahenduste hindamine**

Lahendus 1, kõik maketti osad on eraldi. See lahendus avab võimalused asetada maketti vastavalt kasutaja soovidele, hakkab tekkima probleem ühenduste loomisel. Kui kasutada juhtmeid, siis need jäävad ette ja nähtavale, kuna juhtmed peavad olema piisavalt pikad, et mugavalt ühendata teise mooduliga. See lahendus tuleks teha täiesti 0-st, saab küll leida olemasolevaid lahendusi, et protsessi kiirendada, kuid siiski saab olema suur rõhk valmistamisel. Võivad tekkida probleemid ladustamisega, kui kõik moodulid on eraldi, tuleb välja mõelda ka viis, kuidas neid mugavalt hoiustada ja transportida. Kui peaks tekkima mõni tõrge, siis selle lahendusega on võimalik vigane osa lihtsalt võrgust eemaldada ning lasta ülejäänud osal tööd teha.

Lahendus 2, kasutada Kidwind Projecti. Kuigi seal on enamus tööd juba ära tehtud, siis selle külge vajalike moodulite ja lisa komponentide integreerimine võib osutuda raskemaks kui ette kujutatakse. Ei ole teada täpselt kuidas seal kõik komponendid valmistatud on. Lisaks kuna on soovi kasutada seda õppemaketti ja bakalaureuse- ja magistritudengite õppetöös, siis Kidwind project on liiga lapsiku välimusega. Tegemist on pigem tootega, mis on suunatud põhikooli vanustele õpilastele.

Lahendus 3, luua alus, mille peal on terve makett. Kui kõik moodulid on ühe aluse küljes, siis on vähe muresid selle üle, kuidas neid ühendada. Kuid võib tekkida probleeme, kui midagi peaks kahjustada saama kasutuse ajal. Transportides ei pea muretsema, et ega midagi maha ei jäänud, kuna kõik vajalik on ühe plaadi küljes olemas. Selletõttu on muidugi kohandatavus ka madalam. Kasutajaliides saab olla ühendatud plaadi külge, kus kõikide komponentide info on korraga näidatud.

### **2.3.2 Lõpplahenduse valik**

Võttes arvesse kõikide lahenduste plusse ja miinuseid, tehti otsus võtta kasutusele kombineeritud lahendus. Plaanitakse teha üks moodulplaat, mille küljes on moodulid ühendatud pistikutega, sellisel juhul on võimalik mooduleid lihtsasti eemaldada ning kõik elektroonika saab olla peidetud plaadi alla. Kasutajaliides saab olema terve maketti kohta.

## **2.4 Lahenduse täiendavad nõuded**

Mikrovõrgumaketi mudel peab olema modulaarne, võimaldades mooduleid vastavalt vajadusele ümber paigutada. Moodulitele peab hõlpsalt ligipääsema ning neid tuleb saada lihtsalt eemaldada ja asetada tagasi. Mooduleid peab ära mahtuma 12 tükki ning need asetsevad 3x4 võrgus.

Mikrovõrgumakett peab mahtuma ühe inimese poolt kantavasse konteinerisse. Konteiner, edaspidi kui kohver. Selle kohvri gabariitmõõdud ei tohi ületada 800x600mm. Need mõõdud said valitud empiiriliselt.

Kuna tegemist on suure kohvriga, tuleb arvestada, et selle peale võib üritada asetada teisi esemeid. Seetõttu on oluline, et kohver suudab kanda vähemalt 20kg raskust. Lisaks sellele on vaja kohvrile paigaldada kaalupiirangu märgid, et vältida liigset raskust selle peale panemast.

## **2.5 Maketi kontseptsioon**

Makett on jaotatud alamosadeks, mis on asetsevad eemaldataval keskmisel plaadil ehk moodulplaadil. Joonis 2.4 on välja toodud maketti alamosad ning nende nõuded.



Joonis 2.4 Maketi kontseptsioon [1]

### 2.5.1 Alajaam

Alajaam on mikrovõrgu liitumispunkt välise suurema elektrivõrguga. Selles liitumispunktis on transformaator ning ühendus kõrgepingeliiniga. Maketis peab olema võimalik mikrovõrgu ja välist elektrivõrgu vahelist ühendust katkestada. See ühenduse katkestus ei pea olema füüsiliselt tehtav, kuid seda peab olema võimalik näha kasutajaliideses. Alajaama näitamiseks mudelis on kasutatud transformaatori mudelit. Ühendust välise võrgu vahel näidatakse punase ja rohelse LED-ga.



Joonis 2.5 Alajaam [4]

## 2.5.2 Elektrituulik

Üks maketis olevatest elektritootjatest. Taastuenergia allikas. Elektrituuliku labad peavad pöörlema, et simuleerida energiatootmist. Tuuliku käitamiseks vajalikku tuult ei ole otstarbekas tekitada. Elektrituuliku paneb pöörlema mikroarvutist ning kasutajaliideses on võimalik muuta pöörlemiskiirust. Vastavalt kui kiiresti mootor pöörleb määratakse kui suur on tuuliku tootlikus. Elektrituulikuks kasutame olemasolevat mudelit.



Joonis 2.6 Elektrituulik [5]

## 2.5.3 Generaator

Generaator kujutab endast vedelkütuse(diisel) peal töötavat elektrigeneraatorit, mida kasutatakse kui tagavara toiteallikat, kui alajaamast katkestatakse välisesüsteemiga ühendus ning olemasolevad energiaallikad ei ole piisav, et katta energia tarbimist. Generaatori töötamisest peab olema võimalik aru saada füüsiliselt, selleks kasutatakse miniatuurset elektrimootorit, et panna generaator pöörlema. Generaatori pöörlemiskiirust saab muuta mikroarvutist





## 2.5.6 Tarbijad

Maketis on kodumajapidamised, büroohoone ja elektriautolaadijad tarbijate simuleerimiseks. Maketis peab olema vähemalt 3 kodumajapidamist, mis tarbivad elektrit. Nende energia tarbimist saab muuta mikroarvutist. Lisaks peab maketis olema 3 kodumajapidamist, mis lisaks elektritarbimisele omavad päikesepaneele ja toodavad ise oma tarbeks elektrit. Samuti peab olema maketis 1 büroohoone, millel on päikesepaneelid. Nii majapidamiste kui ka büroohoone jaoks kasutatakse olemasolevaid majamudeleid ning elektritarbimist näidatakse LED-ga, mis vastavalt tarbimisele kas tuhmub või ergastub.

Lisaks peavad olema 2 kodumajapidamise ja büroohoone juures elektriautolaadijad. Elektriauto laadijate jaoks kasutatakse juhtmevaba laadija jaamu, mis on paigaldatud mooduli külge. Kui elektriauto laadija on aktiveeritud, tuleb seda näidata valgustusega.



Joonis 2.9 Päikesepaneelidega varustatud maja [8]

## 2.5.7 Juhtimissüsteem

Mikrovõrgu tegemist juhib üks keskne seade, mis peab olema suuteline mõõtma ja juhtima kõiki maketis olevaid seadmeid ja mooduleid. Iga mooduli täpset tööd kontrollib mikrokontroller. Iga mikrokontroller juhib kõiki oma mooduli komponente, sealhulgas andureid, mootoreid ja LED-valgustust. Mooduli töö lihtsustamiseks on loodud trükkplaadid, et oleks võimalik kohandada moodulit erinevate rakenduste jaoks.

Kasutajal peab jääma võimalus jälgida mikroorgu tööd ning teha juhtimisotsuseid. Selleks on kasutajal andmete visualiseerimiseks ekraan, kus on kuvatud mikroorgu mudelid, arvvaartused ning tal on ekraanil võimalik muuta arvvaartusi, et mõjutada tootmist ja tarbimist. Kasutajale on parameetrite muutmiseks hiir ja klaviatuur. Kasutajal on võimalik ekraanilt komponente sisse ja välja lülitada ning sisestada vaartusi lahtritesse.

Elektriliinid on näidatud maketil LED ribadega, et näha, kuidas toimub elektrivoolu liikumine ning mis on hetkel ühendatud elektrivõrku.

### **2.5.8 Energiaallikas**

Makett konstruktsioon võtab omale toidet 230V võrgust läbi toiteploki pistiku. Kohvri komponentidest saavad 230V toidet ekraan ja toiteplokk, mis muudab selle pinge 12V ja 5V-ks. Toiteploki kaudu saavad oma toite ka kõik muud kohvris olevad seadmed, välja arvatud ekraan.

## 3 Mikrovõrgu maketi mehaanika

Mudeli hoiustamiseks ja transpordiks oli vaja luua sellele kest. Kõige lähedasem olemasolev lahendus on lennukohver. Olemas olevatest lennukohvritest ei sobinud ükski ülesande jaoks oma mõõtude poolest ning sai otsustatud ise kohvri valmistada. Lisaks kohvrile oli vaja vaheplaati, kuhu on võimalik ühendada mooduli pistikud.

### 3.1 Materjali/komponentide valik

Kohvri valmistamisel oli vaja hoolikalt materjal valida, mis vastaks nii esteetilistele kui ka funktsionaalsetele nõudmistele. Peamised kriteeriumid, mille põhjal materjali valiti hõlmasid vastupidavus, kergus, esteetika ja töödeldavus. Võrdluses oli mitmeid võimalusi, sealhulgas traditsioonilised puitmaterjalid nagu tamm ja kask, kuid ka kaasaegsed materjalid nagu vineer ja puitlaastplaadid. Lisaks sai ka põgusalt võrreldud metalle, nagu alumiinium.

Kuigi traditsioonilised täispuitmaterjalid on looduslikult vastupidavad ning on esteetilise välimusega on need rasked. Lisaks oli raske leida sobivas mõõtudes plaate. Samas puitlaastplaadid on kergemad, siis need ei ole piisavalt vastupidavad pikaajalisele kasutamisele või karmidele tingimustele. Lisaks nii saepuruplaadiga kui ka puitlaastplaadiga tuleb selle rabadusega arvestades võtta jämedam plaat kui vineeri või täispuidust ning teha lisa tööd viimistlusel ja töötlemisel.

Veekindel vineer on vastupidava pinnakattega, andes talle pikaajalise vastupidavuse. Lisaks annab veekindel vineer laia valiku viimistlusvõimalusi, võimaldades saavutada soovitud esteetilise välimuse. Vineer on suhteliselt kerge, et kohvri kaasaskandmine oleks võimalikult mugav. Vineer on tugevam kui puitlaastplaat, et kaitsta kohvris olevaid esemeid.

Alumiinium, kuigi vastupidavam, on liiga raske ning selle hind on kõrgem kui puidul. Lisaks on alumiiniumi keerulisem töödelda, kui puitu ning see vajab spetsialiseeritud tööriistu.

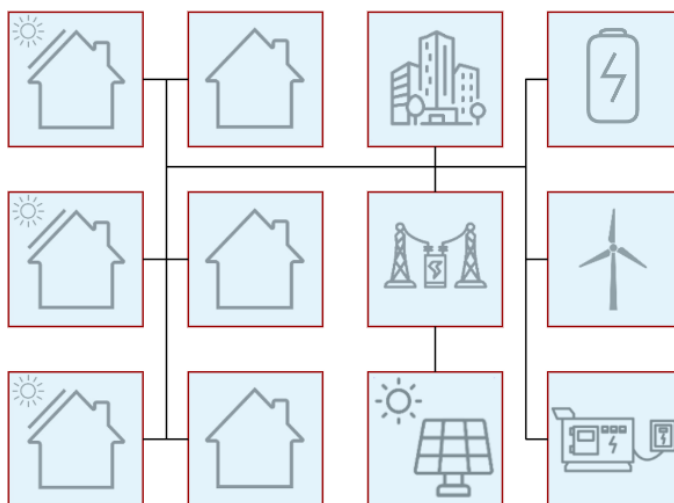
Tabel 3.1 Materjalide võrdlustabel (täispuit[9], puitlaastplaat [10], vineer [11], alumiinium [12])

Materjali tüüp	Käätasaadavus (hind) €/m <sup>2</sup>	Kaal/tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	Paksus (mm)	Töötlemine	Viimistlus
Täispuit	38.75	630-660	18	Saagimine, puurimine, hõõveldamine, lihvimine	Lihvimine, peitsimine, lakkimine, värvimine, poleerimine
Puitlaastplaat (OSB)	6.08	450-750	12	Saagimine, puurimine, lihvimine.  Riskid kiudude purunemise ja laastude tekkimisega	Lihvimine, täiteainete kasutamine, peitsimine, lakkimine, värvimine(lisa ette valmistused enne töötlemist)
Vineer	14.69	500-800	6	Saagimine, puurimine, servatöötlus, lihvimine	Lihvimine, peitsimine (vajadusel), lakkimine, värvimine
Alumiinium	51,5	2700	3	Lõikamine, puurimine (spetsiaalsed tööriistad)	Poleerimine, lihvimine, värvimine, anodeerimine

Lõppvalikut tehes sai vaadeldud materjali hinda ning plaadi saadavust. Lisaks mängis ka rolli, saadaval oleva plaadi mõõtmeid ning materjali omadused nagu kaal ja viimistlus. Kõike arvesse võttes sai valitud veekindelvineer.

## 3.2 Üldplaan ja projekteerimine

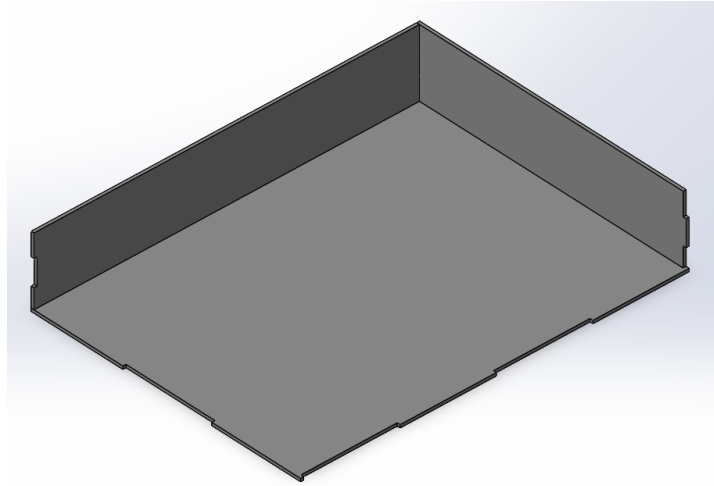
Makett on jaotatud alamosadeks, mis on asetsevad eemaldataval keskmisel plaadil 3x4 ruudustikus. Esialgse plaani järgi on plaadi peale jaotatult 6 maja, büroohoone, alajaam, päikeseelektrijaam, elektrituulik, aku ja vedelkütusgeneraator. Kõikide moodulite vahele oli vaja vedada „elektriliinid“, mis on maketis näidatud LED ribaga.



Joonis 3.1 Moodulite esialgne paigutus

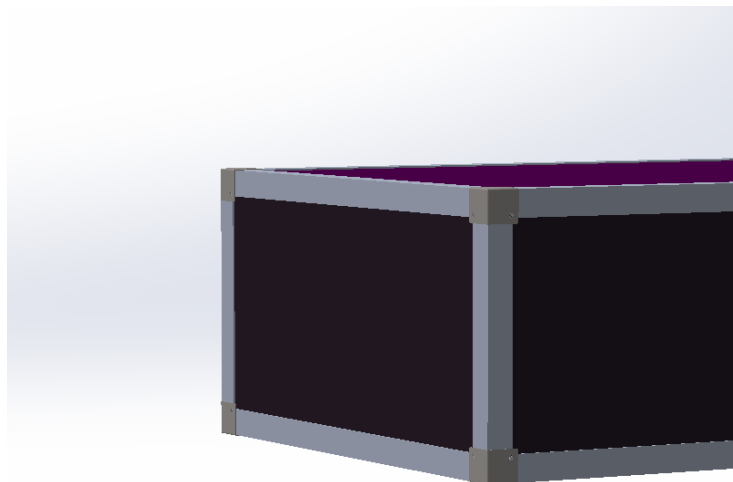
### 3.2.1 Kohver

Kohvrit projekteerides üritati küljed valmistada nii, et nende kinnitamiseks ei ole vaja lisa kinnitusvahendeid, nagu näiteks vinklid. Selle saavutamiseks tehti põhja- ja seinaplaatide külgedele kandilised sisselõiked (Vt. Joonis 3.2 Kohver põhi).



Joonis 3.2 Kohver põhi

Ühenduskohtade parema eluea saavutamiseks ning varjamiseks kasutatakse nii liiste kui nurgikuid (Vt. Joonis 3.3).



