



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

MEHHATROONIKAINSTITUUT  
Kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool

MHT40LT

*Siim Suviste*

**RUUMI SÜSINIKDIOKSIIDI (CO<sub>2</sub>)  
KONTSENTRATSIOONI MÕÕTMISE SEADE**  
Bakalaureusetöö

Autor taotleb  
tehnikateaduste bakalaureuse  
akadeemilist kraadi

Tallinn  
2015

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis ..... juhendamisel

“.....” .....2015. a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....” .....2015. a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....2015. a.

..... allkiri

# SISUKORD

BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE .....	4
EESSÕNA .....	6
LÜHENDID .....	7
SISSEJUHATUS.....	8
PÕHIOSA.....	9
1. TURUANALÜÜS .....	9
2. PROJEKTEERITAVA SEADME FUNKTSIOONID.....	10
3. ELEKTROONIKALAHENDUS .....	11
3.1 Sensormooduli valik.....	11
3.2 Kuvari valik.....	12
3.3 Trükkplaadi komponentide valik .....	13
3.4 Trükkplaadi toitelahendus .....	15
3.5 Sensormooduli, kuvari ja kruviterminalide ühendusskeem .....	16
3.6 Transiiveri ühendusskeem.....	17
3.7 Releelülituse ühendusskeem .....	18
3.8 PCB disain ja tootmiseks ettevalmistamine .....	19
4. TOOTE ALGSEADISTAMINE .....	21
4.1 Sensormooduli ühendamine personaalarvutiga.....	21
4.2 Analooväljundi seadistamine .....	22
4.3 Automaatne taustjusteerimine .....	23
4.4 LCD näidu seadistamine .....	24
5. KORPUSE MEHAANILISED LAHENDUSED.....	26
5.1 Ettevalmistused korpuse projekteerimiseks .....	26
5.2 Korpuse projekteerimine .....	27
5.3 Korpuse tootmislahendus .....	29
5.4 Esikaane kleebis .....	30
5.5 Seadme montaaž ja lõplik koost.....	31
6. TEHNILISE DOKUMENTATSIOONI KOOSTAMINE .....	32
6.1 Seadme põhiparameetrid .....	32
6.2 Mehaaniline informatsioon .....	33
6.3 Tarkvaraline informatsioon .....	33
6.4 Ohutusnõuded.....	35

KOKKUVÕTE .....	36
SUMMARY .....	37
KASUTATUD KIRJANDUS .....	38
LISAD .....	40
Lisa 1. Projekteeritud trükkplaadi täielik elektroonikaskeem .....	40
Lisa 2. Seadme korpuse detailide tööjooniste graafika .....	41
Lisa 3. Kleebise tootmiseks vajalik joonis .....	43
Lisa 4. Demonteeritud seadme 3D mudeli illustratsioonid .....	44
Lisa 5. Viimistletud illustratsioonid seadme 3D mudelist .....	45
Lisa 6. Kasutajajuhendis esitatavad olulisemad mõõtmised .....	46
Lisa 7. Seadme installatsioonijuhend .....	47

## **BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE**

2015. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Siim Suviste, 123476MAHB

Õppekava: MAHB02/09

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: teadur, Andrei Pokatilov

Konsultandid: Madis Einasto, Evikon MCI OÜ juhatuse esimees, 553 7978

### **BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:**

(eesti keeles) **Ruumi süsinikdioksiidi (CO<sub>2</sub>) kontsentratsiooni mõõtmise seade**

(inglise keeles) **Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) indoor concentration measurement device**

### **Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

<b>Nr</b>	<b>Ülesande kirjeldus</b>	<b>Täitmise tähtaeg</b>
<b>1.</b>	Teema püstitamine. Turuanalüüs – sarnaste olemasolevate toodete tehniliste parameetrite ja maksumuste võrdlus.	22.03.2015
<b>2.</b>	Elektroonikaskeemi koostamine, sensormooduli ja komponentide valik, trükkplaadi projekteerimine, tootmiseks ettevalmistamine.	05.04.2015
<b>3.</b>	Sensormooduli tarkvara algseadistamine ja seadme edasiseks (kasutajapoolseks) konfigureerimiseks vajaliku tarkvaralise info määratlemine.	19.04.2015
<b>4.</b>	Mehaanika projekteerimine – seadme korpuse projekteerimine ja tööjooniste koostamine, sobiva tootmislahenduse leidmine.	10.05.2015
<b>5.</b>	Tehtud töö lõplik vormistamine, köitmine ja hindamisele esitamine.	18.05.2015

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** Käesoleva töö eesmärgiks on projekteerida konkurentsivõimeliste tehniliste parameetrite ja maksumusega süsinikdioksiidi (CO<sub>2</sub>) andur. Töö käigus viiakse läbi turuanalüüs sarnaste toodete kohta, käsitletakse seadme elektroonikaskeemi ja trükkplaadi projekteerimist, korpuse tööjooniste koostamist ning toote tarkvaralist algseadistamist.

