



Diana Madissoo

ELEKTRIAUTO LAADIJA ÕPPESTEND

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Autotehnika õppekava

Juhendaja: Kaido Hiieleek

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, **Diana Madissoo**, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „**Elektriauto laadija õppestend**“:

- reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
- elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
- kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist;
- ning kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigus.

Autor: Diana Madissoo

/allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas/

Juhendaja kinnitus

Lõputöö vastab lõputöö ja kirjalike tööde vormistamise juhendile. Lubada lõputöö kaitsmisele instituudi direktori korraldusega.

Juhendaja:

1. Kaido Hiieleek, kraad, ametinimetus, (instituudi nimetus, kui pole tehnikainstituut),

/allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas/

SISUKORD

LÜHENDITE JA MÕISTETE LOETELU	5
SISSEJUHATUS.....	6
1. ÕPPESTENDI EESMÄRK ÕPPETÖÖS.....	7
1.1. Laboritöö juhend.....	7
1.1.1. Vajalikud mõõteseadmed	7
2. LAADIMISPROTSESS	8
2.1. Veojõuaku.....	8
2.2. Laadimis- ja mahalaadimisprotsess veojõuakus.....	8
2.3. EV laadimisstandardite ülevaade.....	10
3. ÕPPESTENDI PROJEKTEERIMINE.....	12
3.1. Stendi raam	12
3.2. Paneelide komponendid.....	13
3.2.1. Eesmine paneel.....	13
3.2.2. Tagumine paneel	14
3.3. Õppestendi ohutuse tagamine	15
3.4. Õppestendil voolutugevuse muutmine ja kuvamine.....	16
4. ÕPPESTENDIL KASUTATAV ELEKTRIAUTO LAADIJA KIRJELDUS	18
4.1. Voolutugevuse muutmine.....	21
4.2. Laadija pistik	22
5. KULUARVESTUS	25
5.1. Varuosad.....	25
5.1.1. Stendi raam.....	25
5.1.2. Varuosad.....	25
5.1.3. Lisakulutused	26

5.2. Tööjõukulu.....	26
6. ÕPPESTENDI KOMPLEKTEERIMINE.....	27
6.1. Kasutatud vahendid ja tööriistad	28
KOKKUVÕTE.....	29
SUMMARY	30
KASUTATUD KIRJANDUS	31
LISADE LOETELU.....	33
Lisa 1. Arduinole kirjutatud kood voolutugevuse muutmiseks.....	34
Lisa 2. Laboritöö 1	39
Lisa 3. Laboritöö 2	41
Lisa 4. Laboritöö 3	43
Lisa 5. Õppestendi koostu joonis	46
Lisa 6. Voolutugevuse muutmise ja kuvamise elektriskeem	47
Lisa 7. Stendi tahvli tagakülje joonis	48
Lisa 8. Stendi tahvli esikülje joonis	49

LÜHENDITE JA MÕISTETE LOETELU

EV – (Electrical Vehicle) Elektrisõiduk

EVSE – Elektrisõiduki laadimisjaam

PP – (Proximity Pilot) laadimispistiku kontakt, mis toimib laadimiskaabli tuvastamise ja voolu piirajana

CP – (Control Pilot) laadimispistiku kontakt, mida kasutatakse EV ja EVSE vahelise laadimistaseme signaalimiseks

PE – Maandus kontakt

L1 – Esimene faas

L2 – Teine faas

L3 – Kolmas faas

N – Neutraaljuht

DIP-SWITCH – DIP (Dual In-line package)-lülitid on käsitsi kasutatav elektriline lülitid, mis on koos teistega ühendatud standardsesse kaherealisesse paketti

AC – Vahelduvvool

DC – Alalisvool

LCD – (Liquid Crystal Display) vedelkristallekraan

SISSEJUHATUS

Laadimissüsteemi väljaõpe on aktuaalne teema autotehnika inseneride valdkonnas, tänu sellele kuna kasvamas on tänavatel liikuvate elektriajamiga sõidukite osakaal. Laadimissüsteemi töö põhimõtete õppimine annab tulevastele inseneridele parema arusaamise sõiduki tööpõhimõtetest, arendustest ja kitsaskohtadest. Üha rohkem kasutatakse õpingute juures erinevaid visuaalseid õppevahendeid, mis aitavad kaasa süsteemide lihtsamaks mõistmiseks.

Lõputöö teema valiti Tallinna Tehnikakõrgkooli poolt välja pakutud teemade valikust. Teema valikul lähtuti nii autori huvist elektriauto laadija seadme ja auto vahelise suhtluse lähemalt tundma õppimise vastu, kui ka kooli vajadusest tervikliku elektriauto laadija õppestendi järele. Koolil ei ole sellelaadset õppestendi ning senini on õpitud laadimissüsteemi vaid teoreetiliselt.

Lõputöö eesmärk on luua koolile terviklik ja mobiilne õppevahend, selgitamaks võimalikult detailselt ning visuaalselt elektriauto laadija tööpõhimõtet. Autor püstitas endale eesmärgiks projekteerida võimalikult kompaktne, ohutu ja kasutajasõbralik õppestend. Õppestendi peamine komponent, elektriauto laadija, on juhendaja Kaido Hiieleegi poolt Tallinna Tehnikakõrgkooli toodud BMW i Wallbox, mis vajab remonti.

Lõputöö käigus projekteerib autor õppestendile raami, paigutab stendile vajalikud komponendid, paigaldab juhtmestiku, parandab laadija ning lisab ohutusseadmed. Käesolev töö on õppestendi loomine insenertehnilise lähenemisega. Töö koosneb teoreetilisest osast, mis sisaldab: õppestendi eesmärki õppetöös, laadimisprotsessi kirjeldust, õppestendi projekteerimist, kuluarvestust ja komplekteerimist. Autor tutvustab õppestendi ülesehitust ning seadme ohutusnõudeid. Töö praktiline osa hõlmab õppestendi koostamist.

1. ÕPPESTENDI EESMÄRK ÕPPETÖÖS

Elektriauto laadija õppestendi eesmärk on tutvustada üliõpilastele ja vastavasisulise koolitustel osalejatele eksperimenteerimise teel ning visuaalselt laadimissüsteemi tööpõhimõtet. Õppestendi hakatakse kasutama põhiliselt „Auto hübriid- ja elektriajamid“ õppeaines, mida läbib umbkaudu 60 autotehnika inseneri tudengit aastas.

Siiani on õpetatud elektriauto laadija tööpõhimõtet praktilise õppestendi puudumise tõttu vaid teoreetilise osana. Õppestend annab võimaluse tudengitel laadijaga lähemalt tutvuda, katsetada selle tööd ning teostada mõõtmisülesandeid ohutult. Õppestendi on võimalik panna tööle erinevates voolutugevuse režiimides, et mõõta ja näha, mida see muudab. Stendil on mõõtmiseks loodud ostsilloskoobi, voltmeetri ja ampertangide mõõtekohad.

1.1. Laboritöö juhend

Lõputöö üheks peamiseks eesmärgiks on luua õppestend, mis toetab elektriauto laadimisprotsessi õppimist, selleks on loodud õppestendiga laboritöö ülesanded, mis asuvad lisades (Lisa 2, Lisa 3 ja Lisa 4).

1.1.1. Vajalikud mõõteseadmed

Laboritööks vajalikud mõõteseadmed on ostsilloskoop, voltmeeter või multimeeter ja ampertangid. Ostsilloskoop on vajalik ajas muutuva lainekuju ja elektriliste suuruste visualiseerimiseks ning salvestamiseks. Õppestendi juures on ostsilloskoobi graafikul vaadeldav pulsi laius ja kõrgus, mis sõltub laadija ning laadimisolekust [1]. Voltmeeter või multimeeter ühendatakse ahelasse rööbiti ja on vajalik pinge mõõtmiseks. Õppestendile on loodud vajalikud mõõtekontaktid, et saaks mõõta faasi- või liinipinget. Voltmeetri mõõtmisvõimekus vahelduvvoolu piirkonnas peab olema vähemalt 500 V. Ampertangidega mõõdetakse voolutugevust lihtsalt ja ohutult tangide juhtme ümber paigutamisega. Õppestendil on iga faasi kohta välja toodud juhtmekaar, mille ümber ampertangid mahuvad ja kus saab voolutugevust mõõta. [2] [3]

2. LAADIMISPROTSESS

2.1. Veojõuaku

Elektriauto on varustatud kahe akuga, madalpingeaku ja kõrgepingeaku. Kõrgepingeakut nimetatakse veojõuakuks. Veojõuaku on peamine energiaallikas, mis toidab kolmefaasilise inverteri kaudu elektrimasinat või masinaid. Levinuim tehnoloogia praegu on liitiumiooni baasil akud ja neid saab laadida vahelduvvoolu abil läbi integreeritud laadija või kasutades otse kiirlaadimisjaamade alalisvoolu. Madalpingeaku on 12 V pliiaaku, seda laetakse kõrgepingeakust läbi alalisvoolumuunduri. [4]

Kõrgepingeaku koosneb mitmest üksikust elemendist, mis moodustavad ühe mooduli. Moodulite omavahel ühendamisega koostatakse lõplik veojõuaku. Veojõuaku elementide paigutus ja disain sõltub sõidukitootjast ja sõidukist. Sel juhul on peamisteks teguriteks näiteks energiatihedus, soojuse hajumine, tootmine, maksumus, kaal, modulaarne kohandatavus või mehaaniline stabiilsus. [4]

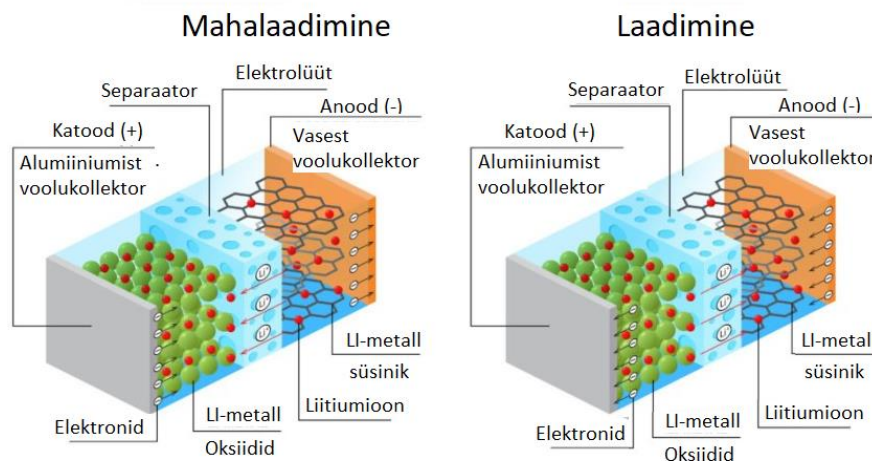
2.2. Laadimis- ja mahalaadimisprotsess veojõuakus

Anood (negatiivne poolus), katood (positiivne poolus) ja elektrolüüt moodustavad akuelemendi (Sele 1). Elektrolüüt on juhtiv (vedel või tahke) element, mis võimaldab voolu liikumist pooluste vahel. Aku tööpõhimõte põhineb metallipaaril, mis on võimeline elektrone vahetama. [4]