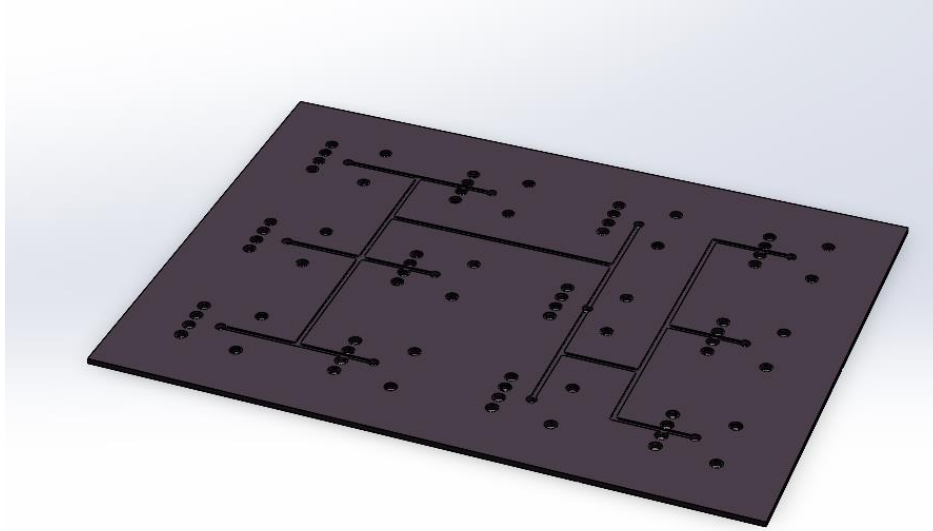
Joonis 3.3 Kohver liistud ja nurgikud

### 3.2.2 Moodulid

#### Moodulplaat

Moodulplaat valmistatakse samast veekindlast vineerist, mida kasutati seinte ja põhja jaoks. Mooduliplaadi valmistamise juures oli vaja arvestada kui palju ruumi on moodulite vahele jätta, et oleks võimalik mugavalt mooduleid vahetada. Moodulid otsustati teha 150x150mm suured ning nende vahele jäetakse vähemalt 30mm ruumi igast suunast.

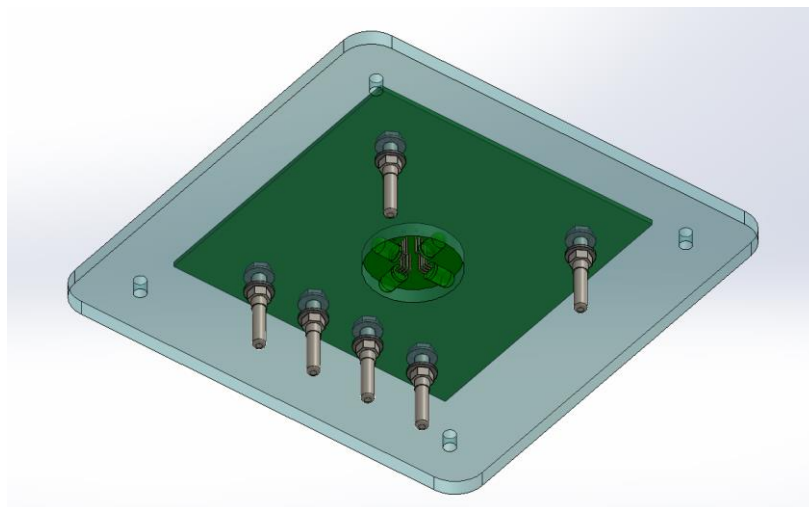
Igamoodul istub moodulplaadi külge 6 pistikuga. Mööda mooduplaati jookseb kanal, mis ühendab kõik moodulid nagu elektriliinid majade ja alajaama vahel. Kanalisse pannakse 5mm paksune LED riba. Kanali lõppudesse ning mitmesse kanali nurka on tehtud plaati läbivad avad, et oleks ligipääs LED-riba otstele. Moodulplaadi sobiva kõrguse saavutamiseks kasutatakse vineerist liiste.



Joonis 3.4 Moodulplaat

### **Moodulid**

Moodulialused otsustati teha akrüülklaasist. Akrüülklaas on vastupidav ning selle läbipaistvus anna võimaluse kasutada mooduli põhja külge kinnitatud LED, et näidata kas moodul on töös või mitte. Moodulite ühenduseks paarvutiga kasutatakse banaan ühendusi. Selle lahendusega on võimalik mooduleid ümber tõsta vastavalt kasutaja soovidele.

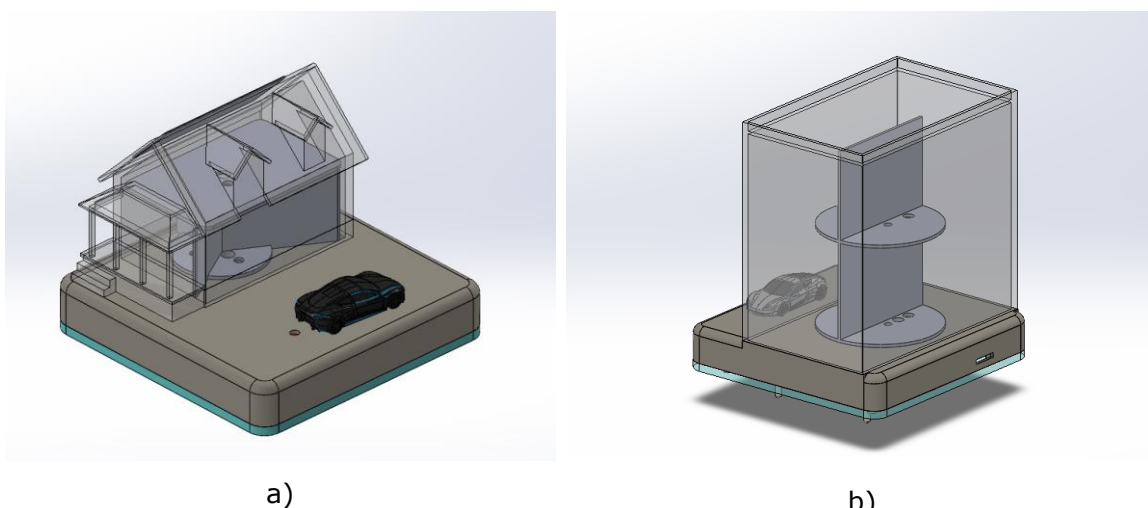


Joonis 3.5 Moodulialus



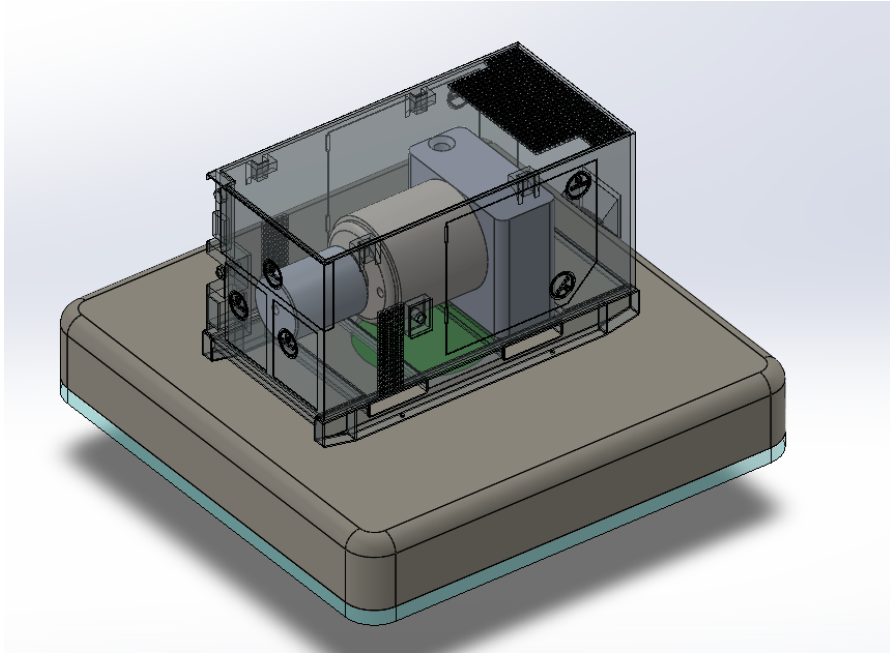
Kuna moodulid on erinevate tööpõhimõtetega, siis kõikide moodulite vahekinnitused plaadi külge olid pisikeste erinevustega. Neil kõigil oli olemas programmeerimiseks ava(Vt. Joonis 3.6), et saada ühendus mikrokontrolleriga nii et ei ole vaja tervet moodulit lahti monteerida.

Büroohoone ja elumajadel on LED-de jaoks torn. Torn jaotab maja neljaks osaks ning vastavalt kui palju moodul voolu tarbib, süttivad progresseeruvalt LED-d et seda näidata(Vt. Joonis 3.6). Sarnaselt on see tehtud ka büroohoone. Lisaks on maja kui ka büroohoone katusel fototakisti, mida kasutatakse päikesepaneelina. Mõlema mooduli küljes oli ka elektriautolaadija, mis koosneb plaadi aluses magnetist ja herkonlülitist. Nii maja kui ka büroohoone on mõlemad olemasolevad tooted.



Joonis 3.6 Moodulite disainid a) maja ja b) büroo

Generaatori mooduli jaoks kasutatakse olemasolevat generaatori mudelit, millele tehti mõned muudatused, et see sobiks soovitud nõuetega ning et generaator oleks 3D printimiseks sobiv. Mooduli sisse on paigutatud elektrimootor, mis käivitub kui moodul on aktiveeritud.



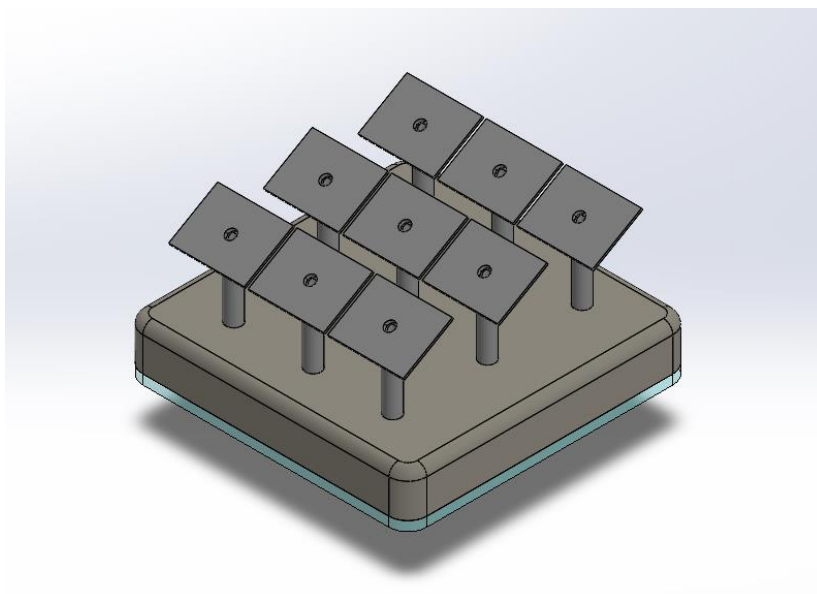
Joonis 3.7 Generaatori moodul

Elektrituuliku mooduli juures on kasutatud ostutoodet. Toodet on modifitseeritud nii et tuuliku paneb pöörlema aluses olev elektrimootor ning selle kiirust on võimalik muuta.



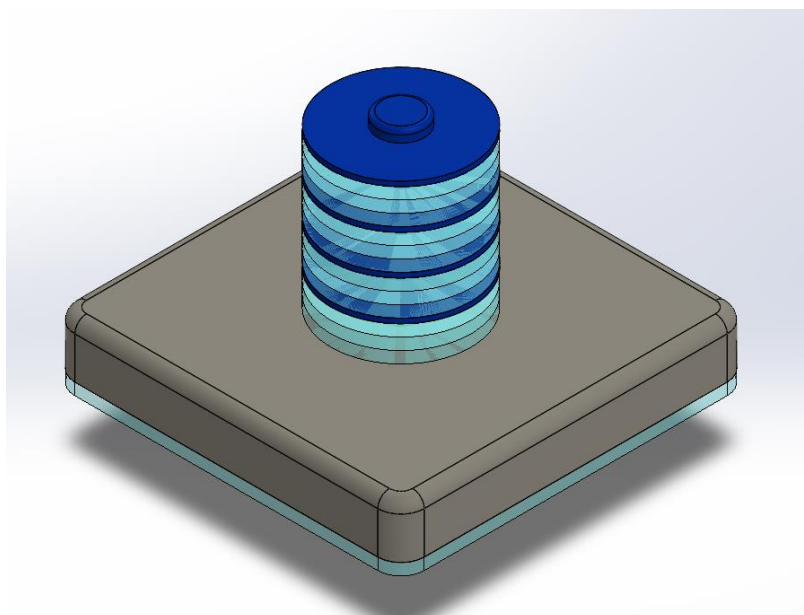
Joonis 3.8 Elektrituuliku moodul

Päikeseelektrijaama kujutavad 9 väikest päikesepaneeli, keskmise päikesepaneeli külge on ühendatud phototakisti.



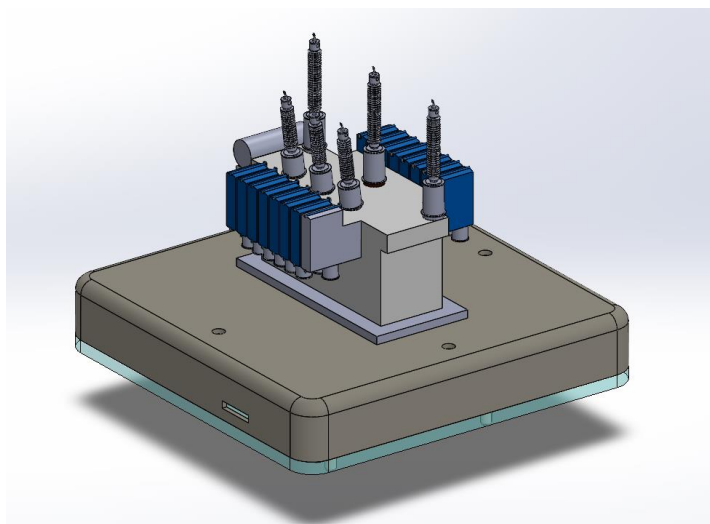
Joonis 3.9 Päikeseelektrijaama moodul

Aku jaoks kasutatakse akrüülklaasist rõngaid ning akutaset näitavad erineval kõrgusel olevad 4 LED-d, iga LED-i vahel on eraldi, et teiste LED-de valgustus ei põhjustaks vale mõõtmist.



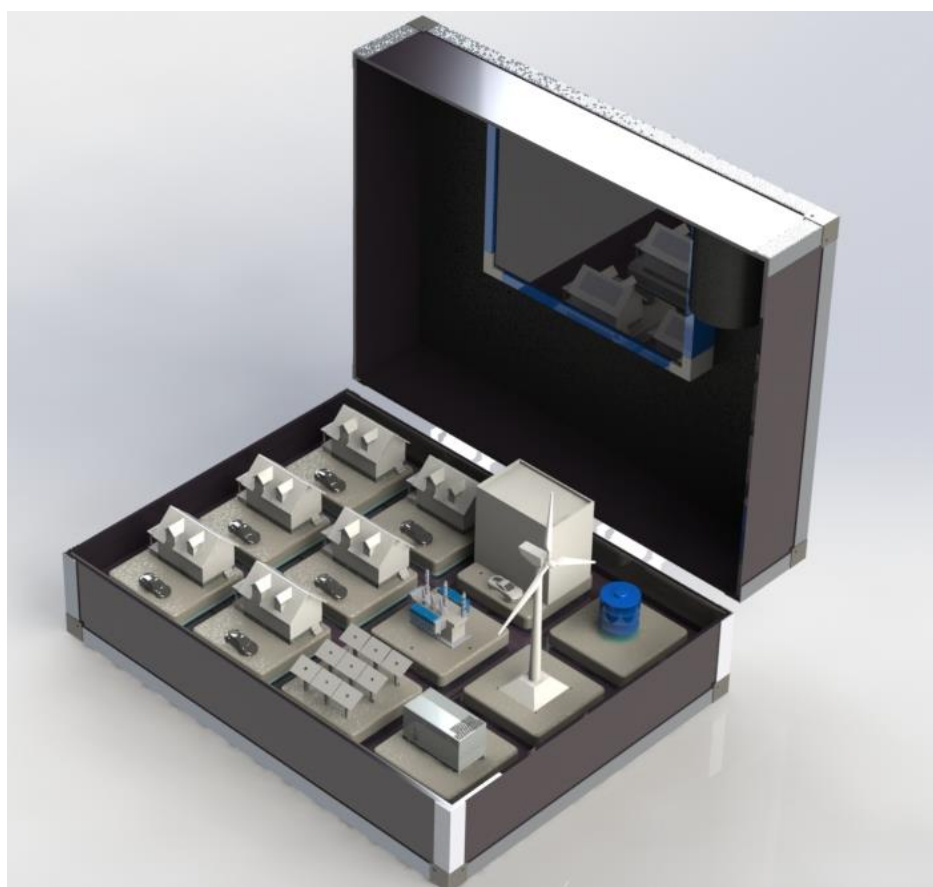
Joonis 3.10 Aku moodul

Alajaama jaoks kasutati olemasolevat transformaatori mudelit, millele on tehtud muudatusi, et see oleks 3D printitav. Mudelil oli liialt rippuvat komponente, mis kujutasid endast torusid.