**Töö keel:** eesti keel

Kaitsemistaotlus esitada hiljemalt 18.05.2015

**Töö esitamise tähtaeg** 22.05.2015

**Üliõpilane** Siim Suviste

/allkiri/ .....

kuupäev.....

**Juhendaja** Andrei Pokatilov

/allkiri/ .....

kuupäev.....

## **EESSÕNA**

Käesoleva bakalaureuse lõputöö teema kujunes välja autori poolt erialasel praktikal läbiviidud projekti käigus ettevõttes Evikon MCI OÜ. Lõputöö autor otsustas nimetatud teema kasuks isikliku huvi tõttu seadme edasiarenduse vastu. Seadme projekteerimisel arvestati kõiki ettevõtte poolt esitatud nõudeid selle funktsioonidele ning seadme esialgne versioon valmis Evikon MCI OÜ juhatuse esimehe Madis Einasto juhendamisel.

Autor soovib projekti käigus konsultatsioonide andmise eest tänada Madis Einastot ning Mesotech OÜ kollektiivi.

## LÜHENDID

CO <sub>2</sub>	süsinikdioksiid, keemiline ühend; i.k <i>Carbon dioxide</i>
NDIR	mittehajuval infrapunal põhinev (sensor); i.k <i>Nondispersive Infrared (Sensor)</i>
RTU	kaugedastamise üksus; i.k <i>Remote Terminal Unit</i>
LED	valgusdiod; i.k <i>Light-Emitting Diode</i>
EUR	euro, rahaühik
RH	suhteline niiskus; i.k <i>Relative Humidity</i>
LCD	vedelkristallkuvar; i.k <i>Liquid-Crystal Display</i>
VDC	alalisvoolu pinge; i.k <i>Voltage of Direct Current</i>
PCB	trükkplaat; i.k <i>Printed Circuit Board</i>
UART	universaalne asünkroonne vastuvõtja/saatja; i.k <i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
MOSFET	isoleeritud paisuga väljatransistor; i.k <i>Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor</i>
USB	universaalne järjestiksiin; i.k <i>Universal Serial Bus</i>
PC	personaalarvuti; i.k <i>Personal Computer</i>
ABC	automaatne taustjusteerimine; i.k <i>Automatic Background Calibration</i>
EEPROM	elektriliselt eemaldatav ja programmeeritav lugemiskaitstud mälu; i.k <i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
RAM	muutmälu; i.k <i>Random-Access Memory</i>
PPM	miljondikosa; i.k <i>Parts per Million</i>
VAC	vahelduvvoolu pinge; i.k <i>Voltage of Alternative Current</i>

## SISSEJUHATUS

Siseruumide õhu kvaliteet on termin, mida kasutatakse ruumi õhu koostise ja ruumis viibijate mugavustaseme vahelise seose kirjeldamiseks [1]. Peamine meetod siseruumide adekvaatse õhu kvaliteedi tagamiseks on õhus leiduvate ebamugavust tekitavate tolmuosakeste või gaaside kontsentratsiooni vähendamine õhu ventileerimise teel, segades siseõhku väliskeskkonna õhuga. Üheks nendest gaasidest on süsinikdioksiid (CO<sub>2</sub>), mille kontsentratsioon on otseselt sõltuv inimtegevusest ning heaks indikaatoriks ruumi õhu võrdlemisel välisõhuga [2]. Antud bakalaureusetöö eesmärgiks oligi projekteerida ruumi süsinikdioksiidi andur, mis oleks võimeline selle kontsentratsiooni reaajas korrigeerima.

Koostatud projekti võib üldistatult jagada järgmisteks osadeks:

- Analoogilistele seadmetele orienteeritud turuanalüüsi läbi viimine
- Projekteeritava seadme poolt täidetavate funktsioonide määratlemine
- CO<sub>2</sub> sensormooduli ja elektroonikakomponentide valimine
- Trükkplaadi projekteerimine
- Korpuse ja seadme mehaaniliste lahenduste projekteerimine
- Toote algseadistamine ja dokumentatsiooni koostamine

Elektroonika- ja mehaanikalahenduste projekteerimiseks kasutati käesolevas töös Altium Designer® 13, Gerbv 2.6.1 ja SolidWorks® 2013 tarkvarasid. Toote seadistamisel kasutati Modbus sideprotokolli ning sensormooduli tootja poolt spetsiaalselt loodud tarkvaraprogrammi Gaslab®.