Liitiumioonakud töötavad kontseptsioonil, mis on seotud metallidega, mida nimetatakse elektrokeemiliseks potentsiaaliks. Elektrokeemiline potentsiaal on metalli kalduvus elektrone kaotada. Liitium on metall, millel on suurim kalduvus kaotada elektrone ja seda kasutatakse liitiumioonelementides. Liitiumaku töötamise põhimõte seisneb selles, et liitium on puhtal kujul reaktiivne metall, kuid kui see on metalloksiidi osa, on see üsna stabiilne. Kui eraldada liitumiaatom oksiidist, moodustab see ebastabiilsuse tõttu liitiumiooni ja elektroni. Liitiumi ja metalloksiidi vahel on elektronide ja liitiumioonide voolu jaoks kaks erinevat teed, nii jõuab liitiumi aatom automaatselt liitiumoksiidi osani. Nii toodetakse elektrit elektronide voolust läbi ühe tee. Metalloksiidist saab elektrit toota, kui esmalt eraldatakse liitiumi aatom ja seejärel juhitakse elektroni aatomist eraldi läbi välise vooluringi. [5]

Liitiumaku kasutab lisaks metalloksiidile ka elektrolüüti ja grafiiti. Grafiit on kihilise struktuuriga. Need kihid on lõdvalt seotud, et liitumioone neisse hõlpsasti salvestada. Elektrolüüt, mis asub grafiidi ja metalloksiidi vahel, toimib kaitsena, mis laseb läbi ainult liitumioonid (elektronid ei pääse läbi). Kui ühendada kahe metalli vahel toiteallikas, tõmbab positiivne pool metalloksiidi liitumiaatomitest elektrone ja eemaldab need. Need elektronid voolavad läbi välise vooluringi, kuna nad ei saa voolata läbi elektrolüüdi ja jõuavad grafiidikihini. Vahepeal tõmbavad positiivselt laetud liitumioonid negatiivsest terminalist ligi ja need voolavad läbi elektrolüüdi, jõudes grafiidialasse. Kui liitumioonid jõuavad grafiidilehele, on aku täielikult laetud. (Sele 1) [5]

Kui toiteallikas on eemaldatud ja koormus on ühendatud; liitumioonid tahavad metalloksiidi osana oma stabiilsesse olekusse tagasi minna. Selle tõttu liiguvad liitumioonid läbi elektrolüüdi ja elektronid koormuse kaudu. Nii saadakse läbi koormuse elektrivool. Grafiit on akus ionide säilitamise vahend. Kui temperatuur tõuseb mõne ebatavalise olukorra tõttu, kuivab vedel elektrolüüt, põhjustades lühise anoodi ja katoodi vahel ning see võib põhjustada tulekahju või plahvatuse. Sellise olukorra vältimiseks asetatakse elektrodide vahele isoleeritud kiht, mida nimetatakse separaatoriks. Separaator on oma mikropoorsuse tõttu ioone läbilaskev. Akupatareis on grafiit ja metalloksiid kaetud vask- ja alumiiniumfooliumiga. Fooliumid toimivad voolukogujatena ning nende külge on kinnitatud positiivsed ja negatiivsed vahekaardid. Liitiumi orgaaniline sool toimib elektrolüüdina ja sellega on kaetud separaatori plaat. Kõik need kolm lehte asuvad keskse terassüdämiku ümber, muutes akuelemendi kompaktsemaks. (Sele 1) [5]



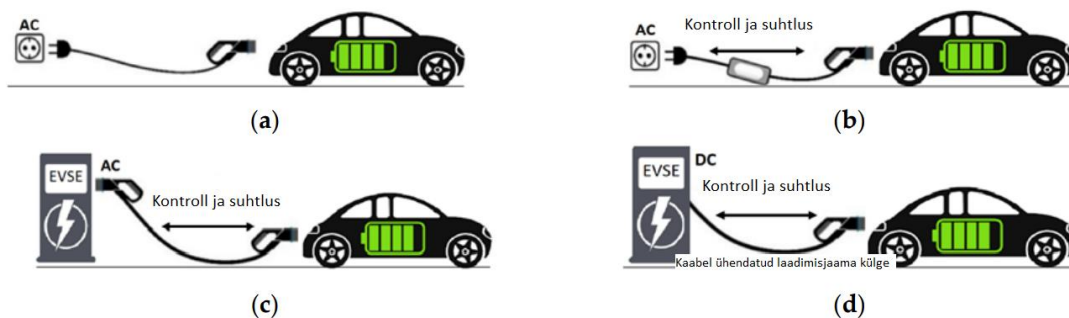
Sele 1. Liitumioonaku laadimis- ja mahalaadimisskeem [5]

2.3. EV laadimisstandardite ülevaade

Euroopas ja Põhja-Ameerikas on EV laadimisprotsessi põhjalikuks reguleerimiseks juba kehtestatud ISO, IEC ja SAE rahvusvahelised standardid, mis hõlmavad kõiki klassifikatsioone ja eeskirju, mis omakorda hõlmavad kõike, alates laadimispistikutest kuni laadimisseadmete topoloogiateni. Põhjalikum ülevaade on tehtud Euroopas kehtivale IEC standardile, mis on seotud õppestendis kasutatava laadijaga. [4]

IEC 61851 standard:

Euroopas ja teistes riikides kasutab IEC terminoloogiat “Laadimistüübid”, et klassifitseerida elektrijao- ja kaitsepaigalduse meetodeid, samuti EV laadimissüsteemi sidet ja haldamist. Vastavalt sellele, nagu on näidatud (Sele 2), kirjeldab 2017. aastal avaldatud rahvusvaheline standard IEC 61851-1 nelja erinevat EV laadimisrežiimi. Neid laadimistüüpe kirjeldatakse allpool ja nende peamised parameetrid on loetletud (Tabel 1). [4]



Sele 2. IEC 61851-1 laadimistüübid: Tüüp 1 (a), Tüüp 2 (b), Tüüp 3 (c), Tüüp 4 (d) [4]

- **Tüüp 1** (tuntud ka kui *Schuko* tüüp) on seotud elektrisõiduki laadimisega tavalises majapidamises kasutatavast pistikupesast, kasutades tavalist pikenduskaablit ilma kaitsevarustuseta. Lisaks on see kodune pistikupesa kaitstud aeglase kaitsmega, mis muudab selle laadimisrežiimi äärmiselt ebaturvaliseks. Seetõttu ei soovitata *Schuko* laadimisrežiimi paljudes maailma paikades kasutada. [4]
- **Tüüp 2** on seotud elektrisõiduki laadimisega tavalisest kodusest pistikupesast, mida on täiendatud kaabli sisse paigaldatud juhtimis- ja kaitse süsteemiga (IC-CPD). Võrreldes režiimiga 1 on see laadimisvalik palju ohutum. Sellest hoolimata piirab laadimisvõimsust pistikupesa maksimaalne võimsus. [4]

• **Tüüp 3** töötab võimsusvahemikus 3,7 kW kuni 43 kW, see on piisavalt kontrollitud ja kaitstud vahelduvvoolu laadimisjaam. See on kogu maailmas levinud laadimisrežiim. [4]

• **Tüüp 4** on alalisvoolu laadimisrežiim. Elektrisõidukite laadimispunkt varustab EV aku otse alalispingega. Seetõttu laadimise juhtimine ei sõltu EV-le sisseehitatud laadimissüsteemist. [4]

Tabel 1. Laadimisrežiimid ja kirjeldused [4]

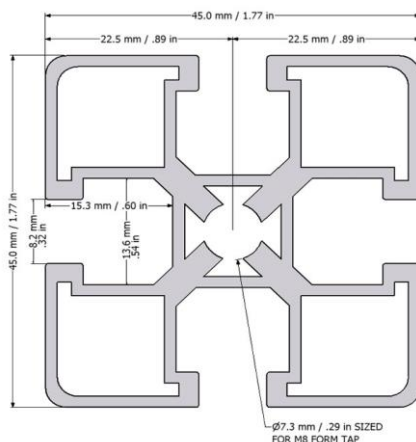
Laadimistüübid	Spetsifikatsioonid
Laadimistüüp 1	<ul style="list-style-type: none"> - AC (vahelduvvoolu) laadimine käib EV pardalaadija kaudu - Ilma spetsiaalse pistikupesata (kodune pistikupesa) - Tavaline kaabel ilma kaitseta - Mitte ohutu (Ülekuumenemise oht) - Mitte soovitatav kasutada
Laadimistüüp 2	<ul style="list-style-type: none"> - AC (vahelduvvoolu) laadimine käib EV pardalaadija kaudu - Ilma spetsiaalse pistikupesata - Kaabel on täiendatud juhtme sisse paigaldatud juhtimis- ja kaitse-süsteemiga (IC-CPD) - Laadimisvõimsus kuni: <ul style="list-style-type: none"> o 3.7 kW (230 V @ 16 A) koduses kasutuses, o 7.4 kW (230 V @ 32 A) tööstuslikus kasutuses
Laadimistüüp 3	<ul style="list-style-type: none"> - Ühe või kolmefaasiline vahelduvvoolu (AC) toide laadimisjaamast (EVSE) - EV omab pardalaadijat - Spetsiaalne kaabel ja pistik - EVSE sisaldab kontroll, suhtlus ja ohutus funktsioone - Laadimisvõimsus kuni 43 kW - Tüüpilised laadimis võimsused: <ul style="list-style-type: none"> o Ühefaasiline: 3.7 kW ja 7.4 kW, o kolmefaasilised: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 11kW (400 V @ 16 A) ▪ 22 kW (400 V @ 32 A), 43 kW (400 V @ 63 A)
Laadimistüüp 4	<ul style="list-style-type: none"> - Alalisvoolu (DC) toide laadimisjaamast (EVSE) - Spetsiaalne kaabel, mis on kinnitatud laadimisjaama külge - EVSE sisaldab kontroll, suhtlus ja ohutus funktsioone - Laadimine ei sõltu EV pardalaadijast - Avalike ja kaubanduslike laadimise rakenduste jaoks - Laadimisvõimsus kuni 400kW (1000 V @ 400 A)

3. ÕPPESTENDI PROJEKTEERIMINE

3.1. Stendi raam

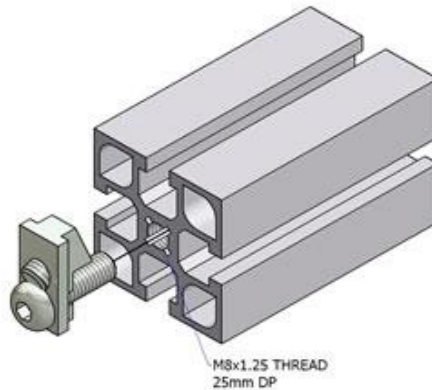
Õppestendi raam on valmistatud *Minitec* alumiiniumprofiilist, mille edasimüüjaks Eestis on Alas Kuul AS. *Minitec* profiil on valitud Tallinna Tehnikakõrgkoolis olevate õppestendide materjali järgi, kuna antud alumiiniumprofiil on vastupidav ja kergesti paigaldatav. Eeskujuks on võetud 2021 aastal Tallinna Tehnikakõrgkooli tudengi koostatud lõputöö „Automaatkliimaseadme õppestend“. [4]

Õppestendi raam projekteeriti kasutades *Minitec* 45x45 UL profiili (Sele 3). Stendi raami kõrguseks on 1800 mm ja laiuseks 800 mm. Stendi raami kõrgus on võetud standardse õppestendi kõrguse mõõdu järgi ning on arvestatud sellega, et seda oleks mugav kasutada. Laius on võetud minimaalne, et ära mahutada kõik vajalikud komponendid. Stendi raam on projekteeritud *Inventori* tarkvaraga ja koostujoonis on nähtav (Lisa 6). [5]