Joonis 3.11 Alajaama moodul

Lõpplahendus on nähtav Joonis 3.12. Seal on paigas kõikide moodulite asetused. Tagumise seinakülge on kinnitatud ekraan, mille peale kuvatakse informatsioon juhtseadmest. Kohvri ülemise ääre külge on monteeritud ka kohtvalgusti, mis käitub kui mikrovõrgu päike.



Joonis 3.12 Kohver 3D mudel.

### 3.3 Funktsionaalsed lisad

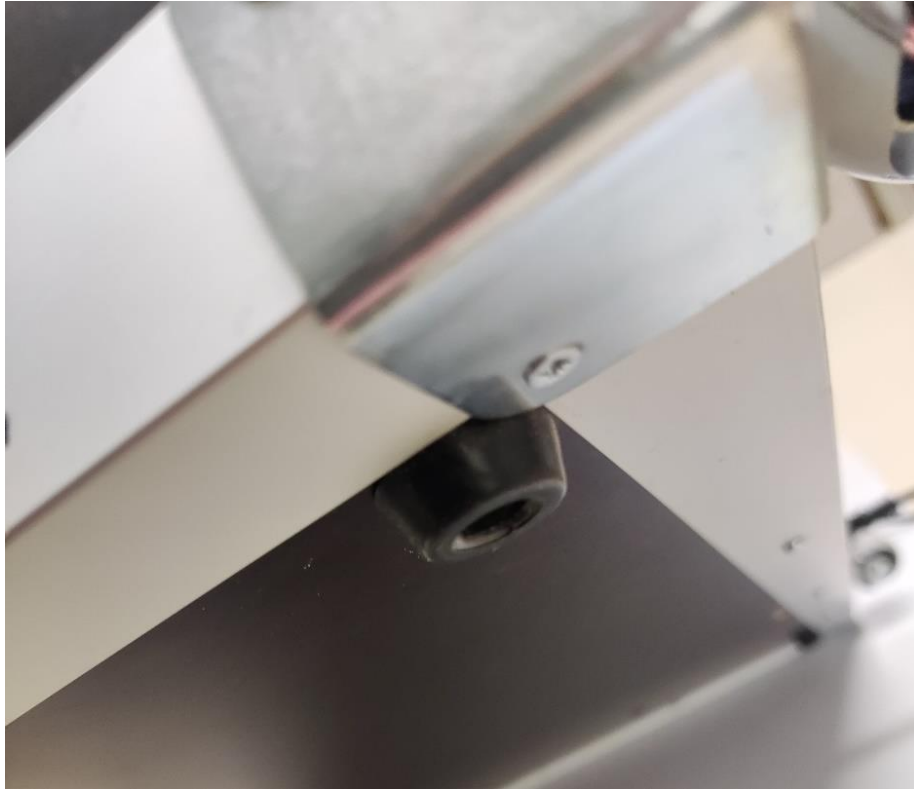
Kohvri sisse oli vaja viia ka toide ning võimalus, kuidas saada peaarvutist pilt välisele ekraanile. Selleks oli vaja lisada kohvri seintele toitekaabli pesa ning HDMI pesa.

Kohvrimõõde arvestades ning füüsilised proovides jõuti järeldusele, et ühele inimesel on seda ebamugav transportida. Otsustati kohvrile lisada rattad(Vt Joonis 3.13).



Joonis 3.13 Kohvri rattad

Selleks, et vähendada nii kohvri aluspinna kui ka tugipinna kahjustamist otsustati lisada kohvrile ka kummist jalad(Vt. Joonis 3.14).



Joonis 3.14 Kohvri kummistjalad

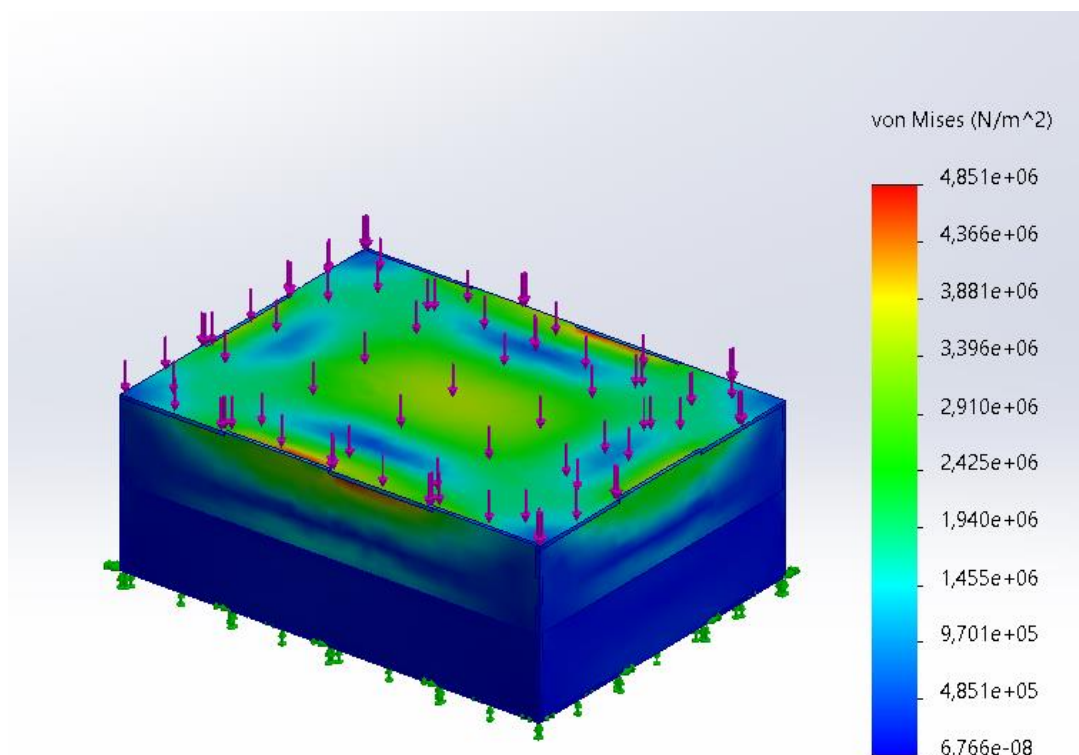
### **3.4 Materjali tugevusarvutused/simulatsioon.**

Kuna tegemist on suurte mõõtmetega esemega, siis tekivad probleemid selle ladustamisega ning selle peale asetatakse midagi, et paremini ruumi kokku hoida. Sai otsustatud, et üle 20 kg raskust ei lubata kohvrile asetada. Selle kontrolliks sai tehtud tugevusarvutused, tulenevalt uuringutest [13], [14], [15] saadud spetsifikatsioonist puiduomadustele. Sai kontrollitud nii punktkoormust, kui ka pindkoormust. Kuna oli kehtestatud kaalupiirang, siis otsustati teha kontrollarvutus varuga ning punktkoormuseks valiti 30 kg. Selleks et testida kui suurele pingele suudab kast vastupidada, tehti pindkoormusega arvutus 100 kg peal. Arvutused tehakse pikali asendis, kus kohvri kõige suurema pindalaga pinda kasutatakse toena. Sellega võrdleme suurema ohuga kohta, mis on kõige tõenäolisem asend, mille peale võidakse midagi asetada. Kui kohver on asetatud külje peale, siis on pinda, mis võib läbi painduda vähem ning pole palju ruumi, et midagi sellele pinnale toetada.

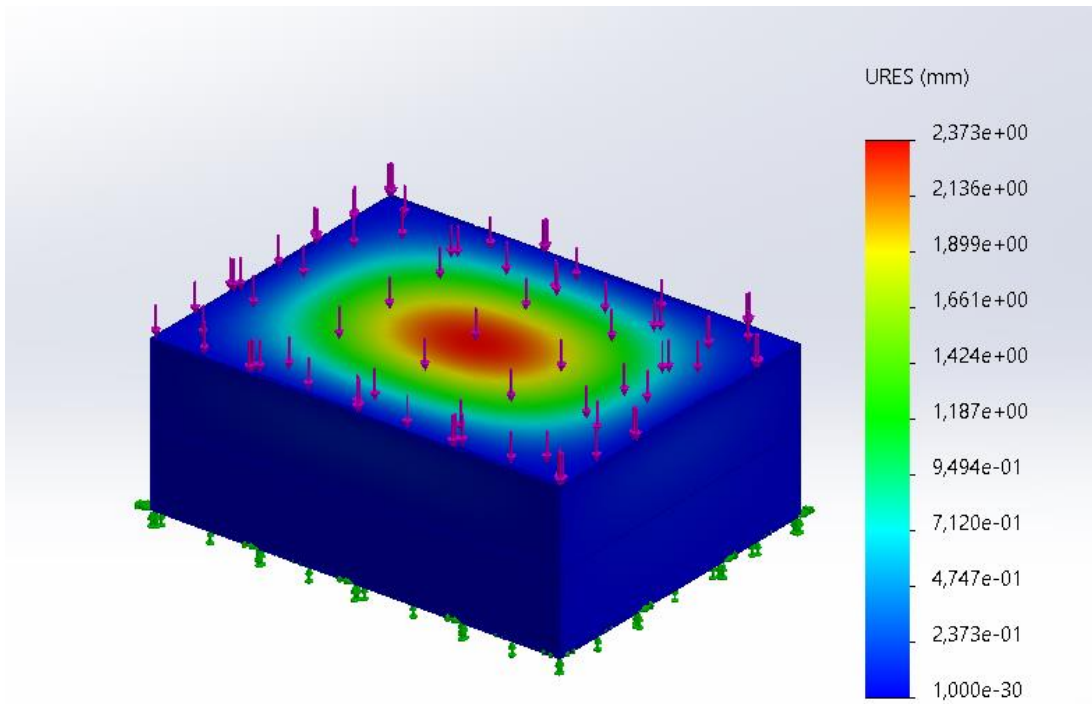
Tabel 3.2 Vineeri mehhaanilised omadused [14]

Mehaaniline omadus	Väärtus
Tõmbetugevus	27.6 – 34.5 MPa
Paindetugevus	0.0483 – 0.0689 GPa
Paindemoodul	8.20 – 10.3 GPa
Survetugevus	31.0 – 41.4 MPa
Nihkemoodul (Tasapinnas)	0.138 – 0.207 GPa
(Läbi paksuse)	0.586 – 0.758 GPa
Nihketugevus (Tasapinnas)	1.72 – 2.07 MPa
(Läbi paksuse)	5.52 – 6.89 MPa

Pindkoormuste arvutustega (Vt. Joonis 3.15 ja Joonis 3.16) näeme, et kui laotada raskus nii, et see kasutab kohvri külje seinu tugevana, siis peab kohver vastu raskusele. Kõige suurem pinge langeb sellel juhul ühenduskohtadele, mis on omavahel jäigalt ühendatud ning need kohad on ka pingekontsentraatorid. Kõige rohkem deformatsiooni aga tunnetab pealmine plaat keskelt. Pikaajaliselt sellist ladustamis meetodit ei ole soovituslik kasutada. Aga transpordi mõttes valitud 20 kg jaoks seatud eesmärgiga saab kohver hakkama.

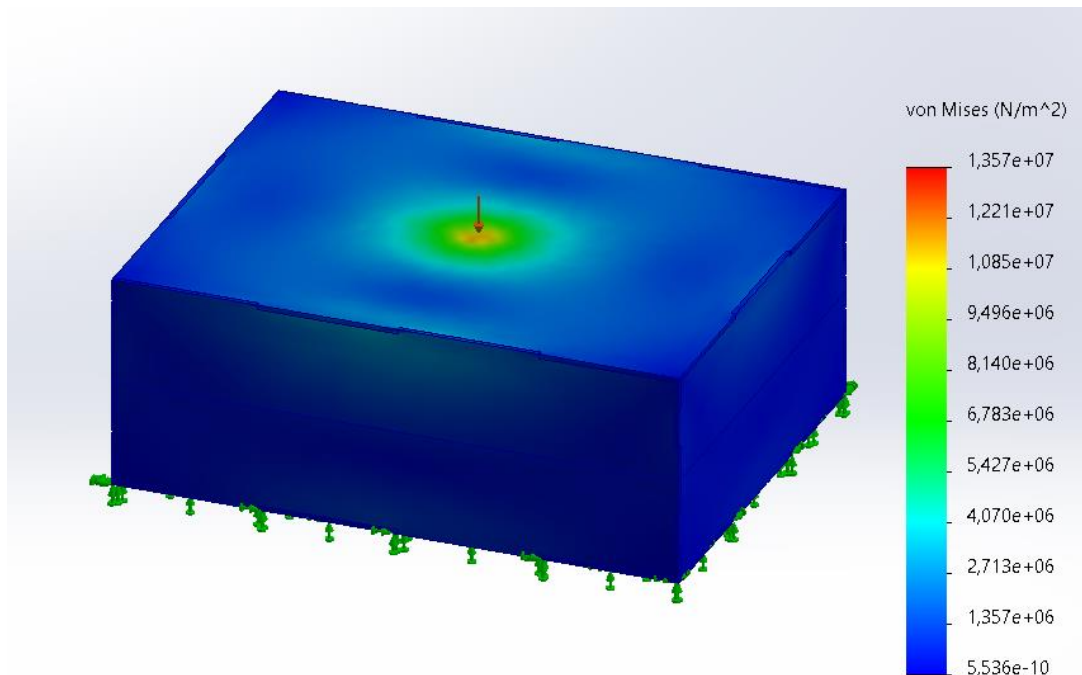


Joonis 3.15 Stress pindkoormusele



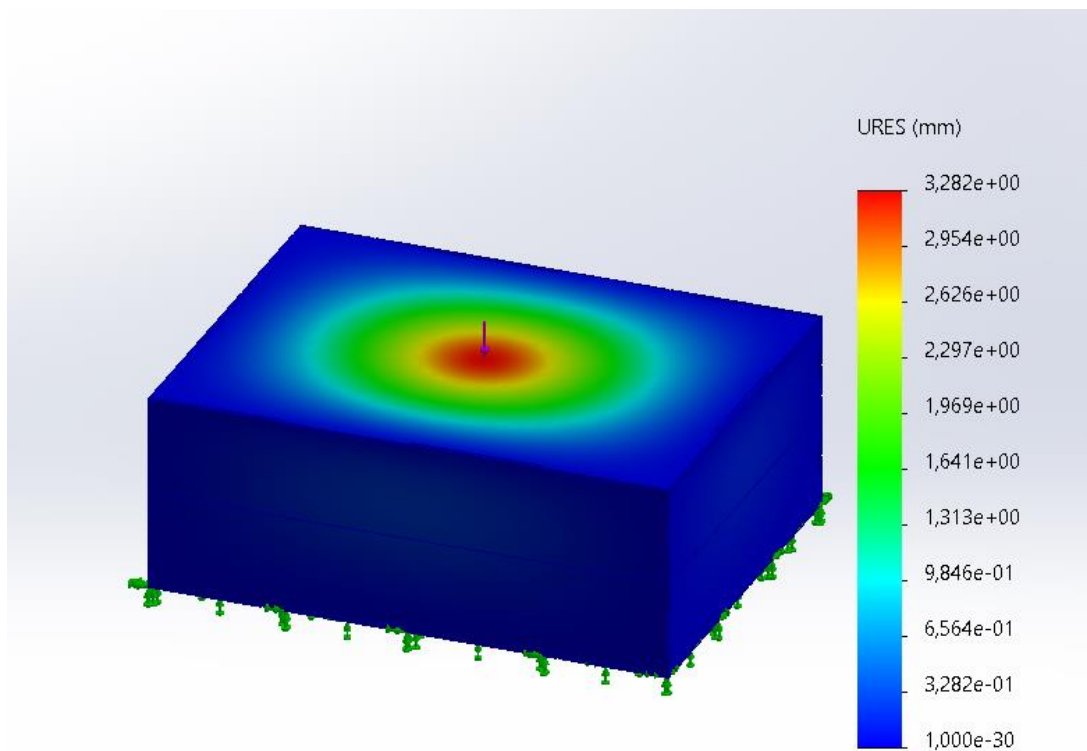
Joonis 3.16 Deformatsioon pindkoormusele

Kui kohvrile asetatakse raskus otse keskele (Vt. Joonis 3.17), siis on tema läbipaine suurem kui 100kg pindlaotusega. Kohver peab saama hakkama staatilise 30kg punktkoormusega. Nii pinged, kui läbipaine (Vt. Joonis 3.18) ei lähe piisavalt suureks, et tekitada probleeme. Probleemid hakkab esinema siis kui seda raskust veel tõsta või kui see raskus on liikuv. Selletõttu jääb 20kg piirangu peale.