Projekteerimisel võeti kaalukalt arvesse ka kasutajasõbralikkuse aspekti, et tagada seadme lihtne konfigureeritavus ja paigaldatavus vastavalt kasutusvajadustele. Seade on mõeldud paigalduseks kodu-, kontori-, konverentsi-, lao- või muudes ruumides, kus õhu kvaliteedi regulatsioon on vajalik.



# PÕHIOOSA

## 1. TURUANALÜÜS

Turuanalüüsi eesmärk on siinkohal välja selgitada käesolevast projektist tuleneva toote majanduslike ja tehniliste näitajate poolsed eelised võrreldes sarnaste olemasolevate toodetega. Tabelis 1.1, kus on esitatud nelja sarnase populaarsema anduri omadused ja hinnad, selgub taoliste seadmete suhteliselt kõrge maksumus. Samuti puuduvad kahel odavamal neist näiteks analoogväljundid ja releefunktsioon, mille tõttu muutub nimetatud anduritega ruumi ventilatsioonisüsteemi reguleerimine küllaltki keerukaks. Üldisemast turu-uuringust olemasolevate süsinikdioksiidi sensormoodulite, elektroonika komponentide ja trükkplaatide valmistajate kohta selgub, et juba väiksemas tiraažis (näiteks 100 tk) on võimalik turule tuua odavam, kuid samas konkurentsivõimeliste tehniliste näitajatega toode. Antud projekti raames on aga maksumuse vähendamise ja lihtsuse mõttes otsustatud välja jätta muude õhu parameetrite (temperatuur, suhteline niiskus jne) mõõtmine.

Tabel 1.1. Erinevate õhu kvaliteedi andurite tehnilised parameetrid ja maksumused

Toote nimetus	Mõõteparameetrid	Mõõtevahemik	Mõõtemääramatus	Toote põhilised omadused	Hind (EUR)
CO2Mini RAD-0310 Monitor	CO <sub>2</sub> kontsentratsioon Temp.	(0...3000) µm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>  (0...50) °C	100 µm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>  1,5 °C	NDIR sensor, LED õhu kvaliteedi indikaatorid, kuvar [3]	91,60
Extech CO100 CO2 Monitor	CO <sub>2</sub> kontsentratsioon Suht. niiskus Temperatuur	(0...9999) µm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>  (0,1...99,9)% RH (-10...60) °C	75 µm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>  5% 0,5 °C	automaatne justeerimine, min/max näidu mälu, hooldusvaba NDIR sensor, kuvar, kell [4]	212,80
Telaire Ventostat T8300	CO <sub>2</sub> kontsentratsioon Suht. niiskus Temperatuur	(0...2000) µm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>  (0...99)% RH (0...50) °C	30 µm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>  3,5% 0,8 °C	automaatne justeerimine, veekindel sensor, analoogväljundid, relee, kuvar [5]	291,40
Vaisala GMT222 CO2 Transmitter	CO <sub>2</sub> kontsentratsioon	(0...2000) µm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> kuni (0...10 <sup>4</sup> ) µm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	1,5% mõõtepiirkonnast + 2% näidust	silikon-baasil NDIR sensor, analoogväljundid, relee, kuvar [6]	864,90

## 2. PROJEKTEERITAVA SEADME FUNKTSIOONID

Toote poolt täidetavate funktsioonide määratlemine kuulub mistahes seadme projekteerimise puhul lahutamatult esimeste ülesannete hulka. Eranditult sai ka käesoleva projekti konseptsioon alguse just kasutajapoolsete võimaluste kindlaks määramisest ning nende teostamise võimalikkuse hindamisest.