Sele 3. *Minitec* 45x45 UL alumiiniumprofiili ristlõige [5]

Stendi raami komponentide ühendamiseks on kasutatud *Power-Lock* kinnitusi (Sele 4). *Power-Lock* ühendused on stabiilsed, tugevad ja lihtsasti paigaldatavad. [4]



Sele 4. *Power-Lock* profiili kinnitused [6]

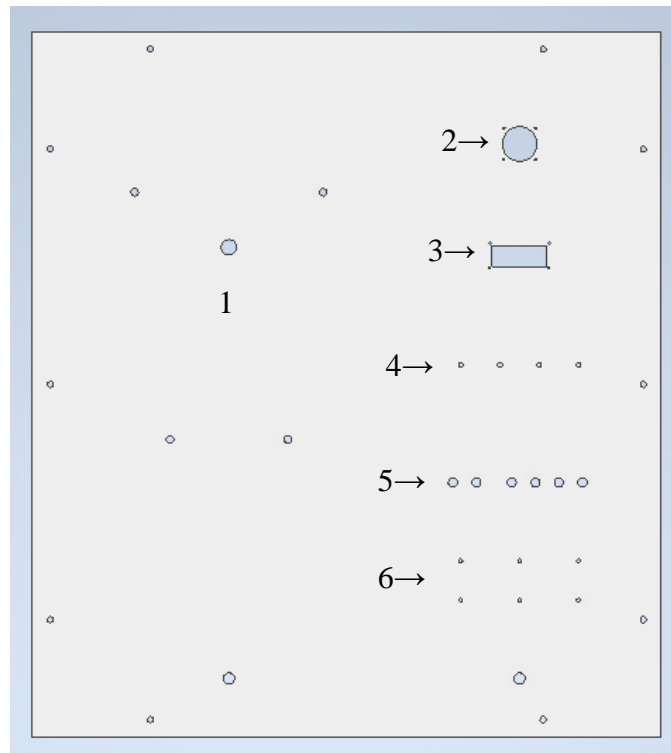
3.2. Paneelide komponendid

Õpepestendi tahvli suuruseks on 900 mm korda 800 mm ning paksuseks 5 mm. Stendi paneeli suurus on valitud laadija mõõtude ja komponentide ära mahutamiseks minimaalne. Materjaliks on plastik, sest see ei juhi elektrit ja on lihtsasti töödeldav. Materjali paksus on piisav, et komponendid kinnitada stabiilselt. Kuna õpepestendi raam on koostatud *MiniTec* profiilist, mis on 45 mm läbimõõduga, saab kinnitada stendi esiküljele ja tagaküljele plastiktahvli. Nende vahelist ruumi on kasutatud elektriühenduste peitmiseks ja sealhulgas ka ohutuse tagamiseks.

3.2.1. Eesmine paneel

Õpepestendi esiküljel on peamiseks komponendiks BMW i Wallbox elektriauto laadija. Õpepestendi eesmisel paneelil asuvad järgmised komponendid, mille asukoht on näidatud joonisel (Sele 5):

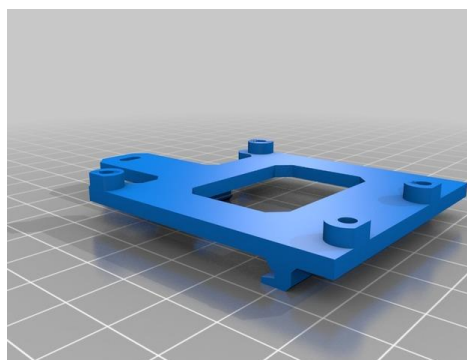
1. BMW i Wallbox elektriauto laadija
2. Pealüliti
3. Ekraan LCD
4. *Toggle switch* lülitid 4 tk
5. *Banana* mõõtekontaktid 6 tk
6. Juhtmeaasad 3 tk ampertangidega mõõtmiseks



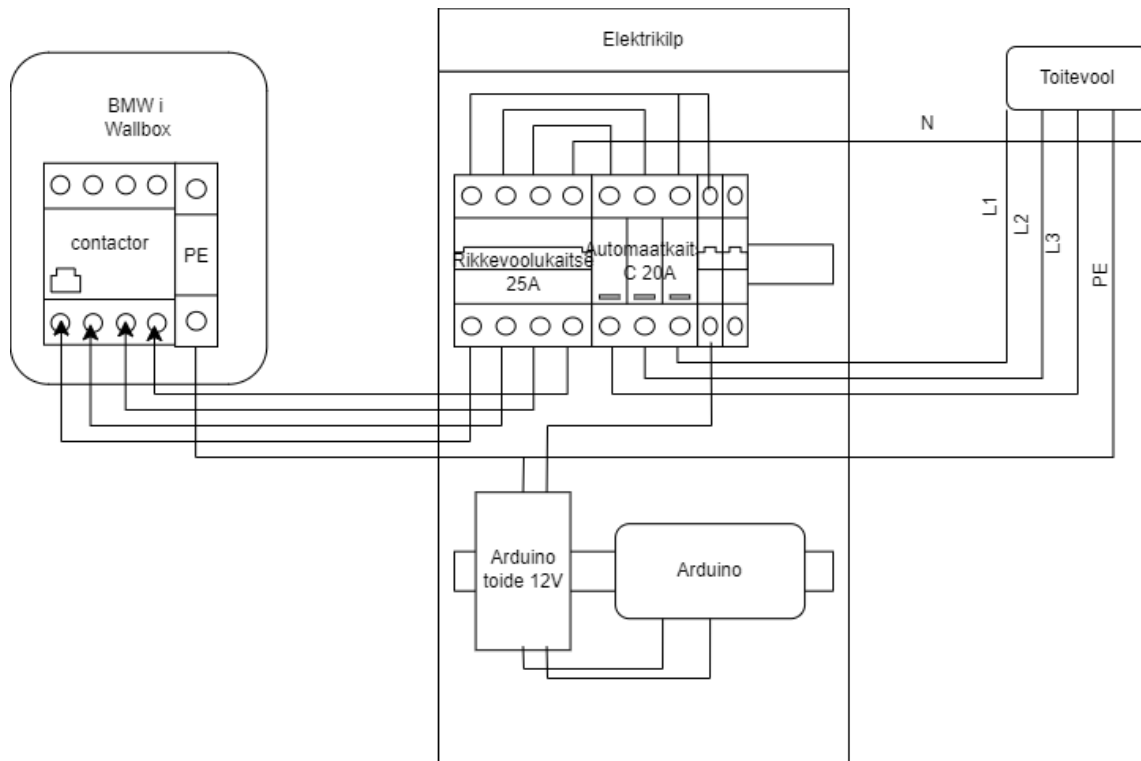
Sele 5. Stendi eesmise paneeli komponentide paigutus

3.2.2. Tagumine paneel

Stendi tagumisele küljele tuleb elektrikilp ja tööstusvoolu sisend. Elektrikilbis on mitmeastmeliseks kaitseks kolmefaasilised rikkevoolukaitse 25 A ja automaatkaitse 20 A (Sele 7). Elektrikilpi on paigaldatud ka *Arduino UNO 3* koos 3D printitud DIN liistu kinnitusega (Sele 6) ja selle toitemoodul, mis muundab 230 V pinget *Arduinole* sobivaks 12 V. *Arduinole* toitejuhtme eraldamiseks on lisatud veel üks tavaline DIN liistule kinnitatav ühekohaline lüliti ja kaks lisalüliti, juhuks, kui tulevikus soovib keegi stendi arendada. Kaitsmed ja lülitid on omavahel ühendatud faasilati abil.



Sele 6. Arduino DIN liistu kinnitus 3D mudel [7]



Sele 7. Elektrikilbi ja toitevoolu elektriskeem

3.3. Õppetendi ohutuse tagamine

BMW i Wallbox elektriauto laadijat saab vooluvõrku ühendada ühe- või kolmefaasi režiimis. Õppetendil on tööstusvoolu pistik, et ühendada laadija kolmefaasiga. Laadijas tarbitav pinge ja voolutugevus on inimesele eluohtlik, selle pärast on õppetend ülesehitatud nii, et mitte kuskilt pole võimalik inimesel elektrilööki saada. Selleks on kasutatud *Banana* (Sele 8) mõõteseadme ühendusi, millel on plastikust isoleeritud välispind, kus pole võimalik kokkupuutel voolu saada ja ka mõõteseadmega lühist tekitada on väga keeruline.

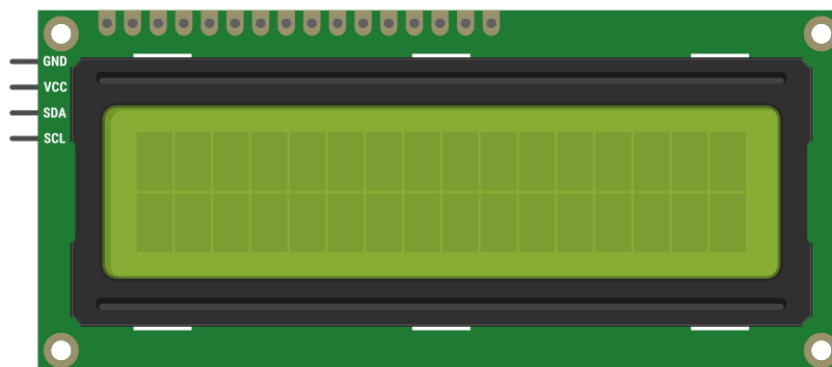
Õpevahendi ohutus peab olema tagatud mitmeastmeliselt. Selleks on õppetendi tagaküljel elektrikilbis kolmefaasilised 20 A automaatkaitse ja selle järel 25 A rikkevoolukaitse, et tagada lisaohutus. Kaitse-seadmed on paigutatud kolmefaasi pistiku ja pealüliti vahele, et tagada ohutus ning *Arduino* toitevool ka siis, kui laadija on välja lülitatud, kuid juhe on seinakontaktis (Sele 7).



Sele 8. *Banana Test connector* mõõteseadmete ühendamiseks

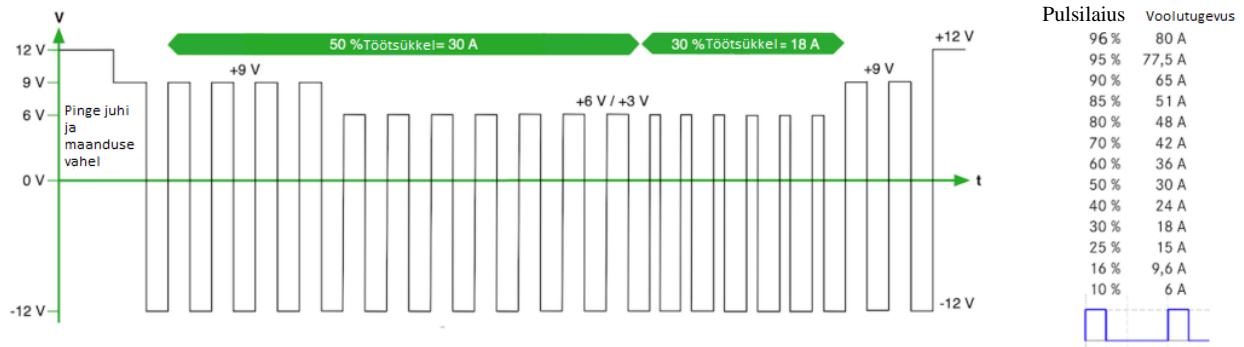
3.4. Õppetendil voolutugevuse muutmise ja kuvamine

Arduino abil juhitakse *Dip-Switch-e* elektrooniliselt ühendades nende külge NPN transistorid. Transistoreid juhitakse nelja *Toggle-Switch* lüliti abil. Iga lüliti on antud transistorite lülitamise kombinatsioon, et lülitada sisse lüliti märgitud voolutugevus (Sele 14). Lisades (Lisa 5) asuvas *Arduino* elektriskeemis on lülituse oleku näitamiseks pandud LED-ide kuvamiseks transistori lülituse kombinatsiooni, õppetendil LED-ide ei ole. Õppetendile tuleb neli *Toggle-Switch* lüliti määramaks voolutugevuse kas 10 A, 13 A, 16 A või 20 A. *Arduinole* kirjutatud 194. realise koodi (Lisa 1) abil olukorras, kus on sisselülitatud rohkem kui üks lüliti, valitakse voolutugevuseks 0 A. Valitud voolutugevust hakkab kuvama ka stendile paigaldatud vedelkristallekraan I2C (LCD) (Sele 9), kui on lülitatud sisse rohkem kui üks lüliti, ei kuva ekraan midagi. Kuna stendil on maksimum voolutugevus valik 20 A, siis ei pea ka kaitseseadmed suurema voolutugevusega olema.