Joonis 3.17 Stress punktkoormusel

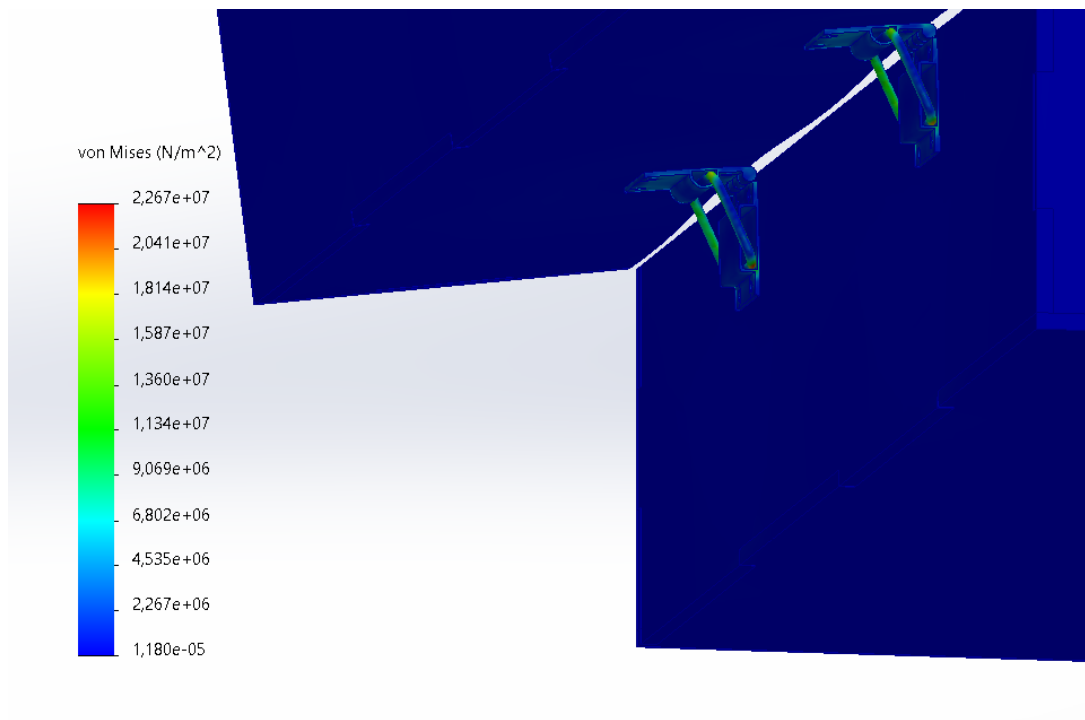




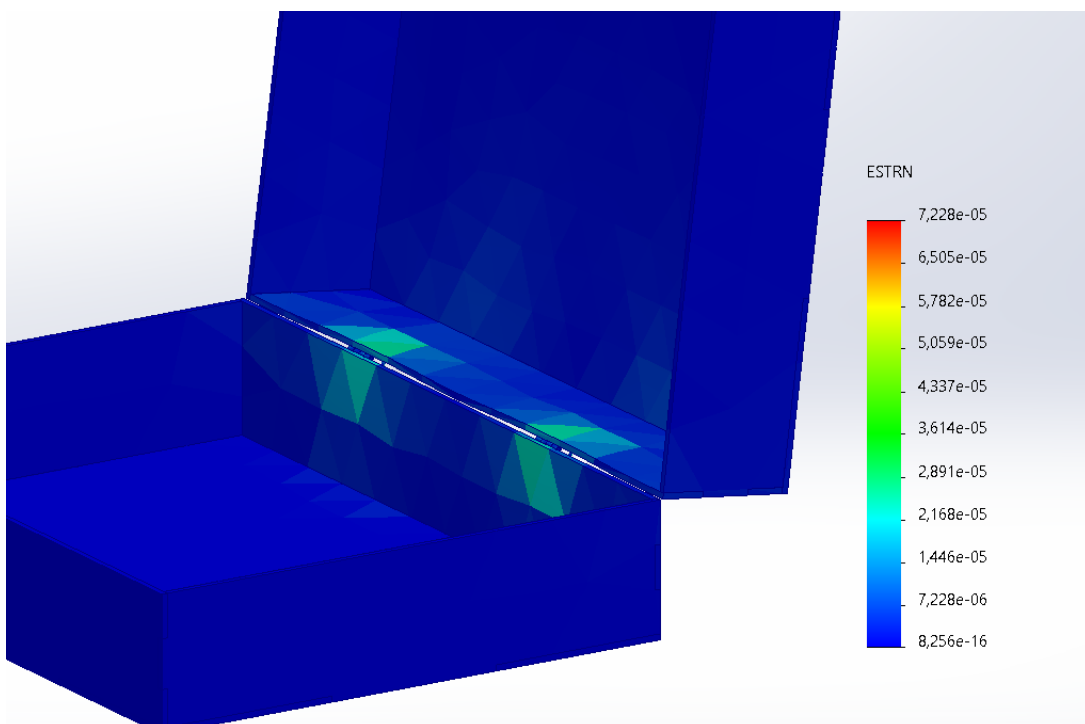
Joonis 3.18 Deformatsioon punktkoormusel

### 3.4.1 Hingede arvutused

Veel üheks murekohaks olid hingede kinnitused. Sai tehtud kontrollarvutus, et näha hingede vastupidavust (Vt. Joonis 3.19 ja Joonis 3.20). Kui ainult vineeri külge kinnitati hinged, siis oli näha üleliigsed painet. Selleks et vähendada veel tagumise seina painet sai lisatud terasest latt. Arvutus sai tehtud kui lamp ja ekraan on kinnitatud lisa tagumisele seinale ehk lisaks kohvri enda kaalule oli veel juures lisaks 6kg raskust.

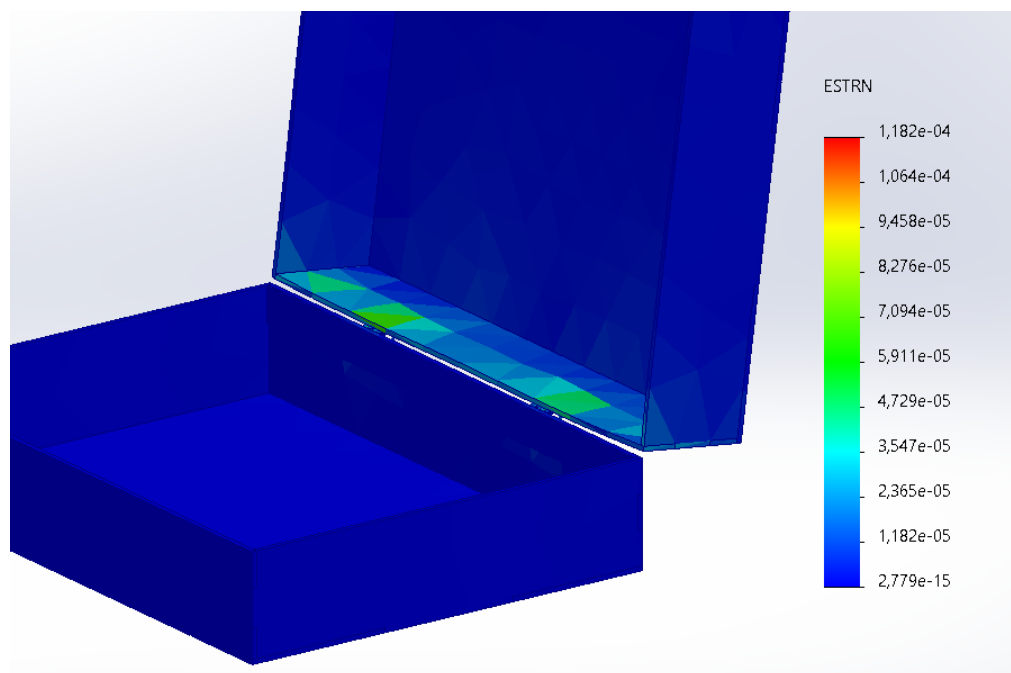


Joonis 3.19 Stress hingedel



Joonis 3.20 Pinge hingedel

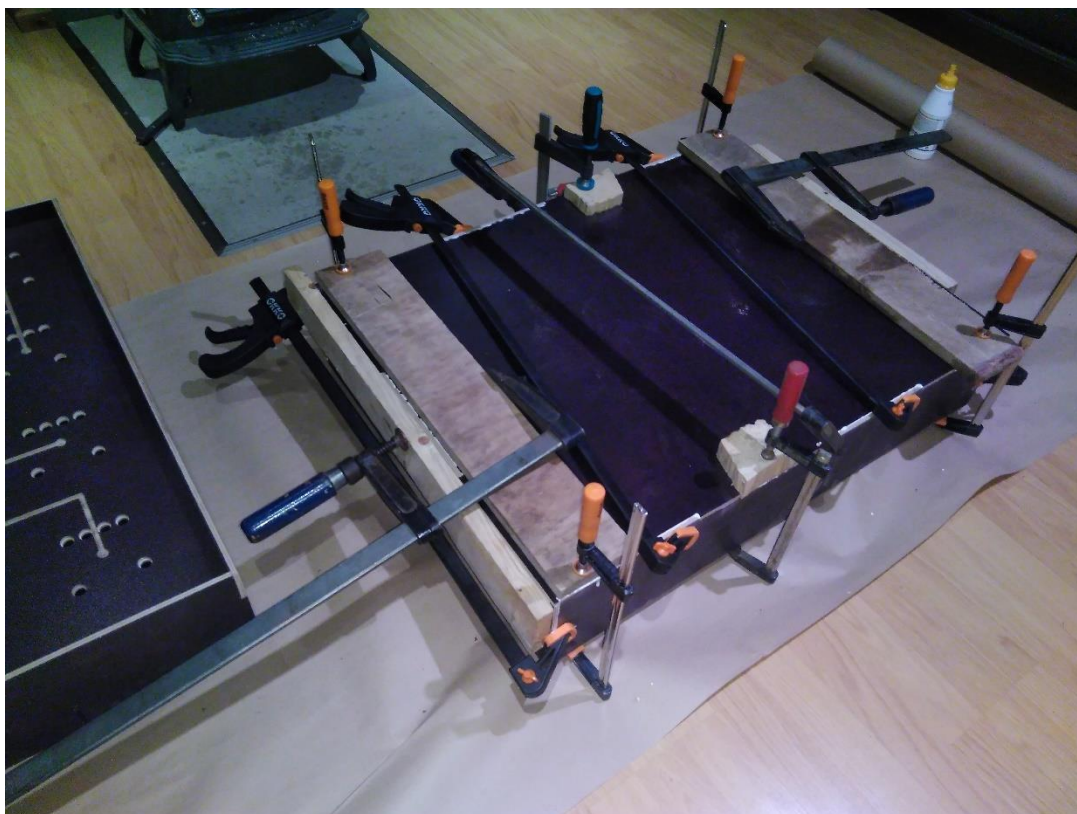
Lati lisamisel vähenes kohvri tagumise seina läbipaine märgatavalt (Vt. Joonis 3.21). Kuigi arvutuste kohaselt ei ole tugevduslatt vajalik, siis otsustati ikka latt lisada. Et vähendada võimalust, et poldid murduvad läbi vineeri. Sama põhimõtte pärast lisati ka ette tugiliist.



Joonis 3.21 Pinge lisa tugedegaga

### 3.5 Valmistamine

Kohvri valmistamiseks sai küljed, põhjaplaadid ning mooduliplaadi freesitud. Kui kohvri küljeplaate projekteeriti tehti nad ebasümmeetriliselt ning selletõttu tekkis probleem, kui komponentide väljafreesimisel kasutati detailide kinnitamiseks veekindla vineeri siledat poolt. Pärast töötlust jäid kohvril välja poole krobelsed seinad ja vajasis lisatöötlust. Kõik välimised seinad lihviti üle, et need saaks hiljem katta kilega. Vineerist seinaplaadid liimiti omavahel kokku (Vt. Joonis 3.22). Kohapeal oli vaja kohvri tagumisse külge lõigati volupistikku ning HDMI pesa. Lisaks oli vaja puurida ka hingede, lukkude, käepidemete ja tugiliistude jaoks kruvi avad.



Joonis 3.22 Kohvri liimimine

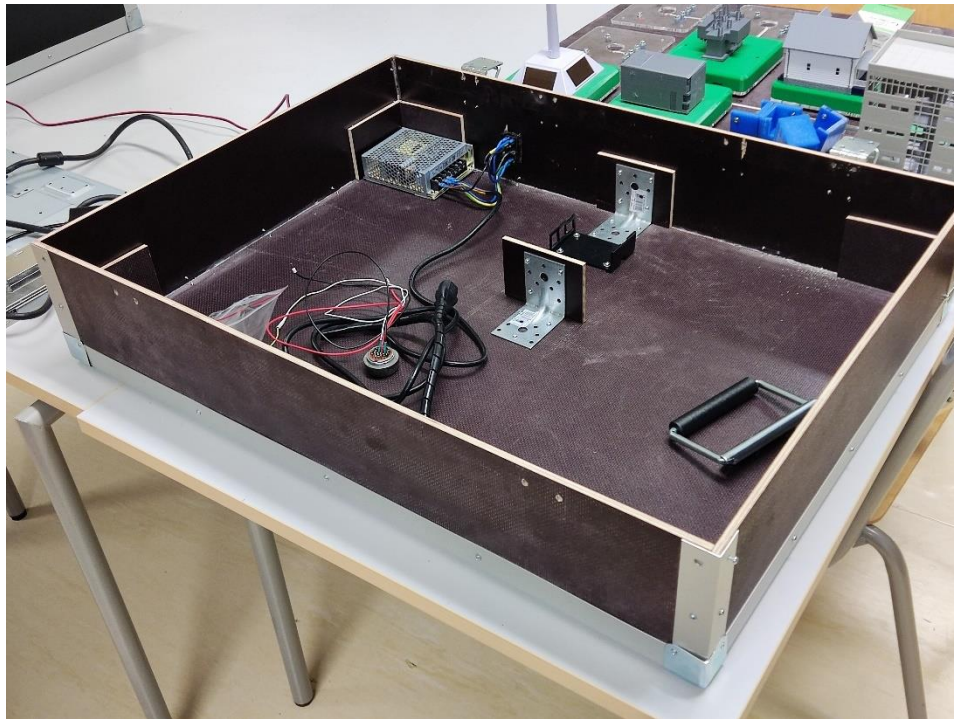
Kohvri välisnurkade jaoks kasutati alumiiniumist liiste. 2m pikkused liistud lõigati Tallinna Tehnikaülikooli Mehaanika ja Tööstustehnika Instituudi laboris ketassaega õigesse pikkusesse. Seejärel puuriti liistude sisse kruviaugud, ning liistud kinnitati kohvriseinte külge. Liistude peale sai kinnitatud terasest nurgikud. Tagumise ja eesmise seina tugevdamiseks lisati terasest latid.

Kohvri seinte jaoks ostetud vineeri plaat oli piisavalt suur, et pärast töötlust jäi sellest palju materjali üle ning otsustati ülejäänud materjali kasutada ära, lahendusena, et reguleerida mooduliplaadi kõrgust. Selleks lõigati 11 ühekõrgusega liistu, mis kinnitati kruvidega kohvri siseseinte külge. Keskmiste tugiliistude toestamiseks kasutati terasest vinklit.