Eesmärgiga kujundada toode kasutaja poolt võimalikult lihtsalt ja mugavalt kasutatavaks, otsustati koondada kasutajapoolsed elektrilised sisse- ja väljaviigid kompaktselt kruviterminalile, mis paigutub seadme elektroonika trükkplaadile. Kuna projekt seisnes süsinikdioksiidi kontsentratsiooni reaajas korrigeeriva anduri projekteerimises, kujunes releefunktsioon, millega oleks võimalik juhtida ruumi ventilatsiooni või muid süsteeme, vaieldamatult seadme üheks osaks. Turul konkureerivate seadmete poolt pakutavast lugemi analoogväljundi kasutamise võimalusest tulenevalt on otsustatud ka antud projekti raames see võimalus kasutajale tagada. Analoogväljundi vahemiku valik ning seadme mõõtevahemik ja mõõtetäpsus selguvad aga projekti elektroonikalahenduse ja -komponentide valiku käigus. Seadmele on otsustatud lisada ka RS-485 ModBus RTU (kaugedastamise üksus) kasutajaliides, reaalaja CO<sub>2</sub> näidu kuvar ning LED (valgusdiod) indikaator releelülitusasendi teavitamisest.

Arvestades eelnevat võib seadme funktsioonid kokku võtta järgnevalt:

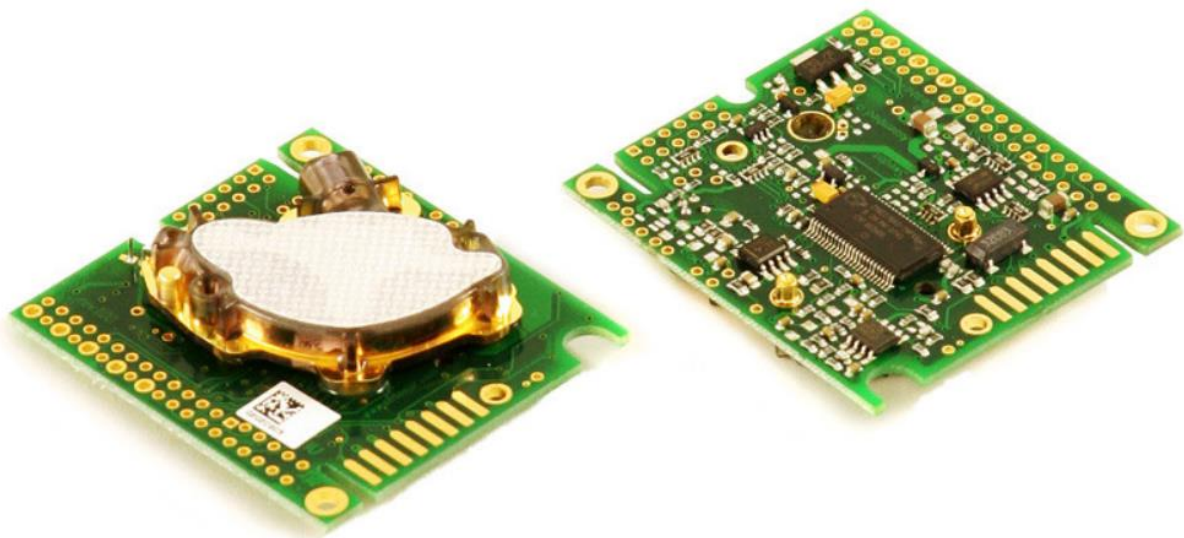
- Reaalaja mõõtmisi kirjeldav analoogväljund
- Reaalaja mõõtmisi esitav kuvar
- Releelülitus CO<sub>2</sub> näidu piirväärtuse ületamisel
- Releelülituse valgusindikaator
- ModBus RTU kasutajaliides

### 3. ELEKTROONIKALAHENDUS

#### 3.1 Sensormooduli valik

Projekteeritavale seadmele valiti elektroonika valmislahendusega süsinikdioksiidi sensor, et lihtsustada antud projekti raames elektroonika projekteerimist ning tagada seadme suurem mõõtetäpsus. Sensormooduli valikut mõjutasid mooduli tehnilised parameetrid, nende kokkulangevus määratletud seadme funktsioonidega ning mooduli maksumus. Valitud mooduliks osutus tootja CO2Meter poolt loodud SE-0018 K30 STA (vt sele 3.1), mille peamised tehnilised parameetrid on esitatud järgnevalt [7]:

- NDIR (mittehajuval infrapunal põhinev) sensor koos automaatse taustkalibratsiooniga
- Mõõtmised iga 2 sekundi tagant
- Maksimaalne mõõtevahemik: (0...10000)  $\mu\text{m}^3/\text{m}^3$
- 2 analoog- (muudetava vahemikuga) ja digitaalväljundit
- Eelsoojenemisaeg:  $\leq 1$  minut
- Mõõtemääramatus:  $30 \mu\text{m}^3/\text{m}^3 + 3\%$  mõõdetud väärtusest
- Rõhusõltuvus:  $+1,6\%$  näidust kPa kohta kõrvalekaldest normaalarõhust 100 kPa
- Enesediagnostika: täielik sensormooduli funktsioonide kontroll
- Hooldusintervall: hooldus pole vajalik
- Sensori oodatav eluiga:  $> 15$  aasta