Sele 9. Vedelkristallekraan I2C (LCD) 16x2

Peale voolutugevuse valikut peab laadijale restardi tegema, mis on ka kirjeldatud paigaldusjuhendis. Laadijale saab restarti teha selleks ettenähtud nupust või laadija vooluvõrgust lahti ühendamisega. Selleks on stendile paigaldatud kolmefaasiline pealüliti, et teha laadijale restart, aga samal ajal jääb *Arduinole* toitevool järgi, et voolutugevuse lülituse olek ei muutuks. Voolutugevuse muutmisega saab õppesendile ühendatud ostsilloskoobi abil jälgida PWM signaali pulsilaiae järgi, kuidas voolutugevus muudetakse vastavaks (Sele 10). [8]



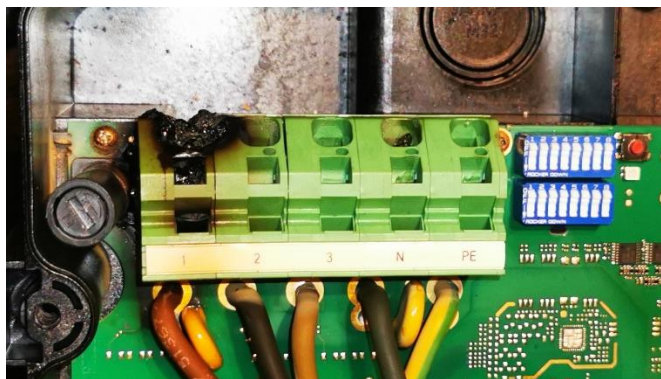
Sele 10. Voolutugevuse muutmise skeem [2]

4. ÕPPESTENDIL KASUTATAV ELEKTRIAUTO LAADIJA KIRJELDUS

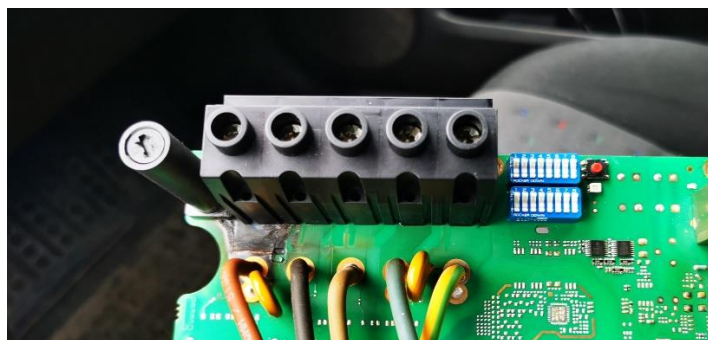


Sele 11. BMW i Wallbox elektriauto laadija [9]

Õppestendi idee sai alguse juhendaja poolt kooli toodud BMW i Wallbox laadijast (Sele 11), mis seni andis õpilastele vaid aimu, kuidas see toimib, kuna laadija ei olnud töökorras läbipõlenud esimese faasikontakti tõttu (Sele 12). Faasikontakti läbipõlemise põhjuseks on suure tõenäosusega kehv ühendus kontaktis, millest tekkis kontaktide vaheline sädelus või leek. Laadija töökorda saamiseks asendati läbipõlenud kontaktliist Pärnu ProTuuning OÜ abiga ja taastati plaadil radade ühendused juhtmetega (Sele 13).



Sele 12. Laadija läbipõlenud kontaktid



Sele 13. Asendatud kontaktliist

Laadijat saab kasutada elektriauto või pistik-hübriidauto laadimiseks ning selle maksimum laadimisvoolu tugevus on 32 A. Wallbox on mõeldud kasutamiseks sise- ja välitingimustes, kuid seda peab kaitsma otsese vee, kemikaalide, kuumuse ja põrutuste eest. [8]






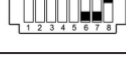
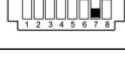
Tabel 2. BMW i Wallbox elektriauto laadija andmed. [10]

Elektrilised andmed	
Kaabli ühendus	Pind- või süvistatav
Ühenduse ristlõige	Minimaalne ristlõige (olenevalt kaablist ja paigalduse tüübist): - 5x2.5 mm ² (16 A nimivool) - 5x6.0 mm ² (32 A nimivool)
Toiteterminalid	Ühenduskaabel: - jäik (min.-max.): 0,2 – 16 mm ² - painduv (min.-max.): 0,2 – 16 mm ² - AWG (min.-maks.): 24–6 - painduv (min.-max.) traadi otsa ümbrisega plastikhülsiga/ilma: 0.25–10 / 0.25–10 mm ²
Toiteklemmide temperatuur	105 °C
Nimivool (konfigureeritavad ühenduse väärtused)	10 A, 13 A, 16 A, 20 A, 25 A või 32 A 3-faasiline või 1-faasiline
Võrgupinge	220-240 V~ 220/380 - 240/415 V 3N~
Võrgusagedus	50 Hz/60 Hz
Võrgu konfiguratsioon	TT/TN/IT
Ülepinge kategooria	III vastavalt EN 60664
Nimetatud lühiajaline voolutakistus	< 10 kA efektiivne väärtus vastavalt standardile EN 61439-1
kaitses (kodupaigaldises)	Sulamise peab vastama kohalikele nõuetele pistikupesast/kaablist olenevad (vt andmeplaati).
DC rikkevoolu jälgimine	≤ 6 mA DC (integreeritud)
Ventilatsioon laadimise ajal	Ei toetata
Laadimiskaabel ja pistik	Tüüp 1 kaabel: kuni 32 A / 400 VAC vastavalt standarditele EN 62196-1 ja EN 62196-2

Kaitseklass	I
Seadme IP-kaitseklass	IP54
Kaitse mehaanilise mõju eest	IK08
Liidesed	
Luba sisend [X1]	Välise autoriseerimise sisend: Ühenduskaabel: - Ristlõige (min.-max.): 0,08 – 4 mm ² - AWG (min.-maks.): 28–12
RS485 ühendus [X2]	Eriti madal turvapinge <50 V Ühenduskaabel: - Ristlõige (min.-max.): 0,08 – 4 mm ² - AWG (min.-maks.): 28–12
Diagnostikahend [X3]	RJ45
Ethernet1 ühendus [X4]	LSA+ terminalid
USB ühendus [X5]	A-tüüpi USB-pesa (max 500 mA)
RFID (valikuline)	MIFARE kaardid või sildid ISO 14443 või ISO järgi 15693 Tag-It või Tag-It kaardid või sildid ISO 15693 järgi
WLAN/WiFi moodul (valikuline)	IEEE 802.11 b,g,n (2.4 GHz)
Mehaanilised andmed	
Mõõtmed (laius x pikkus x kõrgus)	399 x 652 x 202 mm (ilma pistikuta)
Kaal	10 kg
Paigaldus (statsionaarne)	Seinale või sambale
Keskkonnatingimused	
Kasutus koht	Sise- ja välitingimustes
Töötemperatuur 16 A juures	-25°C kuni +50°C ilma otsese päikesevalguseta
Töötemperatuur 32 A juures	-25°C kuni +40°C ilma otsese päikesevalguseta
Ladustamise temperatuuri vahemik	-30°C kuni +80°C (-22°F kuni 176°F)
Maksimaalne suhteline õhuniiskus	5% kuni 95%, mitte kondenseeruv
Paigaldus kõrgus	max. 2000 m üle merepinna
Temperatuuri muutumise lubatud kiirus	max. 0,5°C/min (max 0,9 °F/min)

4.1. Voolutugevuse muutmine

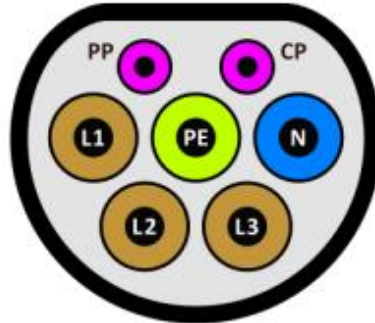
BMW i Wallbox laadijat saab tööle panna erinevates voolutugevuse režiimides. Kui elektrik paigaldab laadija kodusse majapidamisse, mõõdab ta faaside koormused ning arvutab peakaitsme järgi sobiva voolutugevuse. Laadijal on korpuse all väikesed *Dip-Switch*-id, mille kombinatsiooniga määratakse voolutugevus vastavalt vajadusele, kas 10 A, 13 A, 16 A, 20 A, 25 A või 32 A (Sele 14). [8]

Current	DIP switch			Illustration
	DSW1.6	DSW1.7	DSW1.8	
0 A (showroom mode)	ON	ON	ON	
10 A	OFF	OFF	OFF	
13 A	ON	OFF	OFF	
16 A	OFF	ON	OFF	
20 A	ON	ON	OFF	
25 A	OFF	OFF	ON	
32 A	ON	OFF	ON	

Sele 14. Voolutugevuse muutmine *Dip-Switch*-ide abil [8]

4.2. Laadija pistik

Enne laadimisprotsessi algust toimub sõiduki ja laadimisjaama vahel analoogsignalisatsioon, kasutades laadimispiistikusse integreeritud juhtpiloodi (CP) kontakti (Sele 15). CP kontakt võimaldab eristada erinevaid ühendusolekuid, mõõtes elektritakistust elektripinge muutumise kaudu. [2]



Sele 15. EU laadija tüüp 2 pistiku kontaktide skeem [11]

IEC 61851 standardi järgi defineerib analoogsignaali pulsilaiusega (PWM) töötükli. PWM on modulatsioonitehnika, mida kasutatakse teabe (nt maksimaalse lubatud laadimisvoolu) kodeerimiseks impulsi signaaliks. See võimaldab laadimisjaamal edastada sõidukile maksimaalse saadaoleva laadimisvoolu, rakendades CP-signaali impulsi laiuse modulatsiooni. Laadimisjaam juhib PWM-signaali, sõiduk aga pinget ja ka ühenduse olekut. Joonisel (Sele 10) on pinge illustreeritud y-teljel ja aeg on kujutatud x-teljel. [2]

Kõige olulisemad CP olekud on [2]:

1. Olek A (+12 V) sõiduk ei ole laadijaga ühendatud
2. Olek B (+9 V) sõiduk on ühendatud laadijaga, kuid pole veel laadimiseks valmis (laadimispiistiku takisti tõmbab pinge alla 9 V)
3. Olek C (+6 V) sõiduk on laadimisjaamaga ühendatud ja laadimiseks valmis (teine kaabli takisti nimega S2 tõmbab pinge veelgi alla 6 V-ni)
4. Olek D (+3 V) sõiduk on laadijaga ühendatud, toimub laadimine ja jahutus

Laadija kontrollib PWM signaaliga töösüklit, mis on joonisel (Sele 10) näidatud protsentides, lülitades lüliti sisse ja välja 1 kHz sagedusega. Töösükkel on proportsioon sisse ja välja lülitamise vahel, mida kauem lüliti on sisse lülitatud seda kõrgem on voolutugevus. Ostsilloskoobiga on vaadeldav töösükkel pulsilaiusena. [2]

Proximity Pilot (PP) (Sele 15) kontakt toimib laadimiskaabli ühenduse tuvastamise ja voolupiirajana. *Proximity Pilot* on tüüp 1 ja tüüp 2 kaablites erinevalt rakendatud. Ainult esimese tüübi kaablite puhul hoolitseb PP ka mehaanilise pistiku lukustamise ja sädemeteta lahti ühendamise eest. [13]

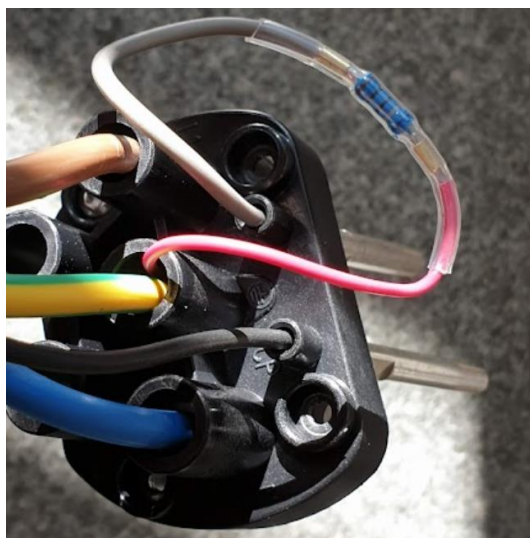
On oluline, et sõiduk teaks, et ta on ühendatud laadijaga. Kui sisepõlemismootoriga autode puhul juhtub aeg-ajalt, et inimesed sõidavad minema, jättes tankimispüstoli auto külge, siis elektrilaadimise puhul on selle juhtumise tõenäosus palju suurem, kuna laadimise lõppemist auto kõrval ei oodata. Pistikus olev PP kontakt loob vooluahela takisti kaudu PE kontaktiga (Sele 16). *Proximity Pin* tuvastab pistiku ühendamisel voolu (või pingelanguse). [13]

Takisti väärtused erinevad tüüp 1 ja tüüp 2 kaablitel. Tüüp 1 kaablil on see 150 oomi (mis on ka õppetendil asetseval laadijal) . Tüüp 2 kaablil võivad olla erinevad väärtused. Kõige tavalisemad kaks on 680 oomi ja 220 oomi, kuigi standard määratleb ka 1500 oomi ja 100 oomi (Tabel 3). [13]

Tabel 3. Tüüp 2 kaabli pistikus asetseva takisti suurus vastavalt kontakti suurusele ja selle maksimum voolutugevusele standardiseeritud IEC 62196-2 standardiga [13]

Takisti suurus, Ω	Kaabli ristlõike pindala, mm ²	Maksimum voolutugevus, A
100	10	64
220	6	32
680	2.5	16
1500	1.5	10

Voolu piiramise funktsioon kehtib ainult tüüp 2 kaablite puhul. Põhjus on selles, et tüüp 2 kaablil võib olla pistik nii sõiduki kui ka laadija poolel. See on peamine erinevus tüüp 1 kaablist, millel on ainult sõiduki külge käiv pistik. Kui Euroopas on laadija poolel tüüp 2 kaablil pistik, siis Põhja-Ameerikas ja Jaapanis on kaabel alati laadija küljes, mis on elektrisõiduki toitesead (EVSE) lahutamatu osa. See tähendab, et kaabli voolutugevus ühildub laadijaga. Kaabli puhul, mis ei ole osa laadijast (saab laadija ja autovahahele ise ühendada), võib kaabli juhtme paksus olla ebapiisav maksimaalse voolu kandmiseks, mida sõiduk võib tahta ja see võib põhjustada kaabli ülekuumenemist ning ohtlikke olukordi. Takisti väärtus tüüp 2 kaablil näitab kaabli juhtme suurust. Takisti suurus määrab maksimaalse voolu, mida kaabel suudab taluda (Tabel 3). [13]



Sele 16. PP ja PE kontaktivaheline takisti, mille järgi tuntakse ära, mis kaabliga on tegemist [13]

5. KULUARVESTUS

Õppestendi kuluarvestuses võetakse arvesse kõiki vajaminevaid kulutusi, et õppestend koostada. Hinnad võivad muutuda sõltuvalt majandusest ja inflatsioonist ning on märgitud mai 2023.

5.1. Varuosad

5.1.1. Stendi raam

Õppestendi ehituse suurim välja minek on raami jaoks vajalikud profiilid, stenditahvlid ja kinnitused. Tabelis (Tabel 4) on koostamiseks vajalike profiilide, rataste ja stenditahvli hinnad, mille aluseks on Tööriistamarketist, Hoog Engineering OÜ-st ja AlasKuul AS-ilt saadud arved.

Tabel 4. Stendi raami komponendid ja kuluarvestus

Kululiik	Kirjeldus	kogus, tk	Maksumus, €
MiniTec 45x45UL Al profiil	Pikkus 800 mm	2	24.48
MiniTec 45x45UL Al profiil	Pikkus 1755 mm	2	53.70
MiniTec 45x45UL Al profiil	Pikkus 710 mm	3	32.59
Nurga kinnitused Power-Lock	M8x1,25	8	24.72
Alumiinium profiililõiked		7	10.50
Transport		1	20.00
Rattad	Läbimõõt Ø	4	42.00
Plaadi kinnitused		20	15.30
Plastikplaat koos lõikusega	800x900x5 mm	2	186.50
Kokku			442.99

5.1.2. Varuosad

Õppestendile vajalike komponentide hinnad, kogused ja tootekoodid on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 5).

Tabel 5. Õppestendi varuosade nimekiri

Kululiik	Toote hinnad on võetud	Tootekood	Tükki hind, €	Kogus	Maksumus, €
Arduino Uno	Farnell	A000066	24.28	1	24.28
Arduino toite muundur 12V	Espak	H7001	19.43	1	19.43
NPN transistorid	Farnell	MPSA14	0.21	3	0.63
Lülitid	Farnell	A101SYCQ04	3.74	4	14.96

Rikkevoolukaitse 3F 25A	Espak	CTI9S	21.90	1	21.90
Automaatkaitse 3F C20A	Espak	K60N	8.33	1	8.33
Null-latt DIN liistule	Espak	N/7	0.90	1	0.90
Maanduslatt DIN liistule	Espak	SL/7	0.90	1	0.90
Tööstusvoolu pistik	Espak	SPECTOR	3.08	1	3.08
Faasilatt	Espak	57M HORA ETI	20.63	1	20.63
Elektrikilp	Espak	90912124	16.20	1	16.20
Kaabel 6mm ²	Espak	H05RR-F	2.85	10	28.50
Kontaktliist	Farnell	1386250000	29.08	1	29.08
Lülitid DIN liistule	Bauhof	595871	4.50	3	13.50
Pealüliti	Espak	K30C003AP	10.58	1	10.58
Mõõtekontaktid	Farnell	76-1658	3.04	6	18.24
Kokku	-	-	-	-	231.14

5.1.3. Lisakulutused

Tabel 6. Lisakulud

Kululiik	Toote hinnad on võetud	Hind, €
Kinnitusvahendid (poldid ja mutrid)	Bauhof	17.95
Joote tina	Bauhof	3.75
Juhtmed	Bauhof	1.25
Kokku		22.95

5.2. Tööjõukulu

Tööjõukulusse arvestas autor kogu tema poolt tööle kulunud aja. Kõige rohkem kulus aega projekteerimisele. Tööde hinnad määras autor Taavi Rokka 2021 aastal koostatud lõputöö näitel [4]. Õppestendi projekteerimisele, sõitudele ning koostamisele kulunud aeg ja hinnanguline maksumus on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 7).

Tabel 7. Tööjõukulud liigiti, tööde kestvus ja maksumus

Tööliik	Kulunud aeg, h	Tunnihind, €	Maksumus, €
Projekteerimine	50	40	2000
Komplekteerimine	30	15	450
Möödistamistööd	10	30	300
Autoril liiklemiseks kulunud aeg	20	10	200
Kokku	110	-	2950

6. ÕPPESTENDI KOMPLEKTEERIMINE

Õpepstiendi komplekteeriti osaliselt Tallinna Tehnikakõrgkoolis ja autori enda kodus. Stendi kokku panemine algas raamist, sest selle varuosad jõudsid kõige varem kohale. Järgmiseks sai stendile paigaldatud eesmine tahvel, laadija ning ülejäänud komponendid. Tagakülj valmis viimasena, koos elektrikilbi ja vooluvõrgu ühendustega. Valminud õpepstiendist on pildid (Sele 17).



Sele 17. Pildid valminud elektriauto laadija õpepstiendist

6.1. Kasutatud vahendid ja tööriistad

Isikukaitsevahendid:

- Töökindad
- Kaitseprillid

Käsitööriistad:

- Kruvikeerajad
- Kuuskantvõtmed
- Lehtvõtmed
- Jootekolb
- Ketaslõikur (Makita)
- Kaablitangid

Mõõtevahendid:

- Metalljoonlaud
- Mõõdulint
- Mehaaniline nihkkaliiber
- Digitaalne multimeeter

Muud vahendid:

- Sülearvuti, *ASUS*

KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus omandas autor teadmised elektriauto laadija õppevahendi loomisest. Praktiliste tööde käigus valmis uus õppesend. Õppesend on mobiilne, kerge ja lihtsasti kasutatav. Kõik õppetöökõ vajalikud mõõtekohad on märgistatud, ohutud ja lihtsasti ligipääsetavad.

Lõputöö kirjalik osa algab õppesendi eesmärgist õppetöös ja laadimisprotsessi kirjeldusega. Õppesendile projekteeriti raam alumiiniumprofiilidest, tagamaks kerge kaalu ja sarnasuse juba Tallinna Tehnikakõrgkoolis olevate õppesendidega. Õppesendil on kaks plastikust tahvlit, mille vahelist ruumi on kasutaud elektriühenduste loomiseks ja ohutuse tagamiseks nende peitmisega. Stendi esikülje peamine komponent on BMW i Wallbox laadija, millega saab laadida pistik-hübriidautosid ja elektriautosid. Stendile on paigaldatud neli lülitit voolutugevuse muutmiseks, et panna laadija tööle erinevates voolutugevus režiimides, tänu millele saavad õpilased näha mõõteseadmetega, mis muutub. Valitud voolutugevust kuvab ka stendile paigaldatud ekraan. Stendile on loodud pinge, voolutugevuse ja ostilloskoobi mõõtekohad, mis on ka vastavalt märgistatud. Õppesendi tagaküljel on elektrikilp, milles on rikkevoolukaitse ja automaatkaitse, tagamaks ohutust mitmeastmeliselt. Elektrikilbis on lisaks Arduino ja selle toiteplokk. Arduinot kasutatakse voolutugevuse muutmiseks, mehaaniliste lülitite juhtimiseks elektrooniliselt NPN transistorite abil.