Moodulite ja teiste detailide kinnitamiseks oli vaja spetsiaalseid juppe, mis sai 3D printitud. Nendeks komponentideks oli ekraani kinnitused, mooduli põhjaplaadid päikesepaneelide mudel, generaatori mudel, alajaama mudel, toiteallika ja peaarvuti kinnitid. 3D printimine toimus Mikrovõrkude ja Metroloogia laboris.

Ekraani kinnitamiseks seinakülge oli vaja ekraanilt eemaldada selle korpus, nii et jäi alles ainult ekraani ja ühenduse osa. Ekraan kinnitati kohvri tagumise seinakülge kasutades eelnevalt mainitud 3D printitud klambreid.

Joonis 3.23 on näha kohvri alumise poole seisundit, pärast kokku monteerimist ja üle lihvimist. Kohvri kokkupanemise käigus tekkisid nii sise- kui välispindadele mõned iluvead, mis olid vaja ära eemaldada.



Joonis 3.23 Kohvri põhi



Joonis 3.24 Kohver moodulplaadiga

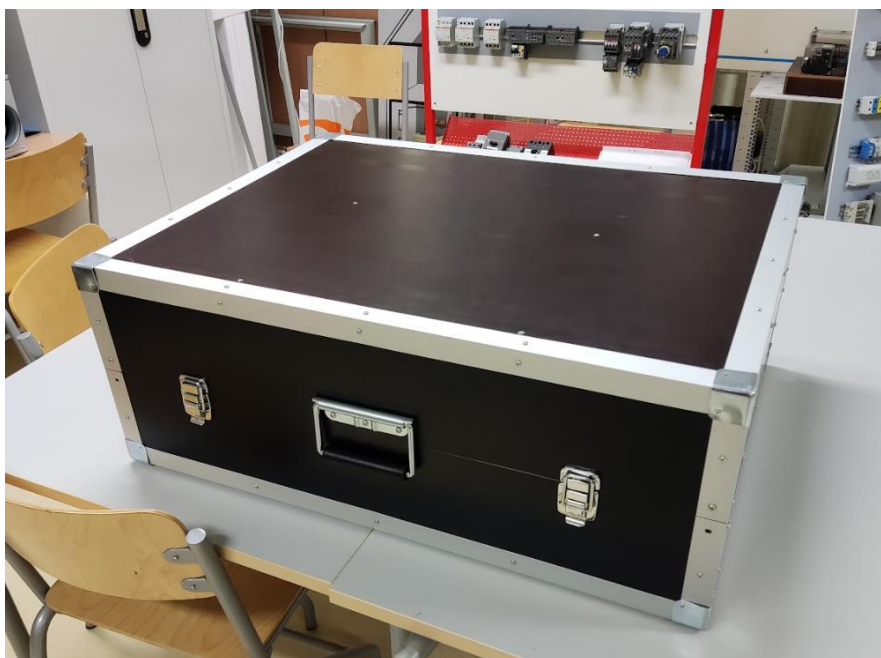
### 3.6 Disain/esteetika

Kohvri parema esteetilise välimuse saavutamiseks otsustati värvida üle seinte terasest tugiliistud, mis olid ajaga jõudnud oksüdeeruda. Lisaks liistude värvimisele, lihviti maha kohvrivälisseinte krobeldised pinnad ning kohvri sise- ja välisseintele pandi peale must kile. Kohvri alumine sisemine põhi jäi kiletamata, sest seda inimesed tavaolukorras ei näe. Samuti jäid kiletamata välimised põhjad, sest need on veekindla vineeri siledapoolsed pinnad.

Kui vaadata Joonis 3.26, siis on näha suurt erinevust enne ja pärast kohvri seinte kiletamist. Kiletatud osa peal ei ole näha töötlemise jälgi, mis iganes plekid peaksid sinna peale ka tekkima, on võimalik ära puhastada, võrreldes ilma kiletamata pinnaga, kus on näha erinevaid plekke. Lõppviimistlusega tehtud kohver on nähtav Joonis 3.26 ja Joonis 3.27, eest ja tagant vaates vastavalt.



Joonis 3.25 Kohvri välisseinad enne ja pärast kiletamist



Joonis 3.26 Kinnine kohver eest



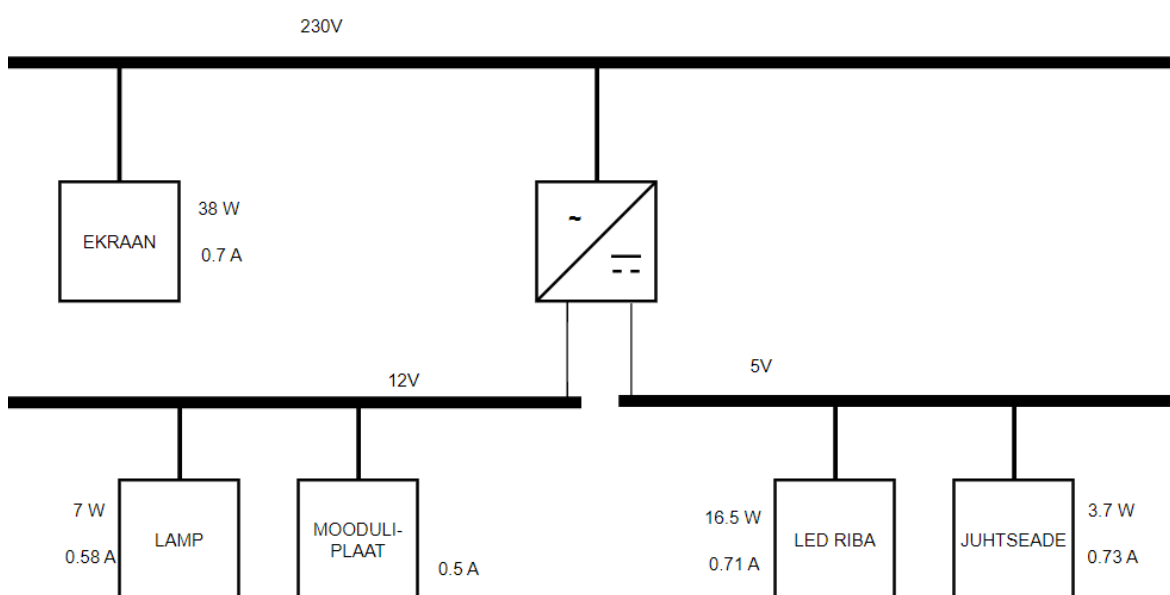
Joonis 3.27 Kinnine kohver tagant



## 4 Mikrovõrgu maketi elektriline osa

Järgnevas peatükis vaatleme mikrovõrgu elektriskeemi, mille põhjal sai valitud maketi elektroonika peamised komponendid, millised need komponendid on ning miks need valiti.

Järgnevalt on välja toodud esialgne maketti lihtsustatud plokk skeem. Plokk skeemis on välja toodud ka kui palju iga esialgelt välja valitud komponent voolu tarbib.



Joonis 4.1 Elektriskeemi plokk skeem

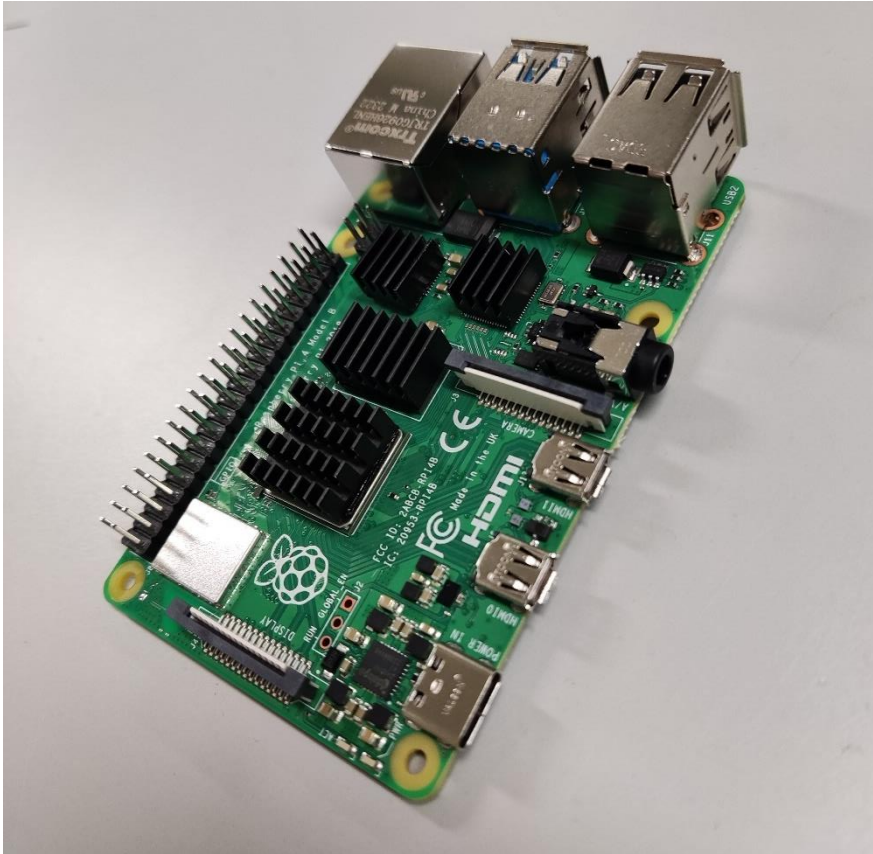
### 4.1 Komponentide valik

Järgnevas peatükis vaadeldakse millised on peamised elektroonika komponendid, mis said lõpplahenduse jaoks valitud ning mis olid nende valiku põhjused.

#### 4.1.1 Juhtseade

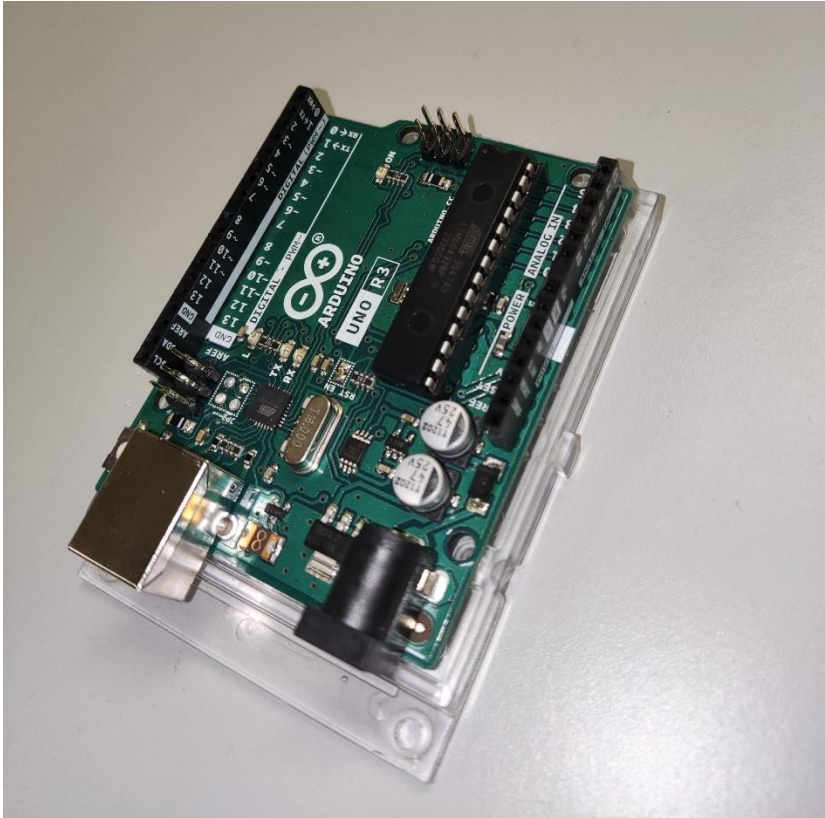
Juhtseadme vahel oli valikus Nvidia Jetson Nano, Raspberry Pi. Kuigi Jetson on võimekam ning suuteline tegema kiiret andmetöötlust, näiteks graafilistöötlumisega

rakendustel, siis selle projekti jaoks see vajalik ei olnud. Mikrovõrgu juhtivaks seadmeks sai valitud Raspberry Pi 4. Raspberry Pi 4 on veel lisaks odavam ja kättesaadavam, tarbib vähem energiat ning sellel on rikkalik dokumentatsioon, mis muudab selle kasutamise palju lihtsamaks.



Joonis 4.2 Raspberry Pi 4

Maketis oli veel lisaks vaja ka mikrokontrollereid igale moodulile, et jälgida ja modifitseerida iga mooduli tööd. Selleks sai valitud mikrokontroller ATmega328p-PU. Kuna tarvis on vähemalt 12 mikrokontrollerit, siis ATmega madal hind ja laialdane saadavus oli üks peamisi põhjuseid, miks ta valida. Lisaks selle lihtne kasutus ning lai tugi. Kõige rohkem on ATmega328p-PU kasutusel Arduino UNO-s(Vt. Joonis 4.3)



Joonis 4.3 ATmega 328p-PU Arduino UNO külge monteeritud

### 4.1.2 Toiteplokk

Kohvri konstruktsioon võtab toidet 230 V võrgust läbi toiteploki pistiku, mille sees on 800mA sulavkaitse, mis on dimensioneeritud 1,1 korda suuremaks kui maksimaalne volutarve (730 mA). Toiteplokk (66 W) on dimensioneeritud väikese varuga, võttes arvesse kõigi elementide maksimaalset volutarvet, kokku maksimaalselt 36W.

### 4.1.3 Juhtmete arvutused

Arvutame välja, mis läbimõõdus juhtmeid me peame kasutama. Selleks kasutame Ohm-i seadust ja Pouillet-i seadust ning leiame läbi nende oma juhtme ristlõike pindala.

$$V = IR, \text{ Ohm-i seadus}$$

$$R = \rho \frac{L}{A} - \text{Pouillet-i seadus}$$

A – Juhtme ristlõike pindala – m<sup>2</sup>

I – Vool – A

L – Juhtme pikkus - m

R – Takistus -  $\Omega$

V – pingelang, allika ja juhtme kaugeima otsa vahel – V

$\rho$  – Materjali eritakistus –  $\Omega\text{m}$

Mis on vasel  $1,678 \cdot 10^{-8}$

d – juhtme diameeter

$$A = \frac{I \rho 2L}{V} \quad (4.1)$$

$$A = \frac{0,73 * 1,678 * 10^{-8} * 2 * 2600}{5 * 2 \%} = 0,324 \text{ mm}^2 \quad (4.2)$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4.3)$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{0,303}{\pi}} = 0,643 \text{ mm} \quad (4.4)$$

Juhtme soovituslik diameeter on 0,643 mm

#### 4.1.4 Kasutajaliides

Kasutajal on seadme juhtimiseks klaviatuur ja hiir ning informatsiooni maketi tööst näeb ta kohvri tagaseinal oleval ekraanil. Ekraan sai valitud olemasolevate vanade arvuti monitorite seast. Eesmärk oli taaskasutada võimalikult palju eelnevaid komponente. Monitori valiku peamisteks kriteeriumiteks olid ekraani paksus ja toitepinge. Teine ekraan, mis valikus oli, tarbis ebastandardtse koguse voolu.