Sele 3.1. K-30 CO<sub>2</sub> sensormoodul [8]

## 3.2 Kuvari valik

Elektroonilise kuvari valikul osutusid peamisteks mõjuriteks kuvari hind, mõõtmed, kasutamise lihtsus ning ka väline esteetilisus. Kuna projekteeritava seadme algne konseptsioon nägi ette seda võimalikult kompaktsena, tuli kuvar mõõtmetelt valida võimalikult väike, kuid samas piisavalt suur, et näit oleks suhteliselt kaugelt ilma vaevata nähtav. Tähtsaks faktoriks lõpliku valiku tegemisel osutus ka lihtsa, kuid usaldusväärse mehaanilise kinnituse olemasolu, millega oleks võimalik kuvarit seadme korpuse külge kinnitada ning sellelt vajadusel eemaldada. Väljavalitud kuvariks osutus SB 400-EB-W (vt sele 3.2), mille olulisemad tehnilised tunnused on esitatud järgnevalt [9]:

- 3,5 kohaline must LCD (vedelkristallkuvar)
- LED taustvalgustus (valge)
- Toitepingeks 5 V alalispinget (VDC)
- Seadistatav täisskaala lugem
- Seadistatavad komakohad
- Madalpinge hoiatusindikaator



Sele 3.2. SB 400-EB-W LCD [9]

### 3.3 Trükkplaadi komponentide valik

Trükkplaadi (PCB) elektroonikaskeemi korrektseks koostamiseks valiti esmalt välja selleks vajalikud komponendid. Kuna elektroonikaskeemi koostamisele järgnev PCB disainiprotsess eeldas väljavalitud komponentide jalajälgede (i.k. *footprint*; trükkplaadi osa, mis hõlmab füüsiliselt komponendi alla jäävat osa ja komponendi jootepunkte) info olemasolu, eelistati valikul komponente, mis omasid rahvusvaheliselt enamkasutatavaid jalajälgi.

Väljavalitud sensormoodul SE-0018 K30 STA otsustati trükkplaadile kinnitada isaste-emaste pistikute abil, kus isased pistikud joodetakse sensormooduli ning emased pistikud projekteeritava trükkplaadi vastavatesse pesadesse. Tagamaks piisav mehaaniline kinnitus ning kõigi vajalike signaalide vahetus trükkplaadi ja sensormooduli vahel, otsustati seda teha 2x10, 1x5 ning 1x2 isaste ja emaste pistikutega. Kuvari ja releelülituse indikaatori LED-i ühendajaks trükkplaadiga määrati samuti vastavalt 1x5 ja 1x2 pistikud, kus isased pistikud joodetakse juhtmete vahendusel nimetatud seadmete külge. Kuvari mõõteskaala reguleerimiseks kasutati kahte selle infolehe järgi arvutatud väärtusega takistit. Kasutajapoolsed elektrilised sisse- ja väljaviigud ühendati DG330-5.0 kruviterminalidele ning seadme sisse- ja väljalülitamiseks otsustati kasutada GreatecS RK8 seeria lülitit, mis ühendati trükkplaadile 1x2 isaste-emaste pistikute ja juhtmete vahendusel.

ModBus RTU kasutajaliidese loomiseks valiti välja SN65HVD10 transiiver, mille väljundsignaalide pingestabiliseerimiseks kasutati SM712 supressordiodi ning voolupiirajateks NANOSMDC020F kaitselüliteid. Rele ning selle lülituse valgusindikaatori puhul otsustati vastavalt FRM18NA ning R300TG4D kasuks, kus mõlemad töötavad 12 V sisendpingega ning viimane neist sisaldab sisseehitatud takistit. Releelülituse loogikas kasutati PMGD175XN väljatransistori, 10MQ060N Schottky diodi ning 0603 jalajäljega takistit. Kuna seadme toite puhul otsustati tööstuslikult standartse 24 VDC kasuks, vajas skeem ka eelneva komponentide valiku tõttu 12 V, 5 V ning 3,3 V väljundiga pingeregulaatoreid, milledeks valiti vastavalt L78M12CDT1, LP2980AIM5-5.0 ning LP2980AIM5-3.3. Viimaste väljundite stabiliseerimiseks kasutati ka 0805 jalajäljega kondensaatoreid, millede väärtused tulenesid valitud pingeregulaatorite infolehtedelt.