Õppesendil kasutatav laadija ja selle standardid on kirjeldatud töö teises pooles. Lõputöö koostamiseks kulunud vahendid ja aeg on kirjeldatud kuluarvestuse peatükis. Töö viimases osas on kirjeldatud komplekteerimiseks kasutaud tööriistu.

Eesmärk projekteerida koolile terviklik, mobiilne õppevahend, selgitamaks võimalikult detailselt ja visuaalselt elektriauto laadimise tööpõhimõtet ja protsessi, sai täidetud ning õppesend on kompaktne, ohutu ja kasutajasõbralik.

SUMMARY

During the thesis, the author acquired knowledge about the creation of an electric car charger teaching board. The result of the practical work is a new study panel. The educational stand is light, mobile and easy to use. All measuring points necessary for teaching are marked, safe and easily accessible.

The written part of the thesis begins with the purpose of the educational board in teaching and a description of the loading process. A frame made of aluminum profiles was designed for the teaching panel to ensure light weight and similarity to the educational boards already in the Tallinn University of Applied Sciences. The teaching stand has two plastic boards. To ensure safety, electrical connections are placed in the space between these two boards. At the front of the teaching board, the main component is the BMW i charger, which can be used to charge plug-in hybrids and electric cars. Four switches are placed on the stand to change the amperage which allows the charger to work in different modes. That way students can determine changes with measuring devices. The screen installed on the board also displays the currently selected amperage. Places for measuring voltage, amperage and oscilloscope are installed on the stand, which are also marked accordingly. There is an electrical panel on the back of the teaching board. To ensure safety in several stages, the electrical panel is equipped with residual current protection and an automatic circuit breaker. In addition, the electrical panel contains an Arduino and its power supply. Arduino is used to change the current to control mechanical switches electronically by using NPN transistors.

The charger used on the teaching board and its standards are described in the second half of the thesis. The resources and time spent on preparing the thesis are described in the chapter on cost accounting. The last part of the work describes the tools used for the assembly.

The goal of designing a complete mobile educational tool for the school to explain the working principle and process of electric car charging in as much detail and visually as possible was fulfilled, and the educational board is compact, safe and user-friendly.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] T. E. Times, „Ostsilloskoobi arengulugu ja huvitavaid fakte,“ The Epoch Times, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.epochtimes.ru/content/view/77811/5/>. [Kasutatud 2023].
- [2] M. Mültin, „How KOSTAL uses RISE V2G to test ISO 15118 onboard charge controllers,“ Switch HQ, 19 November 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.switch-ev.com/blog/how-kostal-uses-risev2g-to-test-iso15118-onboard-charge-controllers>. [Kasutatud 2023].
- [3] „Digital Multimeter Measurement Fundamentals,“ NATIONAL INSTRUMENTS CORP., 6 Veebruar 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ni.com/en-us/shop/electronic-test-instrumentation/digital-multimeters/dmm-measurement-fundamentals.html>. [Kasutatud 2023].
- [4] H. E. F. K. G. K. R. Aziz Rachid, „Electric Vehicle Charging Systems: Comprehensive Review,“ 26 Detsember 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/1/255>. [Kasutatud 2023].
- [5] D. Laverga, „Working principle and structure of a lithium-ion battery,“ 29 Märts 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/working-principle-structure-lithium-ion-battery-davide-laverga/>. [Kasutatud 2023].
- [6] T. Rokka, „SÕIDUAUTO LEXUS GS300 BAASIL AUTOMAATKLIIMASEADME ÕPPESTENDI EDASIARENDUS JA PARENDAMINE,“ Tallinna Tehnika Kõrgkool, Tallinn, 2021.
- [7] M. F. Systems, „PROFILE 45 X 45 UL,“ MiniTec Framing Systems, 2017. [Võrgumaterjal]. Available:

- https://www.minitcframing.com/Products/Aluminum_Profiles/Aluminum_Profile_Catalog_Pages/20.1063_Aluminum_Profile_45x45_UL.html. [Kasutatud 2023].
- [8] M. F. Systems, „Power-Lock Fastener,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.minitcframing.com/Products/Profile_Fasteners/T-Slotted_Fastener_Catalog_Pages/21.1018_Power-Lock_Fastener.html.
- [9] V. Gromak, „Arduino Uno bracket for DIN rail,“ 11 Jaanuar 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:2726251>. [Kasutatud 2023].
- [10] B. AG, „BMW,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.bmw.com/en/footer/support-charging-products.html>. [Kasutatud 2023].
- [11] V. Poelgeest, „BMW Wallbox,“ Van Poelgeest, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.van-poelgeest.nl/bmw/i/wallbox/>. [Kasutatud 2023].
- [12] GWL a.s., „EVSE Kit For EV Charging Station/Cable Din Version,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://shop.gwl.eu/Electric-Cars/EVSE-kit-for-EV-charging-station-cable-DIN-version.html>. [Kasutatud 2023].
- [13] IQLaad B.V., „Proximity Pilot,“ IQLaad, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.iqlaad.com/knowledge-base/proximity-pilot/>. [Kasutatud 2023].

LISADE LOETELU

Lisa 1. Arduinole kirjutatud kood voolutugevuse muutmiseks.....	41
Lisa 2. Laboritöö 1	39
Lisa 3. Laboritöö 2	41
Lisa 4. Laboritöö 3	43
Lisa 5. Voolutugevuse muutmise ja kuvamise elektriskeem	46
Lisa 6. Õpeendi koostu joonis	47
Lisa 7. Stendi tahvli tagakülje joonis	48
Lisa 8. Stendi tahvli esikülje joonis	49

Lisa 1. Arduinole kirjutatud kood voolutugevuse muutmiseks

```
int Switch10A = 11;
int Switch13A = 10;
int Switch16A = 9;
int Switch20A = 8;

int LED1 = 2;
int LED2 = 3;
int LED3 = 4;

int LED1_State = 0;
int LED2_State = 0;
int LED3_State = 0;
int Switch10A_State = 0;
int Switch13A_State = 0;
int Switch16A_State = 0;
int Switch20A_State = 0;

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x20,16,2);

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    lcd.init();
    lcd.backlight();

    pinMode(LED1, OUTPUT);
    pinMode(LED2, OUTPUT);
    pinMode(LED3, OUTPUT);
    pinMode(Switch10A, INPUT);
    pinMode(Switch13A, INPUT);
    pinMode(Switch16A, INPUT);
    pinMode(Switch20A, INPUT);
}

void loop() {

    Switch10A_State=digitalRead(Switch10A);
    if (Switch10A_State == 1){
        digitalWrite(LED1, LOW);
```

```

digitalWrite(LED2, LOW);
digitalWrite(LED3, LOW);
lcd.print("10A");

while (Switch10A_State == 1){
  Switch20A_State=digitalRead(Switch20A);
  Switch16A_State=digitalRead(Switch16A);
  Switch13A_State=digitalRead(Switch13A);
  Switch10A_State=digitalRead(Switch10A);

  if (Switch16A_State == 1 || Switch13A_State == 1 || Switch20A_State == 1){
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    lcd.clear();
  }
  else if (Switch10A_State == 1) {
    digitalWrite(LED1, LOW);
    digitalWrite(LED2, LOW);
    digitalWrite(LED3, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
  }
}
}
else {
  digitalWrite(LED1, HIGH);
  digitalWrite(LED2, HIGH);
  digitalWrite(LED3, HIGH);
  lcd.clear();
}

Switch13A_State=digitalRead(Switch13A);
if (Switch13A_State == 1){
  digitalWrite(LED1, HIGH);
  digitalWrite(LED2, LOW);
  digitalWrite(LED3, LOW);
  lcd.print("13A");

  while (Switch13A_State == 1){
    Switch20A_State=digitalRead(Switch20A);
    Switch16A_State=digitalRead(Switch16A);

```

```

Switch13A_State=digitalRead(Switch13A);
Switch10A_State=digitalRead(Switch10A);

    if (Switch16A_State == 1 || Switch10A_State == 1 || Switch20A_State == 1){
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    lcd.clear();
    }
    else if (Switch13A_State == 1) {
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, LOW);
    digitalWrite(LED3, LOW);
    }
    else {
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    lcd.clear();
    }
}
}
else {
digitalWrite(LED1, HIGH);
digitalWrite(LED2, HIGH);
digitalWrite(LED3, HIGH);
lcd.clear();
}

Switch16A_State=digitalRead(Switch16A);
if (Switch16A_State == 1){
digitalWrite(LED1, LOW);
digitalWrite(LED2, HIGH);
digitalWrite(LED3, LOW);
lcd.print("16A");

while (Switch16A_State == 1){
Switch20A_State=digitalRead(Switch20A);
Switch16A_State=digitalRead(Switch16A);
Switch13A_State=digitalRead(Switch13A);
Switch10A_State=digitalRead(Switch10A);

    if (Switch20A_State == 1 || Switch13A_State == 1 || Switch10A_State == 1){
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);

```

```

    digitalWrite(LED3, HIGH);
    lcd.clear();
}
else if (Switch16A_State == 1) {
    digitalWrite(LED1, LOW);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, LOW);
}
else {
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    lcd.clear();
}
}
}
else {
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    lcd.clear();
}

Switch20A_State=digitalRead(Switch20A);
if (Switch20A_State == 1){
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, LOW);
    lcd.print("20A");

    while (Switch20A_State == 1){
        Switch20A_State=digitalRead(Switch20A);
        Switch16A_State=digitalRead(Switch16A);
        Switch13A_State=digitalRead(Switch13A);
        Switch10A_State=digitalRead(Switch10A);

        if (Switch16A_State == 1 || Switch13A_State == 1 || Switch10A_State == 1){
            digitalWrite(LED1, HIGH);
            digitalWrite(LED2, HIGH);
            digitalWrite(LED3, HIGH);
            lcd.clear();
        }
        else if (Switch20A_State == 1) {
            digitalWrite(LED1, HIGH);
            digitalWrite(LED2, HIGH);

```

```
    digitalWrite(LED3, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    lcd.clear();
  }
}
}
else {
  digitalWrite(LED1, HIGH);
  digitalWrite(LED2, HIGH);
  digitalWrite(LED3, HIGH);
  lcd.clear();
}
}
```

Lisa 2. Laboritöö 1



LABORITÖÖ 1 LAADIMISPINGE

Õppeaines: Auto – hübriid ja elektriajamid

Tehnikainstituut

Tallinn 2023

Laboritöö: Laadimispinge

Tutvu sõidukiga, pane kirja mis tüüpi sõidukiga on tegemist (pistik- hübriid või elektriauto) ja leia sõiduki veojõu **akupinge**.

Tutvu õppestendil oleva laadijaga, pane kirja mis tüüpi **pistik ja kaabel** on laadijal, mis **standardile** laadija vastab?

Määra õppestendil voolutugevus (10A) (**On** asend üleval, **Off** asend all) (**Joonis 1**), **vaata ekraanilt kas see kuvab määratud voolutugevust (joonis 2)** ning see järel tee restart laadijale **pealülitist (Joonis 3)**. Peale restarti võib auto laadijaga ühendada 20 sekundi möödumisel.