Joonis 4.4 Kasutajaliides

#### 4.1.5 Trükkplaadid

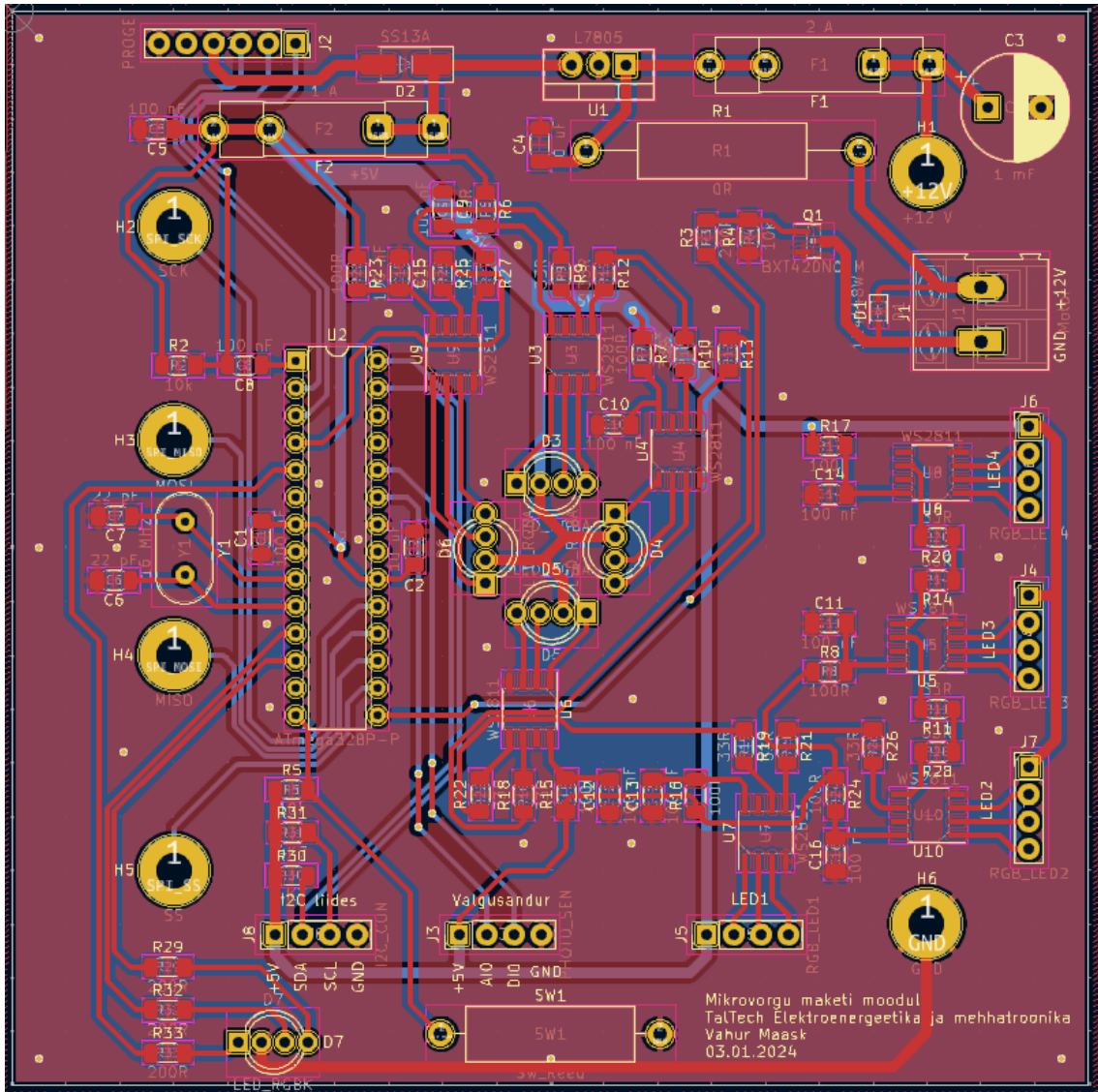
Madalpingeahel koosneb ühest juhtkontrollerist, mis juhib 12 identset isearendatud trükkplaati. Iga trükkplaat juhib kõiki oma mooduli komponente, sealhulgas andureid, mootoreid ja LED-valgustust. Trükkplaatide abil on võimalik moodulit kohandada erinevate rakenduste jaoks (Vt. Tabel 4.1 Moodulite komponentide erinevused). Iga trükkplaadi pealset mikrokontrollerit saab programmeerida vastavalt konkreetsetele vajadustele. Lisaks on trükkplaadil olemas ka I2C võimekus.

Tabel 4.1 Moodulite komponentide erinevused

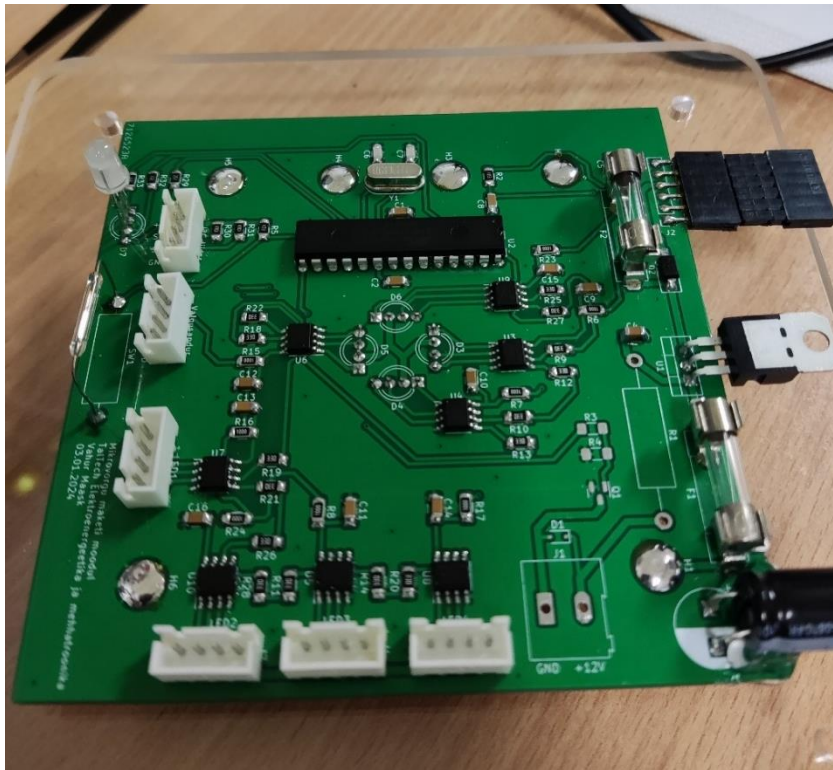
Nimetus	HERKON	Välised LED-d	Valgusandur	12V Juhitav väljund
Maja	1	4	1	0
Büroo	1	4	1	0
Generaator	0	2	0	1
Elektrituulik	0	0	0	1
Päikeseelektrijaam	0	0	1	0

Tabel 4.1 järg

Nimetus	Herkon	Välised LED-d	Valgusandur	12 Juhitav väljund
Alajaam	0	4	0	0
Aku	0	4	0	0

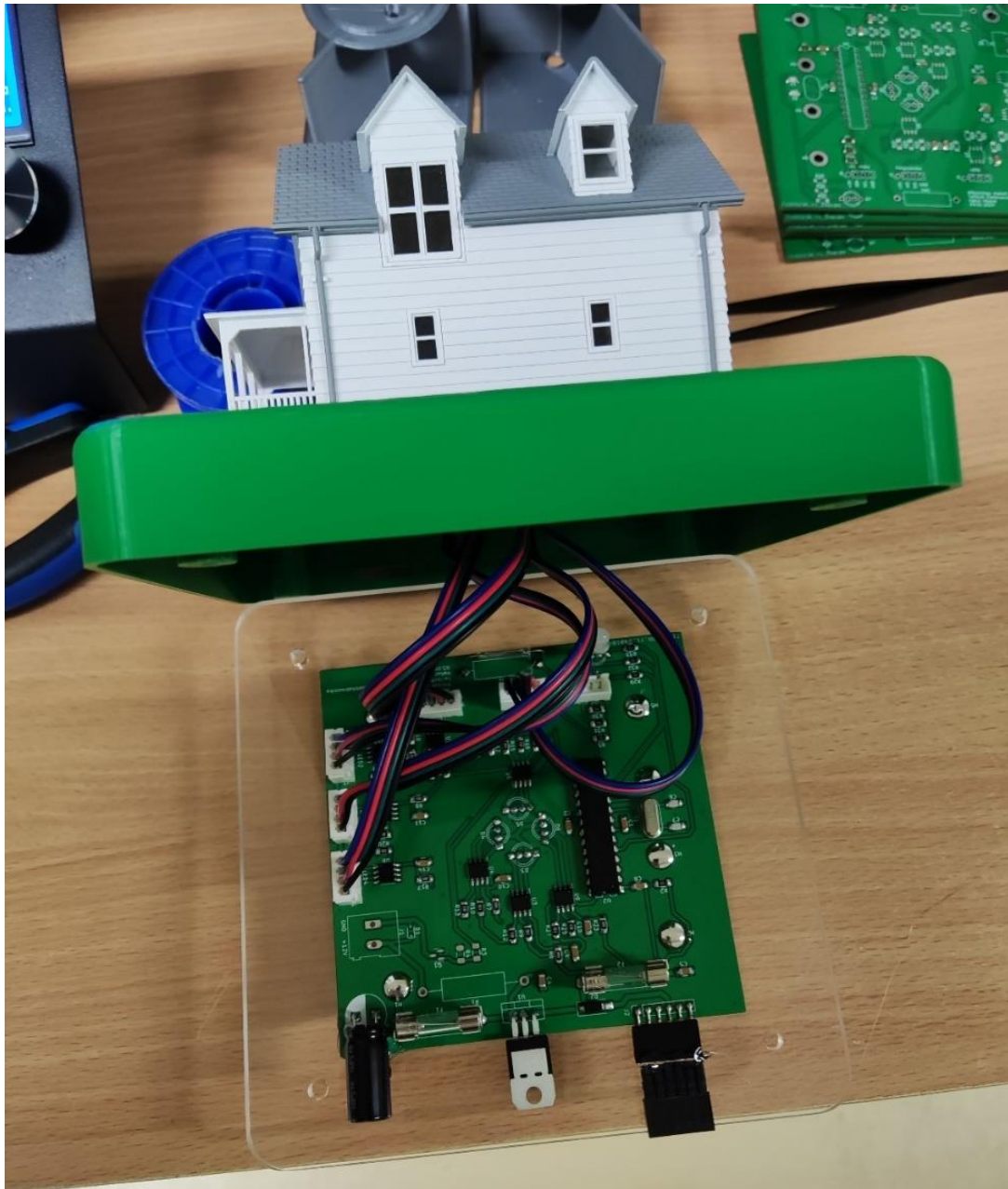


Joonis 4.5 Trükkplaadi joonis



Joonis 4.6 Valmis joodetud trükkplaat maja moodulile

Trükkplaate saab kohandada vastavalt moodulile jättes jootmata üleliigsed komponendid (vt. Tabel 4.1 Moodulite komponentide erinevused). Mooduli komplekteerimisel kinnitati isased banaan pistikud akrüülklaasist moodulialuse külge. Nende pistikute peale sobitati vastava mooduli trükkplaat ning trükkplaat joodeti pistikute külge. Seejärel ühendati trükkplaadi küljes olevatesse pistikutesse LED-de ning fototakistid, vastavalt sellele, mis mooduliga oli tegu. Seejärel võeti alusplaadi kate ning sellele fikseeriti mooduli kere ja selle lisatarvikud, näiteks majal ja büroohoone olid selleks LED torn. Enne alusplaadi kate kinnitamist alusplaadile, veeti juhtmed ja LED-d oma kohtadele. Seejärel kinnitati kate alusplaadiga, kasutades polte. Moodul oligi valmis moodulplaadi külge asetamiseks.



Joonis 4.7 Trükkplaat ühendatud maja mooduliga



## 5 Mikrovõrgu maketi tarkvara

Järgmine peatükk käib üle mikrovõrgu maketi juhtprogrammi eesmärgi, algoritmi, mille põhjal programm kirjutatud on, mis on selle funktsioonid ja kasutus.

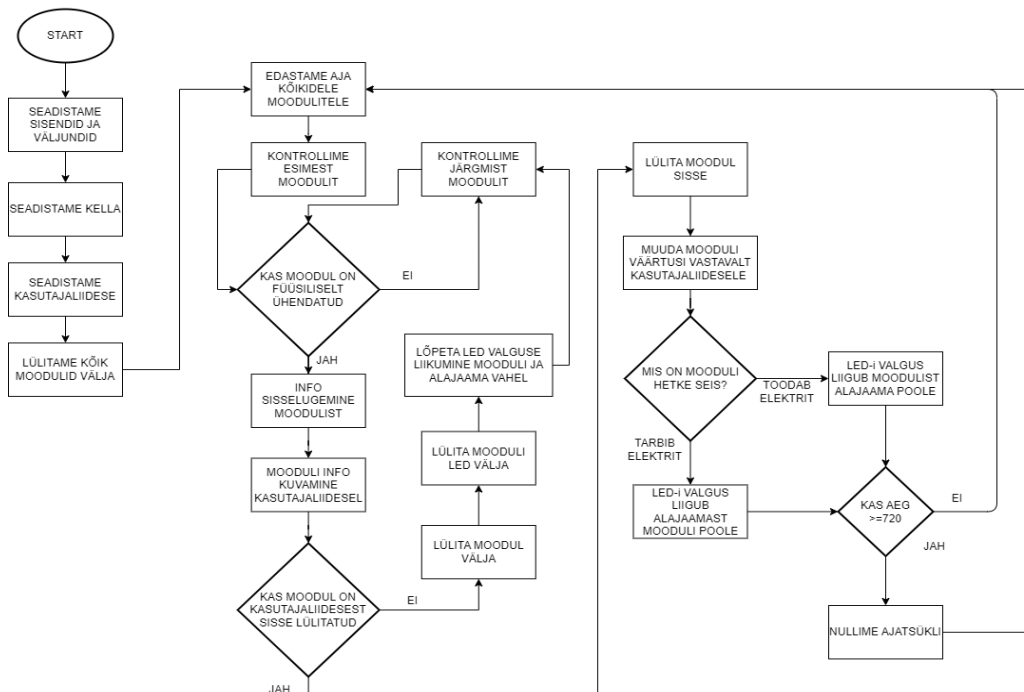
### 5.1 Programmi eesmärk

Programm peab olema suuteline lugema moodulite väljundeid ning arusaama, milline moodul on kuhu ühendatud moodulite vaheplaadil. Selleks on igal moodulil oma ID number, mida ta saadab juhtarvutile. Juhtarvuti võtab kõikidest moodulitest kogutud informatsiooni ning kuvab selle kasutajaliidesel. Programm mõõdab kui palju iga moodul voolu tarbib või toodab.

Kasutajal on võimalik ise moodulite väärtusi muuta, mooduleid sisse ja välja lülitada, suurendada tootlikust või tarbimist, et imiteerida erinevaid olusid. Selle info edastab siis juhtarvuti tagasi moodulitesse. Andmeside jaoks kasutatakse SPI-d. Programm on suuteline ka simuleerima ööpäeva, et näidata kuidas energia tarbimine erineb vastavalt tööpäevadele.

#### 5.1.1 Plokkskeem

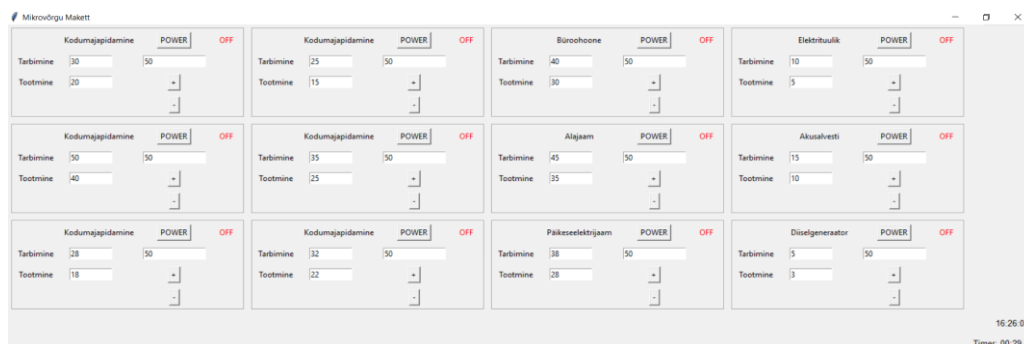
Esimene asjana programm teeb ära kõik programmi tööks vajalikud seadistused (Vt. Joonis 5.1). Pärast seadistust tehakse kindlaks, et kõik moodulid oleks välja lülitatud olekus ning taastatud algväärtustele ning ühildades kõikide moodulite ajatsükliid. Seejärel käib programm ükshaaval läbi kõik moodulid. Ta kontrollib kas moodulid on ühendatud ning kui on ühendatud, siis ta võtab vastu mooduli info. Peale info saamist, kontrollib programm, kes kasutaja on teinud kasutajaliideses mingeid muudatusi ja vastavalt sellele modifitseerib moodulite tööd. Kui moodul on kontrollitud, siis kontrollitakse ajatsükliid ning liigutakse edasi järgmise mooduli peale.



Joonis 5.1 Programmi plokkskeem.

## 5.1.2 Kasutajaliides

Kasutajaliides on tehtud 3x4 ruudustikus ning moodulite asetus ekraanil vastab sellele, kus need asetsevad maketi plaadil. Kasutajaliidesel on võimalik näha mooduli staatust, kas ta on sisse või välja lülitatud ning siis seda ise siis soovi korral sisse või välja lülitada. Kasutajaliides kuvab kui palju moodul hetkel toodab ja tarbib voolu. Kasutajal on võimalik ka muuta kui suure protsendilise võimsusega moodul töötab. See suurendab ainult tarbimist, moodulid mis ainult toodavad ei ole mõjutatud. Kasutajaliidesel on küljes ka taimer, et näidata mooduli simuleeritud ööpäeva tsükli kellaega.