Kokkuvõttev loetelu kõigist seadme elektroonikalahenduses kasutatavatest komponentidest on esitatud tabelites 3.1, 3.2 ja 3.3.

Tabel 3.1. Trükkplaadile mittejoodetavad komponendid

Komponendi nimetus	Kogus seadme kohta	Selgitus
SE-0018 K30 STA	1	CO <sub>2</sub> sensormoodul [8]
SB 400-EB-W	1	LCD näidik [9]
DS1021	1	Isased pistikud, 2x10 [10]
	2	Isased pistikud, 1x5 [10]
	3	Isased pistikud, 1x2 [10]
R300TG4D	1	12 V LED, roheline, sisseehitatud takistiga [11]
RK8 S1D8DBB	1	ON/OFF lüliti [12]

Tabel 3.2. Trükkplaadi pealmisele poolele joodetavad komponendid

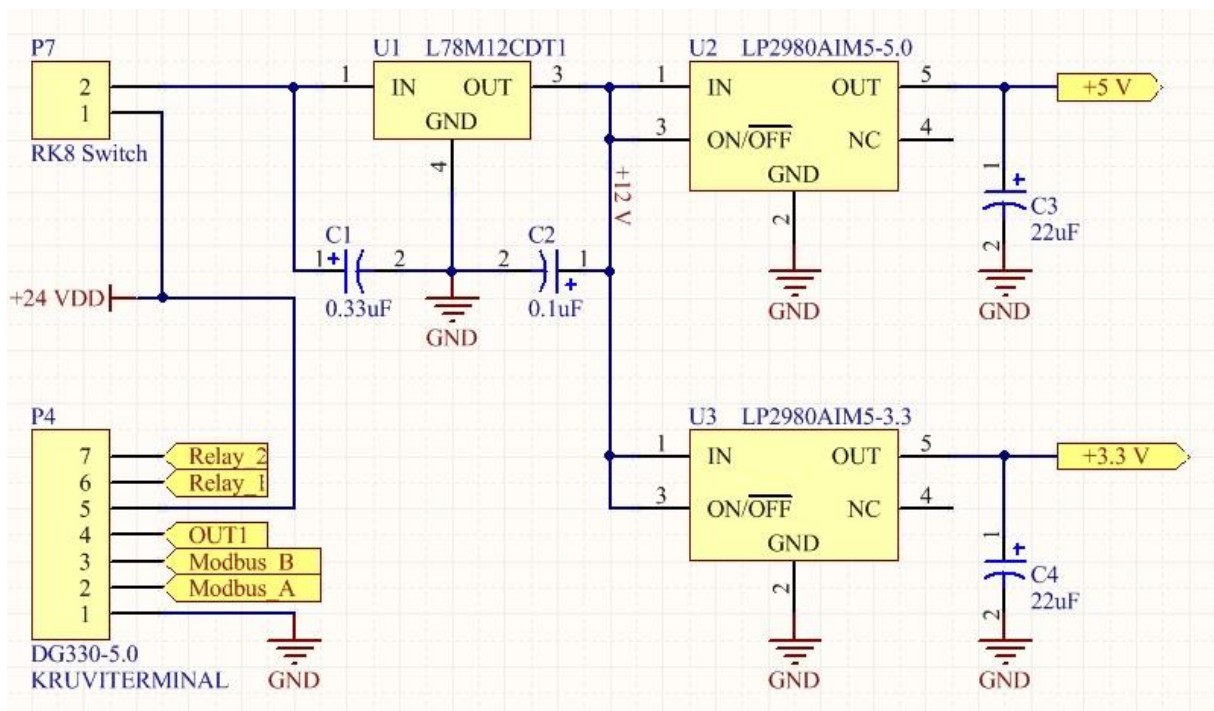
Komponendi nimetus	Kogus PCB kohta	Selgitus
DG330-5.0	1	Kruviterminal, 7 terminali, mustad [13]
DS1023	1	Emased pistikud, 2x10 [14]
	2	Emased pistikud, 1x5 [14]
	3	Emased pistikud, 1x2 [14]
FRM18NA	1	Relee, 12 VDC [15]