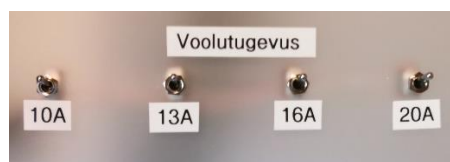
Ühenda **pingetester** vastavalt tabelis antud faaside või liinipinge vahele ja kanna tulemused tabelisse (**joonis 4**).

	L1-L2	L2-L3	L3-L1	L1-N
Mõõdetud pinge				

Ühenda ostsilloskoop faasidega L1, L2 ja L3 ning salvesta mõõtmisgraafik (**Joonis 4**).

Vasta küsimustele:

1. Kas laadija laeb ühe- või kolmefaasiliselt?
2. Kas tegemist on vahelduvoolu või alalisvoolu laadijaga?
3. Analüüsi ostsilloskoobi mõõtmisgraafikut ning leia pinge poolperioodi suurim väärtus? Leia graafikult sagedus ja arvuta pinge efektiivväärtus.



Joonis 1



Joonis 2



Joonis 3



Joonis 4

Lisa 3. Laboritöö 2



LABORITÖÖ 2 VOOLUTUGEVUS

Õppeaines: Auto – hübriid ja elektriajamid

Tehnikainstituut

Tallinn 2023

Laboritöö: Voolutugevus

1. Tutvu sõidukiga, pane kirja, tüüpi sõidukiga on tegemist (**pistik- hübriid** või **elektriauto**). Mis on sõiduki maksimaalne laadimise **voolutugevus**?
2. Tutvu õppestendil oleva laadijaga, pane kirja mis tüüpi **pistik ja kaabel** on laadijal, mis **standardile** laadija vastab?
3. Määra õppestendil voolutugevus (10A) (**On** asend üleval, **Off** asend all) (**Joonis 1**), **vaata ekraanilt kas see kuvab määratud voolutugevust (joonis 2)** ning see järel tee restart laadijale **pealülitist (Joonis 3)**. Peale restarti võib auto laadijaga ühendada 20 sekundi möödumisel.

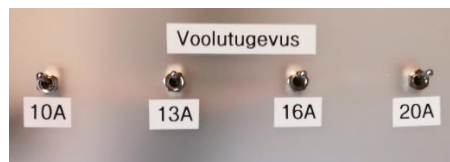
NB! Enne voolutugevuse uuesti muutmist eemalda laadija pistik auto küljest ja korda uuesti eelmist punkti.

4. Mõõda kõikides voolutugevus režiimides ampertangidega juhtmeasadest **L1, L2 ja L3 (joonis 4)** voolutugevust ja kanna all järgnevasse tabelisse.

	L1	L2	L3
10A			
13A			
16A			
20A			

Vasta küsimustele:

1. Mis juhtub olukorras, kus laadija on seadistatud 20A peale aga sõiduki maksimaalne laadimise voolutugevus on 16A? ja vastupidi?
2. Arvuta laadimisvõimsus sõiduki maksimaalse voolutugevuse juures (võimsust saab arvutada, kui on teada laadimispinge, mis leitakse Laboritöö 1).
3. Arvuta laadimise aeg min ja max voolutugevusega. Selleks otsi sõiduki aku neto mahtuvus (kWh).



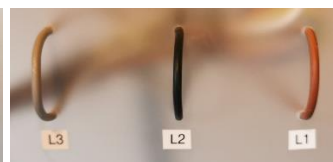
Joonis 1



Joonis 2



Joonis 3



Joonis 4

Lisa 4. Laboritöö 3



LABORITÖÖ 3 CONTROL PILOT (CP) SIGNAALI MÕÕTMINE

Õppeaines: Auto – hübriid ja elektriajamid

Tehnikainstituut

Tallinn 2023

Laboritöö: Control Pilot (CP) signaali mõõtmine

1. Ühenda ostsiloskoop (**joonis 4**) näidatud kontaktidega õppestendiga ja ava programm arvutis.
2. Määra õppestendil voolutugevus (10A) (**On** asend üleval, **Off** asend all) (**Joonis 1**), **vaata ekraanilt kas see kuvab määratud voolutugevust (joonis 2)** ning see järel tee restart laadijale **pealülitist (Joonis 3)**. Kui laadija ei ole autoga ühendatud, mis on CP signaali kõrguseks?
3. Ühenda **laadija pistik** autoga. Jälgi ostsiloskoobilt CP signaali, mis muutus?
4. Peale pistiku ühendamist tekkib pinge langus tänu **Proximity Pilot** kontakti ja **maanduse** vahel olevale takistile. Milleks see vajalik on?
5. Kui laadija ja auto vaheline ühendus on loodud alustatakse laadimist. Mis muutub peale laadima hakkamist CP signaaliga?

NB! Enne voolutugevuse uuesti muutmist eemalda laadija pistik auto küljest ja vali seejärel uus voolutugevus (10A, 13A, 16A või 20A) ning tee laadijale restart pealülitist.

6. Salvesta kõikides voolutugevus režiimides ostsiloskoobi graafik. Analüüsisides graafikuid leia, mis on pulsilaius, pikkus ja sagedus ning kanna need all järgnevasse tabelisse. Abiks **joonis 5**.