Joonis 5.2 Kasutajaliides

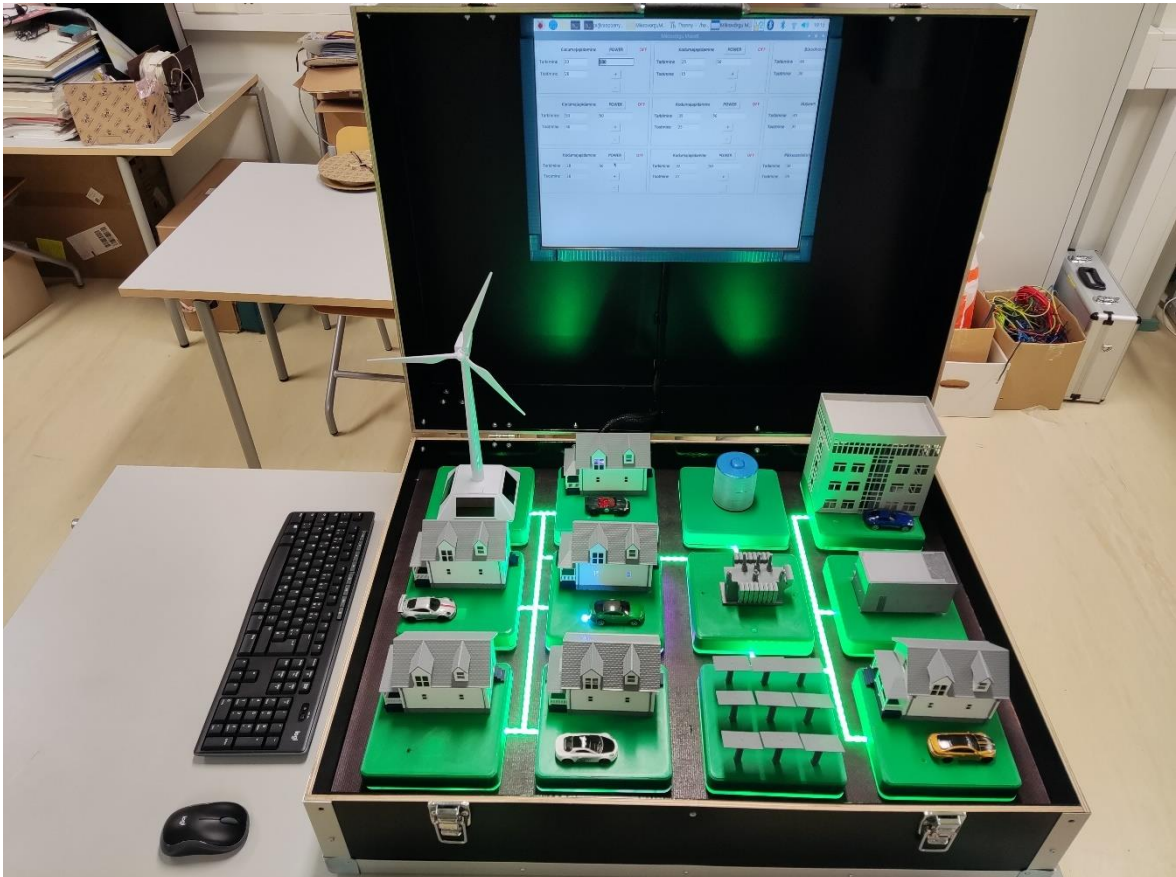
Testimise käigus prooviti erinevaid mooduli asetusi, et leida kuidas mõjutab moodulite asukoha muutmine moodulite tööd. Joonis 5.3 katsetatakse kuidas mõjutab maja mooduli asetus tema päikesepaneelide tööd. Katse toimub kohvri külge monteeritud kohtvalgusti ergastamise ja tuhmistamisega ning seejärel kontrollitakse, mis väärtuseid fototakisti saavutab. Sellise asetusega on võimalik näidata kuidas mõjutab päikese paneelide asetus ning valguse langev nurk päikese paneelide tootlikust.



Joonis 5.3 Tarkvara katsetamine

## 6 Mikrovõrgu maketi valmistamine

Järgnevas peatükis räägitakse tuuakse välja mikrovõrgu tükitabel ning arvutatakse toote omahind. Räägitakse valmistamise käigus tekkinud probleemidest. Ning Joonis 6.1 on näha täielikult komplekteeritud maketti, kus on kõik moodulid sisse lülitatud(hoiduti kõikide LED-de sisse lülitamisest, et ära hoida liigne eredus) ning kasutajaliides on ekraanil näha.



Joonis 6.1 Mikrovõrgu makett

### 6.1 Tükitabel ja omahinna arvutus

Tükitabel(Vt. Lisa 2) annab üksikasjaliku ülevaate osade ja koostude prototüübi ehitamise spetsiifilistest parameetritest. Et välja arvutada toote omahinda on tükitabeli lõpus ära toodud ka materjalide hinnad ja töökulud.

Tabel 6.1 Omahinna arvutus

Komponendi nimetus	Kogus	Ühiku maksumus (€)	Kogu maksumus (€)
<b>PEAKOOST</b>			
KOHVRIPÕHI	2	11,06	22,12
MAJA MOODUL	6	35,668	214,008
BÜROO MOODUL	1	34,798	34,798
AKU MOODUL	1	12,628	12,628
DIISELGENERAATOR MOODUL	1	12,628	12,628
ELEKTRITUULIK MOODUL	1	27,598	27,598
ALAJAAMA MOODUL	1	12,628	12,628
PÄIKESEELEKTRIJAAM MOODUL	1	12,628	12,628
EKRAAN ALAMKOOST	1	-	-
MOODULPLAAT	1	26,07	26,07
MATERJALID JA TÖÖ		271,92	271,92
		Kokku:	718,92

## 6.2 Probleemid

Projekti tegemise käigus avastati mitmeid vigu, mida oli algse projekteerimise faasis tehtud, millega pidi hiljemalt komplekteerimise aeg arvestama ja muudatusi tegema.

### 6.2.1 Kohver

Esimesi probleeme, mis komplekteerimisel tekkisid, esinesid siis kui kohvri küljeplaadid saadi freesimisest kätte. Veekindlavineeri siledat pinda oli kasutatud plaadi kinnitamiseks lõikamisseadmesse ning komponendid, mis olid ebasümmeetriliselt projekteeritud, ei sobinud enam kokku nii nagu esialgu plaanitud. Kohvri välised seinad jäid krobelsed ja ebaesteetilised. Välisseinad vajasis lisatöötlust. Veekindel vineer sai valitud lisa mõttega, et see ei vaja liigset viimistlemist. Kuid selleks et saavutada soovitud välimus otsustati panna seintele peale kilekiht. Selle probleemi oleks saanud lahendada, kui kõik kohvri jupid oleks tehtud täielikult sümmeetrilised.

Kohvri moodulplaadi kõrgusega tehti projekteerimisel vale arvestus ning see jäi esialgu liiga kõrgele, kui kohver oli suletud, tekkisid probleemid moodulite hoiustamisega, kõrgemad moodulid oli vastu kohvri ülemist pinda. Mooduli kõrgust reguleeritavad plaadid tuli lühemaks lõigata. Õnneks oli mooduliplaadi alla jäetud piisavalt varu ruumi, et madaldamine ei tekitanud probleeme. Mooduliplaadi liigutamise tõttu tekkis ekraani ja mooduliplaadi vahele rohkem ruumi ning sellega oli võimalik moodulid kohvri sisse paremini paigutada transpordi jaoks.

### **6.2.2 Lisafunktsioonid**

Maketti mudelis pidi olema lisaks kohtvalgustile, mis simuleerib päikest ka ventilaator, mis oleks pidanud tekitama tuult, et panna elektrituulik tööle. See lahendus jäi lisamata, kuna tellitud tuulikut ei olnud võimalik panna tuulega pöörlema. Selle asemel otsutati kasutada elektrimootorit, et tuulik pöörlema panna.

### **6.2.3 Moodulid**

Moodulaluse külge pistikute kinnitamisel ei kasutatud stopperseibe, vaid tavalisi seibe. Selletõttu pärast pidevat moodulite ära võtmist ning tagasi asetamist hakkasid banaani pistikud tasapisi liikuma. See tegi moodulite asetamise moodulplaadi peale ebamugavaks. Pikaajalisema kasutusega oleks probleem võinud ka eskaleeruda nii kaugele, et pistikud tulevad plaadi küljest täiesti lahti. Lahenduseks kasutada keermeliimi.

Elektriauto laadimiskoha näitamiseks plaaniti kasutada herkonlülitid. Kuid tekkis probleem lüliti ühenduse saamisega. Lüliti sai asetatud sihtkohast liiga kaugele ning magnet mis lülitust pidi tegema jäi esialgu liiga nõrgaks. Selle probleemi sai osaliselt lahendatud kasutades suuremas koguses magneteid, kuid seetõttu peaks kasutatav mudel auto olema ka suurem, et mahutada vajalikus koguses magneteid.

#### **6.2.4 Trükkplaat**

Trükkplaadi komponentide juures on mooduli 12 V toitepinge muundamiseks mikrokontrollerile sobivaks 5 V kasutusel lineaarne pingeregulaator L7805. Antud pingeregulaator soojeneb, sest pinge vähendamine teostatakse pingelanguga regulaatoril. Mistõttu osa energiast läheb soojusena kaotsi. Maksimaalsel koormusel, kus kõik LED-id on sisse lülitatud, on oht regulaatori ülekuumenemisele. Ülekuumenemise vältimiseks saab pingeregulaatori külge panna radiaatori. Parem lahendus on asendada lineaarne pingeregulaator pinget alandava laiusimpulss muunduriga.

#### **6.2.5 Lahenduse valmidus**

Oli soov ka kasutada mikrovõrgu maketti õppevahendina samal semestril, kui lõputöö kirjutati, kuid makett ei olnud sellel hetkel piisavalt töökorras, et seda saaks kasutada. Seetõttu jäi maketti kasutus inimeste peal katsetamata.

# KOKKUVÕTE

Mikrovõrgu õppemaketi arendamine algas olemasolevate lahenduste uurimisest. Kui selgus, et sobivat lahendust ei eksisteeri, võeti ülesanne ette ja hakati koostama õppemaketi kontseptsiooni, mis hõlmab kõiki vajalikke komponente: alates moodulitest ja lisatarvikutest kuni nende koostöö mehhanismini. Disaini aluseks valiti tavapärane seadmekohver. Disainiprotsessis jälgiti hoolikalt, mida iga moodul peab tegema ja kuidas need omavahel ühendatud on. Arvesse võeti ka konstruktsiooni energiatarvet ja koostati elektriskeem, mis tagab kõikide tarbijate vajaduste rahuldamise. Tarkvara loodi spetsiifiliste ülesannete täitmiseks, mis esialgse planeerimise käigus kindlaks määrati.

Tegemist on õppemaketi prototüübiga ning kui tulevikus tehakse täiendavat tooteraendust, siis on hea lisada juurde mõned algselt plaanitud funktsioonid, mis eemaldatakse, nende keerukuse või sobimatutesse tõttu antud lahenduse mastaabis.

Mikrovõrgu maketti kohvri mõõtmed on 800x600x300 mm, kohvri gabariitmõõdud kinnises asendis on 806x686x306 mm on kohver kaalub koos kõikide moodulitega ligikaudu 27 kg, ning kohvri omahinnaks on 720 €.

Projektile on tulevikus mitmeid edasiarendusvõimalusi. Üks peamisi suundi on tarkvara täiustamine. Praegune tarkvara ei saanud selle lõputöö jooksul piisavalt katsetamist. Täienduste kaudu saab peaprogrammile lisada uusi funktsioone, mis suurendavad maketi võimekust laiemateks katseteks ja mõõtmisteks. Kasutajaliides vajab samuti uuendamist, et anda kasutajale suurem kontroll maketi töö üle.

Tuleviku arenduses tuleks kindlasti lisada õppemaketile uusi moduleid ning täiustada olemasolevaid. Näiteks võiks maketile lisada seadme, mis tekitab tuult, et panna elektrituulik tuulega pöörlema.



## SUMMARY

The development of the microgrid educational model began with an investigation of existing solutions. Upon discovering that no suitable solution existed, the task was undertaken to create a concept for an educational model that encompasses all necessary components: from modules and accessories to their interaction mechanisms. A standard equipment case was chosen as the basis for the design. During the design process, careful attention was given to the functions of each module and their interconnections. Energy consumption of the structure was also considered, and an electrical schematic was created to meet the needs of all consumers. The software was developed to perform specific tasks identified during the initial planning phase.

This is a prototype of the educational model, and if further product development is undertaken in the future, it would be beneficial to include some initially planned features that were removed due to their complexity or unsuitability for the current scale of the solution.

The dimensions of the microgrid model case are 800x600x300 mm, with overall dimensions of the closed case being 806x686x306 mm. The case, including all modules, weighs approximately 27 kg, and the production cost of the case is 720 €.

The project has several potential avenues for future development. One of the main directions is the enhancement of the software. The current software did not receive sufficient testing during this thesis. Through improvements, new functions can be added to the main program, increasing the model's capability for broader experiments and measurements. The user interface also needs updating to provide the user with greater control over the model's operation.

Future development should certainly include adding new modules to the educational model and enhancing the existing ones. For example, a device that generates wind could be added to the model to make a wind turbine rotate with the wind.

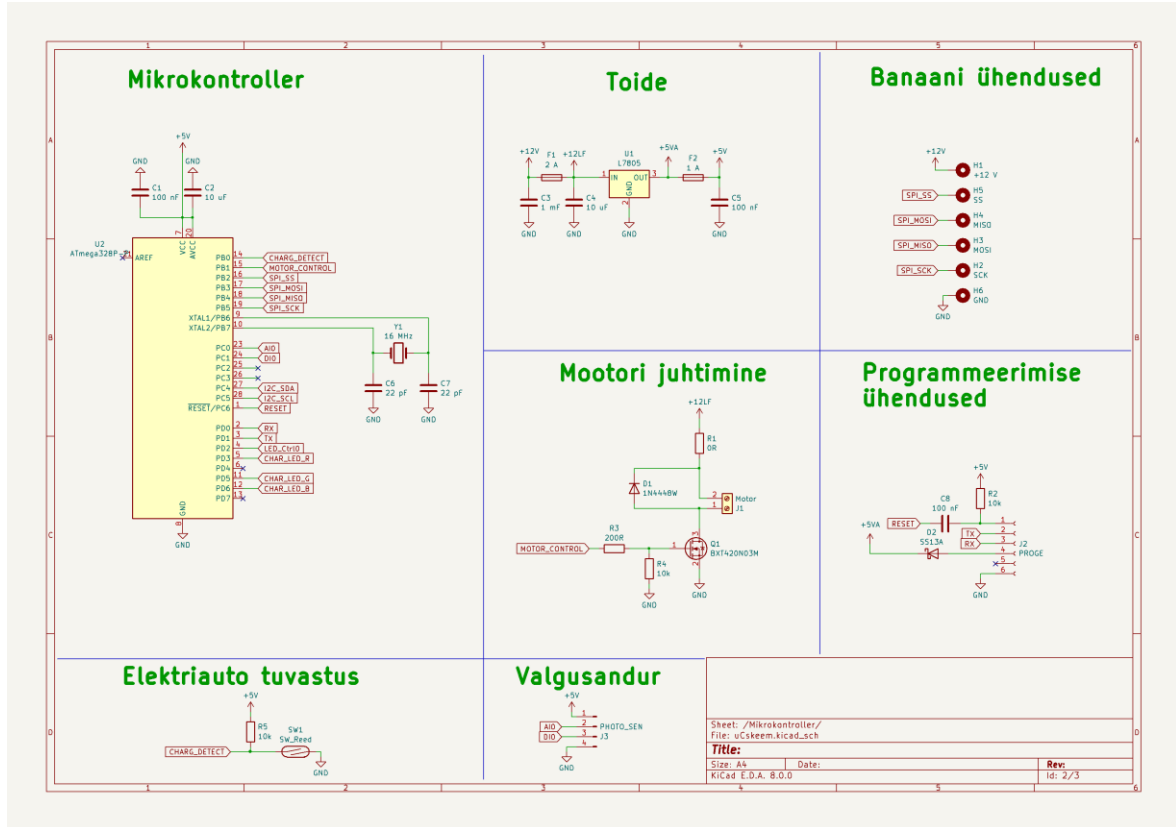
## 7 KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] V. Maask, „Mikrovõrgu makett“, 2023.
- [2] S. Mallikarjunaswamy, N. Sharmila, D. Maheshkumar, M. Komala, ja nbsp H. N. Mahendra, „Implementation of an effective hybrid model for islanded microgrid energy management“, *Indian J Sci Technol*, kd 13, nr 27, lk 2733–2746, juuli 2020, doi: 10.17485/IJST/V13I27.982.
- [3] „Power Grid Kit“. Vaadatud: 6. oktoober 2023. [Online]. Available at: <https://www.powergridkit.com/>
- [4] „Electrical substation - Energy Education“. Vaadatud: 21. märts 2024. [Online]. Available at: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrical\\_substation](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrical_substation)
- [5] „Fundamentals of Wind Turbines | Wind Systems Magazine“. Vaadatud: 27. märts 2024. [Online]. Available at: <https://www.windsystemsmag.com/fundamentals-of-wind-turbines/>
- [6] „Commercial 50 Hz Diesel Generators | Shop Industrial & Commercial 50 Hz Diesel Generators - Americas Generators“. Vaadatud: 1. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://americasgenerators.com/50-hz-diesel-generators/>
- [7] „Energy Storage System (ESS) - E.C.A.I.CO“. Vaadatud: 1. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.ecaico.com/2023/12/Energy-Storage-System.html>
- [8] „Päikeseelektrijaamad - E-Service AS“. Vaadatud: 30. märts 2024. [Online]. Available at: <https://eservice.ee/paikeseelektrijaamad/>
- [9] „Liimpuitplaadid - Javicar.ee“. Vaadatud: 15. november 2023. [Online]. Available at: <https://javicar.ee/liimpuitplaadid/>
- [10] „OSB plaadid | Erinevad mõõdud - Puumarket“. Vaadatud: 15. november 2023. [Online]. Available at: <https://puumarket.ee/tootekategooria/ehitusmaterjalid/ehitusplaadid/osb-plaadid/>
- [11] „Vineer plaadid - Depo“. Vaadatud: 15. november 2023. [Online]. Available at: <https://online.depo.ee/product/807>
- [12] „Alumiinium“. Vaadatud: 15. november 2023. [Online]. Available at: <https://proplastik.ee/alumiinium.html>
- [13] D. W. Green, J. E. Winandy, ja D. E. Kretschmann, „Mechanical Properties of Wood“.
- [14] „Plywood“. Vaadatud: 15. november 2023. [Online]. Available at: [https://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=bd6620450973496ea2578c283e9fb807](https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=bd6620450973496ea2578c283e9fb807)
- [15] A. Harte, „Introduction to timber as an engineering material“, doi: 10.1680/mocm.00000.0001.