Tabel 3.3. Trükkplaadi alumisele poolele joodetavad komponendid

Komponendi nimetus	Kogus PCB kohta	Selgitus
L78M12CDT1	1	Pingeregulaator väljundiga 12 V, DPAK korpus [16]
LP2980AIM5-5.0	1	Pingeregulaator väljundiga 5 V [17]
LP2980AIM5-3.3	1	Pingeregulaator väljundiga 3,3 V [17]
C0805	1	Kondensaator mahtuvusega 0,33 $\mu$ F [18]
	1	Kondensaator mahtuvusega 0,1 $\mu$ F [18]
	2	Kondensaator mahtuvusega 22 $\mu$ F [18]
SN65HVD10	1	Transiiver [19]
SM712	1	TVS diod (supressordiod) [20]
NANOSMDC020F	2	Kaitselüliti [21]
10MQ060N	1	Schottky diod [22]
PMGD175XN	1	N-kanali väljatransistor [23]
R0603	1	Takisti väärtusega 20 k $\Omega$ [24]
	1	Takisti väärtusega 470 k $\Omega$ [24]
	1	Takisti väärtusega 1 M $\Omega$ [24]

### 3.4 Trükkplaadi toitelahendus

Eelneva komponentide valiku tõttu oli trükkplaadil vajalik välja tuua 12 V, 5 V ning 3,3 V toiteallikad. Kuna seadme toitepingeks sai valitud 24 V alalispinge (mis tuuakse trükkplaadile DG330-5.0 viienda kruviterminali vahendusel), tuli selleks kasutada kolme erinevate parameetritega pingeregulaatorit. Pingeregulaatorite konstantse väljundi vajaduse tõttu seadme töökäigus ühendati LP2980AIM5-5.0 ja LP2980AIM5-3.3 kolmas sisendviik (ON/OFF) nimetatud komponentide andmelehe soovitusel sisendpingega 12 V [17]. Pingeregulaatorite stabiilsuse tagamiseks ühendati kõigi regulaatorite sisendid ja väljundid kondensaatoritega, millele väärtused tulenesid samuti regulaatorite infolehtedelt [16, 17]. Trükkplaadi toitelahenduse kasutajapoolseks sisse- ja väljalülitamiseks kasutati GreatecS RK8 seeria lülitit, mis ühendati trükkplaadile 1x2 isaste-emaste pistikute ja juhtmete vahendusel. Trükkplaadi toitejaotuse skeem on illustreeritud seel 3.3.



Sele 3.3. Trükkplaadi toitejaotus

### 3.5 Sensormooduli, kuvari ja kruviterminalide ühendusskeem

Sensormoodul ühendati trükkplaadile emaste-isaste pistikutega, mille vahendusel toodi trükkplaadilt sensormooduli vastavasse pesasse (G+) toide 12 V. Sensormooduli toiteks valiti 12 V just seetõttu, et analoogväljundi vahemik oleks hiljem seadistatav (0...10) V peale. Kõik võimalikud sensormooduli maanduspesad (G0) ühendati trükkplaadi maandusega. Trükkplaadile toodi sensormoodulilt üks digitaalväljunditest (OUT4) releelülituse loogika jaoks ning üks analoogväljunditest (OUT1) kasutajapoolseks rakendusvõimaluseks ja kuvari juhtimiseks. Samuti toodi sensormoodulilt trükkplaadile UART signaalid, et need ModBus RS-485 kommunikatsioonisignaaledeks muundada [7].