	Pulsi laius %	Pulsi kõrgus V	sagedus
10A			
13A			
16A			
20A			



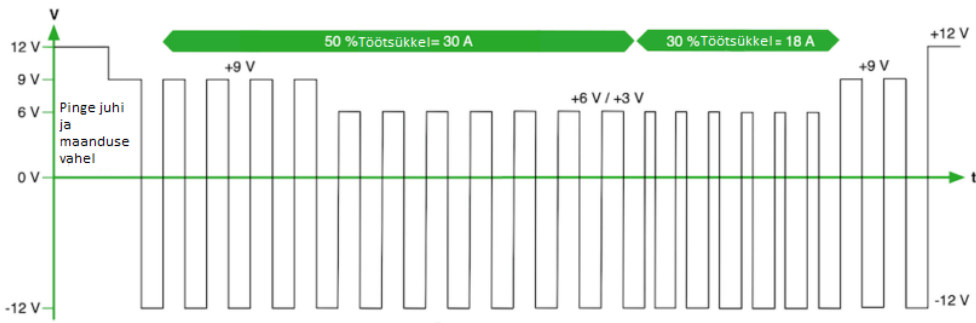
Joonis 1

Joonis 2

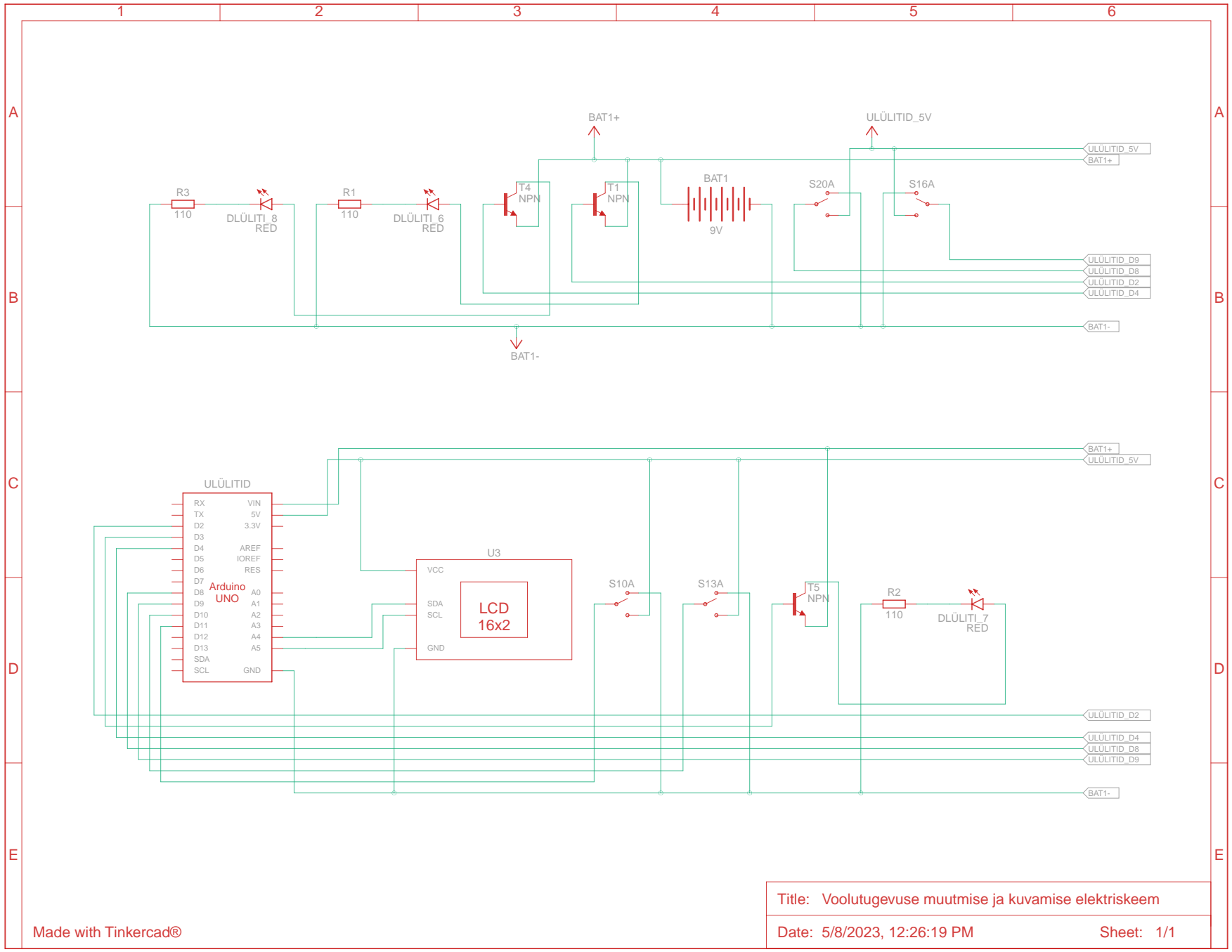
Joonis 3

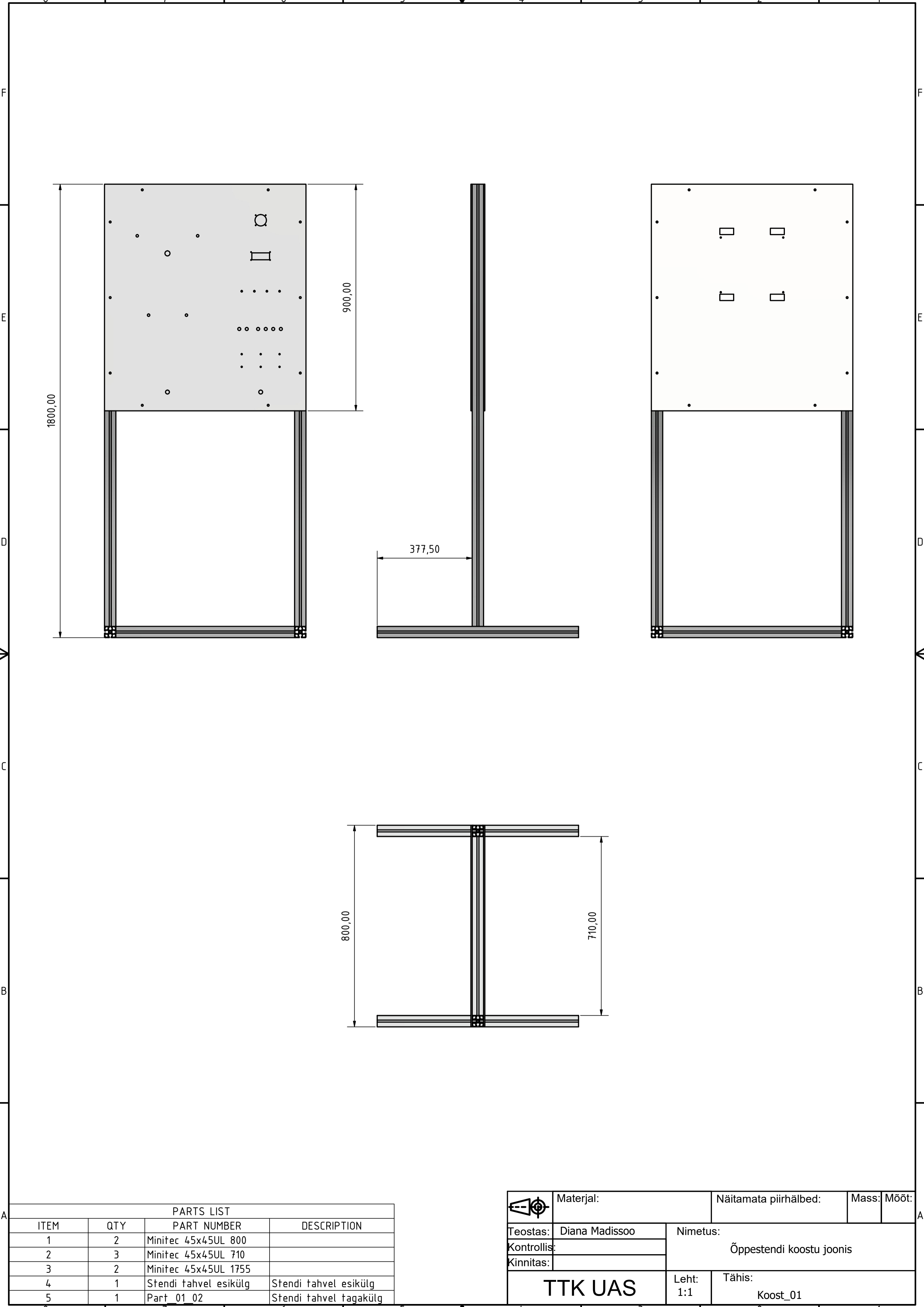
Joonis 4

Joonis 5. voolutugevuse muutmise skeem



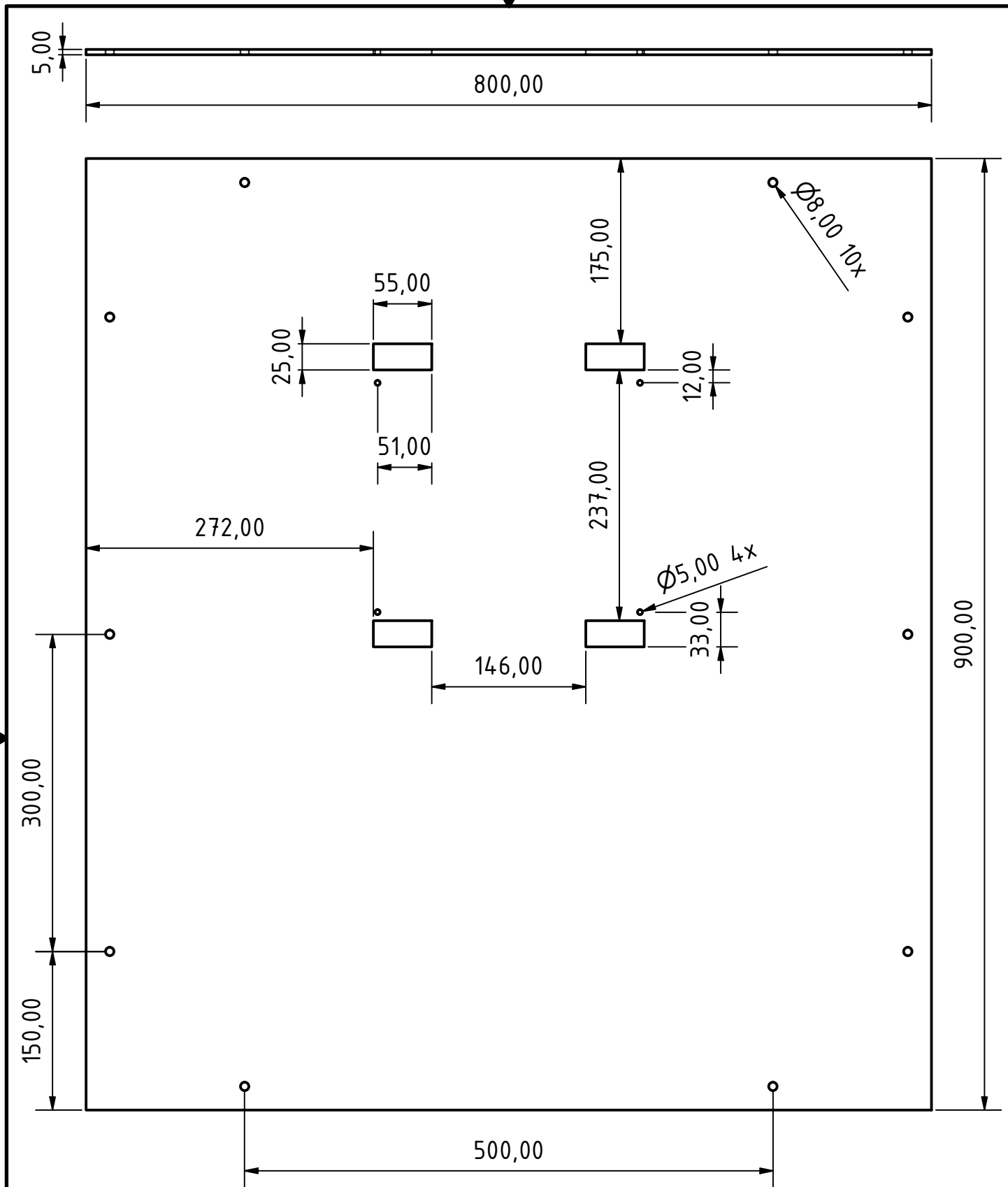
pulsilaius	Voolutugevus
96 %	80 A
95 %	77,5 A
90 %	65 A
85 %	51 A
80 %	48 A
70 %	42 A
60 %	36 A
50 %	30 A
40 %	24 A
30 %	18 A
25 %	15 A
16 %	9,6 A
10 %	6 A



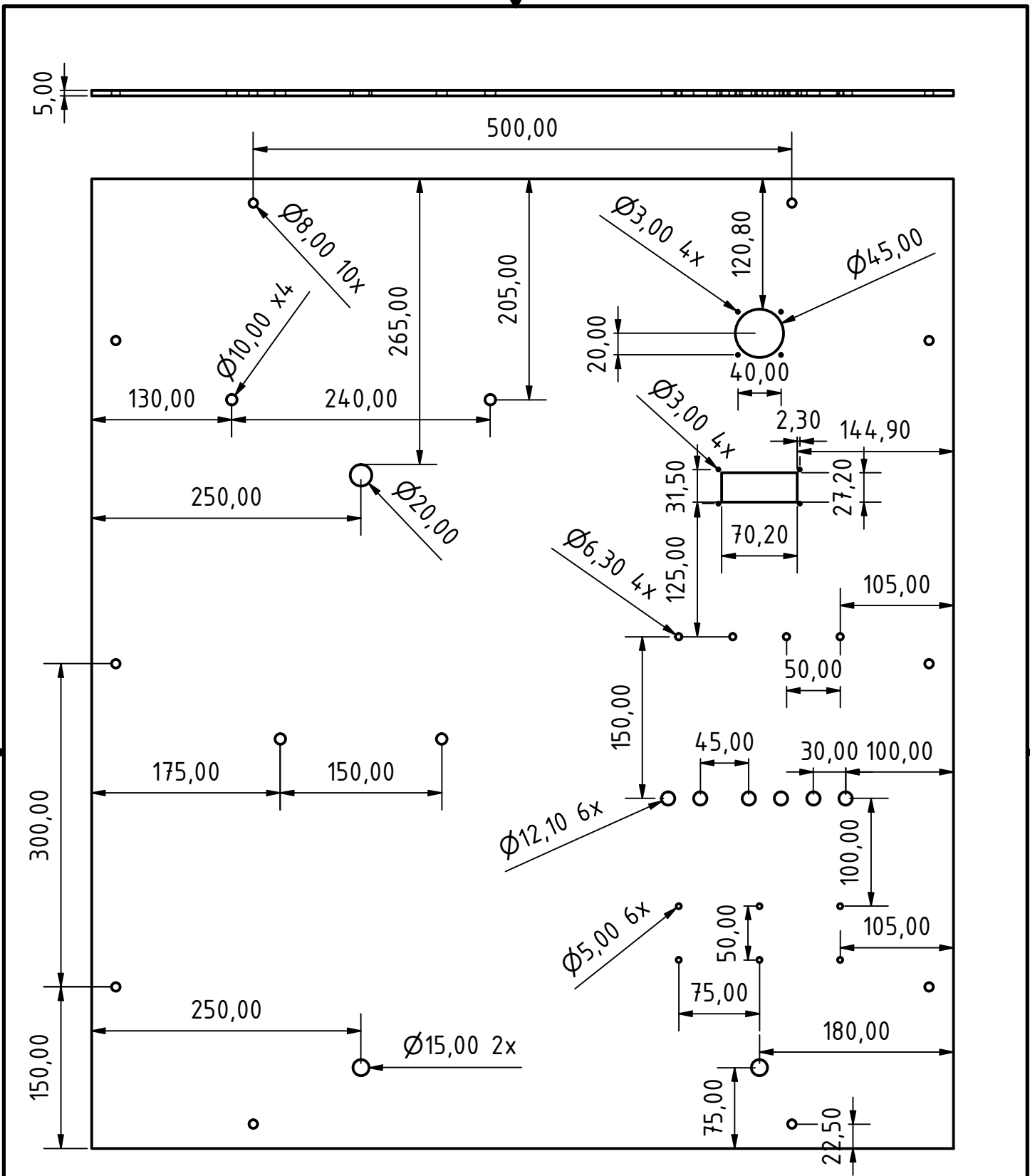


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	Minitec 45x45UL 800	
2	3	Minitec 45x45UL 710	
3	2	Minitec 45x45UL 1755	
4	1	Stendi tahvel esikülg	Stendi tahvel esikülg
5	1	Part_01_02	Stendi tahvel tagakülg

	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	Teostas: Diana Madissoo	Nimetus: Õpepistendi koostu joonis		
	Kontrollis:			
Kinnitas:	Leht: 1:1	Tähis: Koost_01		
TTK UAS				



	Materjal: ABS Plastic	Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	Teostas: Diana Madissoo	Nimetus: Stendi tahvli tagakülje joonis		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TTK UAS		Leht: 1:1	Tähis: Part_01_02	



	Materjal: ABS Plastic		Näitamata piirhälbed:		Mass:	Mõõt:
	Teostas: Diana Madissoo	Nimetus: Stendi tahvli esikülje joonis				
Kontrollis:						
Kinnitas:						
TTK UAS		Leht: 1:1	Tähis: Part_01_01			