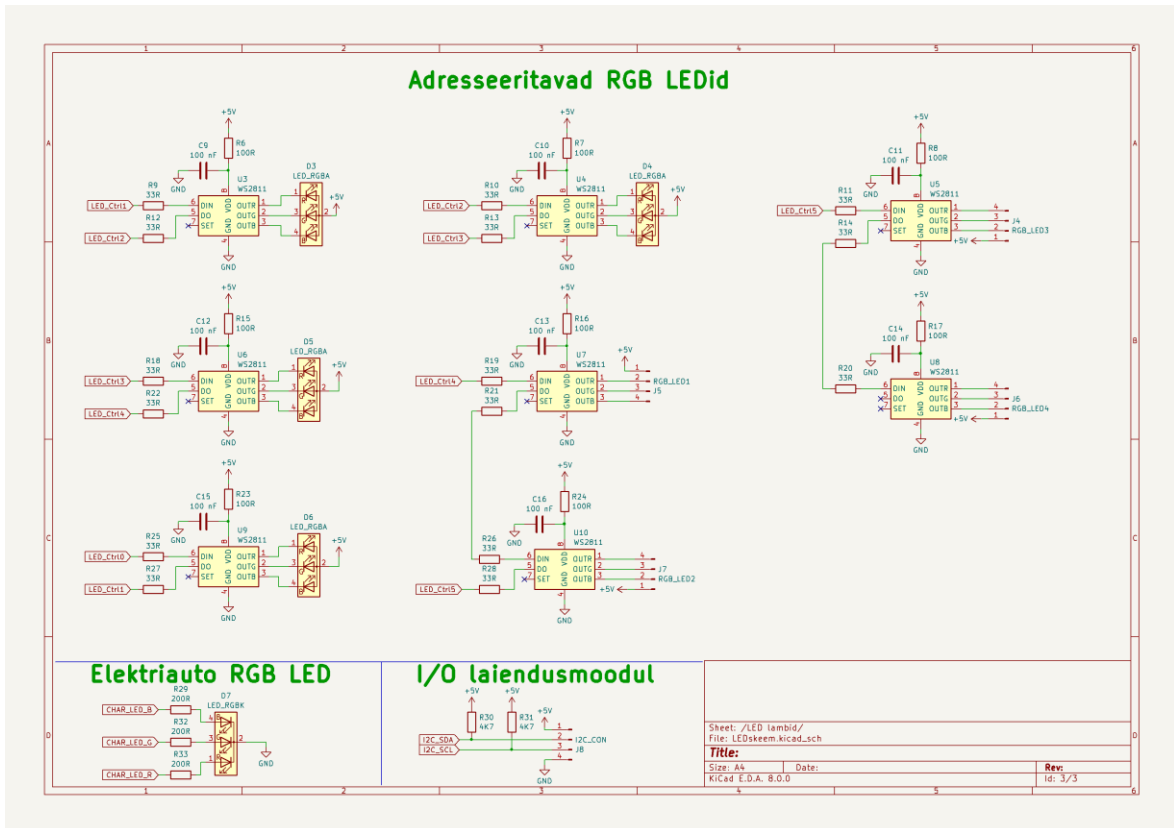
**LISAD**

# LISA 1 Elektroonikaskeem

## L1.1



# L1.2



## LISA 2 Tükital

### L2.1

Tabel L2.1 Tükital

Komponendi nimetus	Kogus	Ühiku maksumus (€)	Kogu maksumus (€)	Kirjeldus
<b>PEAKOOST</b>				
KOHVRIPÕHI	2	11,06	22,12	
MAJA MOODUL	6	35,668	214,008	
BÜROO MOODUL	1	34,798	34,798	
AKU MOODUL	1	12,628	12,628	
DIISELGENERAATOR MOODUL	1	12,628	12,628	
ELEKTRITUULIK MOODUL	1	27,598	27,598	
ALAJAAMA MOODUL	1	12,628	12,628	
PÄIKESEELEKTRIIJAAM MOODUL	1	12,628	12,628	
EKRAAN ALAMKOOST	1	-	-	
MOODULPLAAT	1	26,07	26,07	
MATERJALID JA TÖÖ		271,92	271,92	
<b>KOHVRI PÕHI</b>				
PÕHJAPLAAT	1		11,06	
KÜLJESEIN PIKEM	2			VEEKINDEL VINEER
KÜLJESEIN LÜHEM	2			VEEKINDEL VINEER
NURGALIIST PIKK	2	9,67	(Meetri hinna järgi teha)	L 30x30x2.0 mm
NURGALIIST LÜHIKE	2			L 30x30x2.0 mm
NURGALIIST VERTIKAALNE	4			L 30x30x2.0 mm
NURGIK	4	1,39		4000 Corner Zinc Plated
<b>MAJA MOODUL</b>				
MAJA MUDEL	1	22,79	22,79	JZHO01 WHITE
MOODULIALUS	1	-	-	AKRÜÜLKLAASIST LÕIGATUD
TRÜKKPLAAT	1	10,168	10,168	
ALUSPLAADI KATE MAJA	1	-	-	3D PRINDITUD
LED HOIDIK MAJA	1	-	-	3D PRINDITUD
PÄIKESEPANEEL	1	-	-	3D PRINDITUD
FOTOTAKISTI	1	-	-	
HERKON LÜLITI	1	0,054	0,054	MKA-14103
MAGNET	1	0,196	0,196	20x10x2 mm
BANAANI PISTIK(M)	6	0,41	2,46	4 mm isane paneelile
MUDEL AUTO	1			

## L2.2

Tabel L2.1 järg

Komponendi nimetus	Kogus	Ühiku maksumus (€)	Kogu maksumus (€)	Kirjeldus
<b>BÜROO MOODUL</b>			34,798	
BÜROO MUDEL	1	21,92	21,92	A1:87 HOONE
MUDELIALUS	1	-	-	AKRÜÜLKLAASIST LÕIGATUD
TRÜKKPLAAT	1	10,168	10,168	
ALUSPLAADI KATE BÜROO	1	-	-	3D PRINDITUD
LED HOIDIK BÜROO	1	-	-	3D PRINDITUD
PÄIKESEPANEEL	1	-	-	3D PRINDITUD
FOTOTAKISTI	1	-	-	
HERKON LÜLITI	1	0,054	0,054	MKA-14103
MAGNET	1	0,196	0,196	20x10x2 mm
BANAANI PISTIK(M)	6	0,41	2,346	4 mm isane paneelile
MUDEL AUTO	1	-	-	
<b>AKU MOODUL</b>			12,628	
AKU KETAS	9	-	-	AKRÜÜLKLAASIST LÕIGATUD
AKU VAHEKETAS	3	-	-	3D PRINDITUD
AKU ÜLEMINE KETAS	1	-	-	3D PRINDITUD
MUDELIALUS	1	-	-	AKRÜÜLKLAASIST LÕIGATUD
TRÜKKPLAAT	1	10,168	10,168	
ALUSPLAADI KATE AKU	1	-	-	3D PRINDITUD
BANAANI PISTIK(M)	6	0,41	2,46	4 mm isane paneelile
<b>DIISELGENERAATOR MOODUL</b>			12,628	
GENERAATOR KERE	1	-	-	3D PRINDITUD
GENERAATOR KAAS	1	-	-	3D PRINDITUD
GENERAATOR MOOTOR	1	-	-	5V DC MOTOR
GENERAATOR KINNITUS	1	-	-	3D PRINDITUD
GENERAATOR TIIVIK	1	-	-	3D PRINDITUD
MUDELIALUS	1	-	-	AKRÜÜLKLAASIST LÕIGATUD
TRÜKKPLAAT	1	10,168	10,168	
ALUSPLAADI KATE GENERAATOR	1	-	-	3D PRINDITUD
BANAANI PISTIK(M)	6	0,41	2,46	4 mm isane paneelile
<b>ELEKTRITUULIK MOODUL</b>			27,598	
TUULIK MAST	1	14,97	14,97	TYPE 1 TUULIK MAST
TUULIK PROPELLER	1			TYPE 1 TUULIK PROPELLER
TUULIK PÕHI	1			TYPE 1 TUULIK ALUS
MUDELIALUS	1	-	-	AKRÜÜLKLAASIST LÕIGATUD
TRÜKKPLAAT	1	10,168	10,168	
ALUSPLAADI KATE TUULIK	1	-	-	3D PRINDITUD
BANAANI PISTIK(M)	6	0,41	2,46	4 mm isane paneelile
<b>ALAJAAMA MOODUL</b>			12,628	
ALAJAAM	1	-	-	
MUDELIALUS	1	-	-	
TRÜKKPLAAT	1	10,168	10,168	
ALUSPLAADI KATE TRAFU	1	-	-	3D PRINDITUD
BANAANI PISTIK(M)	6	0,41	2,46	4 mm isane paneelile

## L2.3

Tabel L2.1 järg

Komponendi nimetus	Kogus	Ühiku maksumus (€)	Kogu maksumus (€)	Kirjeldus
<b>PÄIKESEELEKTRIJAAM MOODUL</b>		-	12,628	
PÜSTI PÄIKESEPANEEL	9	-	-	3D PRINDITUD
MUDELIALUS	1	-	-	AKRÜÜLKLAASIST LÕIGATUD
TRÜKKPLAAT	1	10,168	10,168	
Komponendi nimetus	Kogus	Ühiku maksumus (€)	Kogu maksumus (€)	Kirjeldus
ALUSPLAADI KATE PÄIKE	1	-	-	3D PRINDITUD
FOTOTAKISTI	1	-	-	
BANAANI PISTIK(M)	6	0,41	2,46	4mm isane paneelile
<b>EKRAAN ALAMKOOST</b>		-	-	
SAMSUNG 940B	1	-	-	SAMSUNG 940B MONITOR
EKRAANIHOIDJA NURK	4	-	-	3D PRINDITUD
EKRAANIHOIDJA ALUMINE	1	-	-	3D PRINDITUD
EKRAANIHOIDJA KÜLG	2	-	-	3D PRINDITUD
EKRAANIHOIDJA ÜLEMINE	1	-	-	3D PRINDITUD
<b>MOODULPLAAT</b>		-	26,07	
MOODULPLAAT	1	-	-	VINEERIST LÕIGATUD
BANAANI PISTIK(F)	72	-	-	
ADRESSEERITAV RGB LED RIBA	1	26,07	26,07	WS2812B 100 led/m, 5 mm
<b>TRÜKKPLAAT</b>			10,168	
MIKROKONTROLLER	1	3,18	3,18	ATMega 328P PU
TRÜKKPLAAT	1	0,89	0,89	W202401032240745
4 PIN PESA(F)	6	0,03	0,18	A2501; 2.5 mm; 250 V
4K7 TAKISTI	2	0,035	0,07	4.7kΩ; 250 mW; ±1%
10K TAKISTI	3	0,03	0,09	10kΩ; 250 mW; ±5%
33R TAKISTI	15	0,02	0,3	33Ω; 3 W; ±5%;
100R TAKISTI	8	0,01	0,08	100 Ω; 250 mW; ±1%
200R TAKISTI	6	0,16	0,96	200 Ω; 0.25 W; ±5%
RGB LED	8	0,052	0,42	RGB LED, FOG
LED KONTROLLER	8	0,095	0,76	WS2811 SOP8
KVARTS	1	0,34	0,34	16 MHz; ±30 ppm; 20 pF;
1A KAITSE	1	0,15	0,15	1A; 250VAC; glass; 5x20 mm
2A KAITSE	1	0,17	0,17	2A; 250VAC; glass; 5x20 mm
KAITSMEHOIDJA	4	0,096	0,38	04450001N; 5x20 mm, 10 A
PINGEREGULAATOR	1	0,47	0,47	L7805CV, 5 V; 1.5 A; TO220AB
MOSFET	1	0,04	0,04	unipolar; 30 V; 2.6 A; Idm: 16 A; 1.1 W;
1mF KONDENSAATOR	1	0,45	0,45	1 mF; 25 VDC; Ø10x20 mm
10uF KONDENSAATOR	1	0,052	0,052	10 uF; 16 V; X5 R; ±10%
100nF KONDENSAATOR	10	0,026	0,026	100 nF; 16 V; ±10%;
22pF KONDENSAATOR	2	0,107	0,2	22 pF; 50 V; C0G (NP0); ±5%
DIOOD	1	0,04	0,04	1N4448WSF-7, SMD; 100V; 250mA; 4ns; SOD323F; Ufmax: 0.62V; 400mW
SCHOTTKY DIOOD	1	0,03	0,03	SS13A, 30V; 1A; SMA; reel,tape



## L2.4

Tabel L2.1 järg

Komponendi nimetus	Kogus	Ühiku maksumus (€)	Kogu maksumus (€)	Kirjeldus
PIN SOCKET	1	0,89	0,89	female; PIN: 6; straight; 2.54mm; THT; 1x6; L16mm
KUMMI JALAD	4	2.74	10,96	4903TP Rubber Feet
MIKROARVUTI	1	-	-	RASPBERRY PI 4
TOITEPLOKK	1	28,67	28,67	66 W; 5 VDC(6A);12 VDC (3A)
KOHRIRATTAD	4	4,84	19,36	3701
HINGED	2	2,34	4,68	2525
LUKUD	2	4,12	4,12	1600 Drawbolt Medium
KÄEPIDE	1	4,76	4,76	3443 Folding Grip
KOHTVALGUSTI	1	-	-	KOHTVALGUSTI
MOODULPLAADI HOIDIK	11	-	-	VINEERIST LÕIGATUD
TUGILATT	2	-	-	
HDMI PISTIK	1	-	-	
TOITE PISTIK	1	-	-	
FILAMENT	2	24,9	49,8	3D PRINTIMIS FILAMENT
VINEER	1	45,92	45,92	VEEKINDEL VINEER
AKRÜÜLKLAAS(PLEXIGLAS)	1	49	49	
TÖÖKULUD			127.20	FREESIMINE(HOOG ENGINEERING)
		KOKKU:	718,92	

## **Graafiline osa**