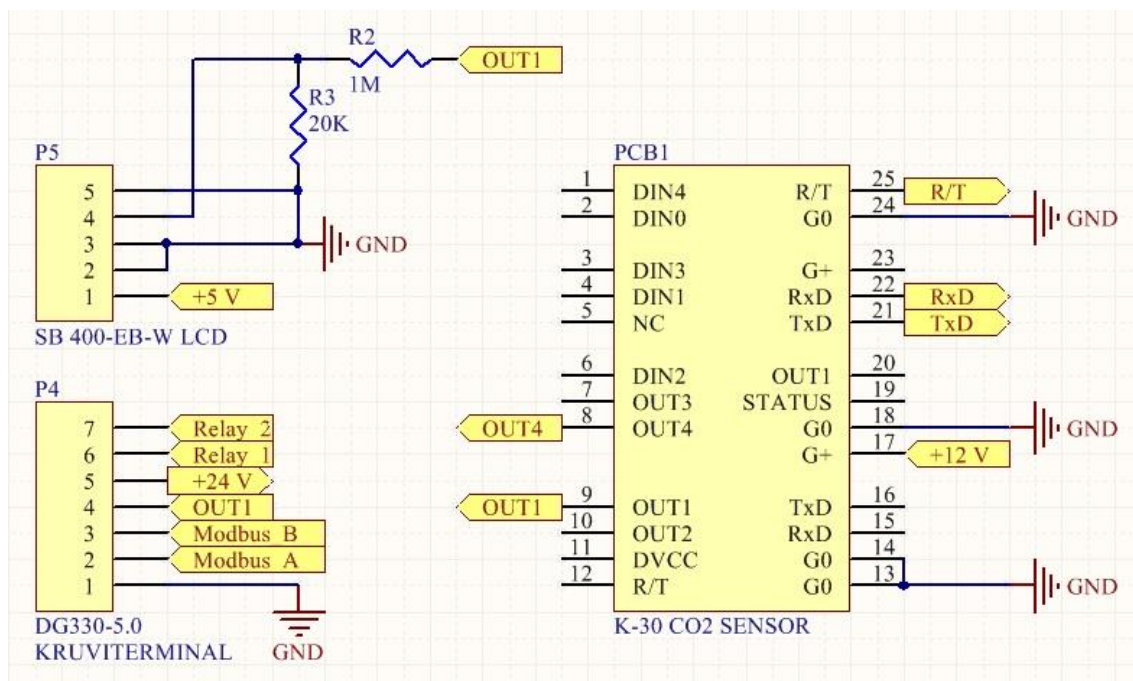
Kuvar SB 400-EB-W ühendati trükkplaadile 1x5 isaste-emaste pistikute ja juhtmete abil. Kuvarit toideti selle infolehe soovitusel järgi 5 V pingega ning kuvari näitu juhiti sensormoodulilt trükkplaadile toodud analoogväljundi (OUT1) ja maandusühenduse (GND) vahe järgi. Analoogväljundi pingevahemik sobitati kuvari nõuetega vastavate takistite abil, millede väärtused arvutati kuvari infolehel väljatoodu põhjal. Samuti ühendati kuvari pistik „BL-“ maandusega, et lülitada sisse LCD taustavalgustus [9].

Kruviterminali sisse- ja väljaviigud on järjestatud järgnevalt:

1. Maandus (GND)
2. RS-485 signaal A (Modbus\_A)
3. RS-485 signaal B (Modbus\_B)
4. Analoogväljund (0...10) V (OUT1)
5. Toitepinge 24 VDC klemm (+24 V)
6. Relee kontakt 1
7. Relee kontakt 2

Eelnevalt kirjapandu on graafiliselt illustreeritud seel 3.4.

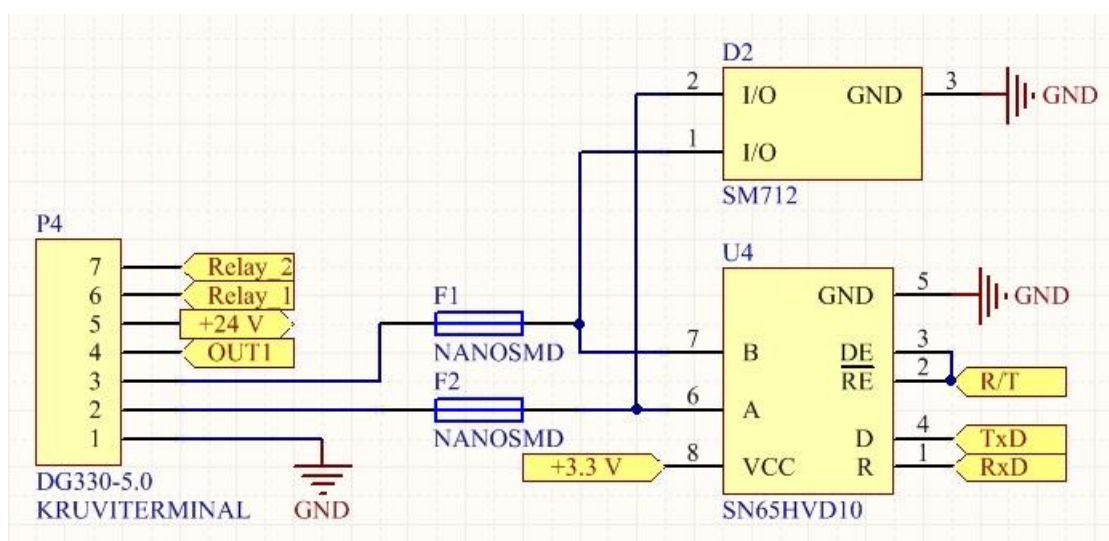




Sele 3.4. Sensormooduli, kuvari ja kruviterminali ühendused trükkplaadil

### 3.6 Transiiveri ühenduskeem

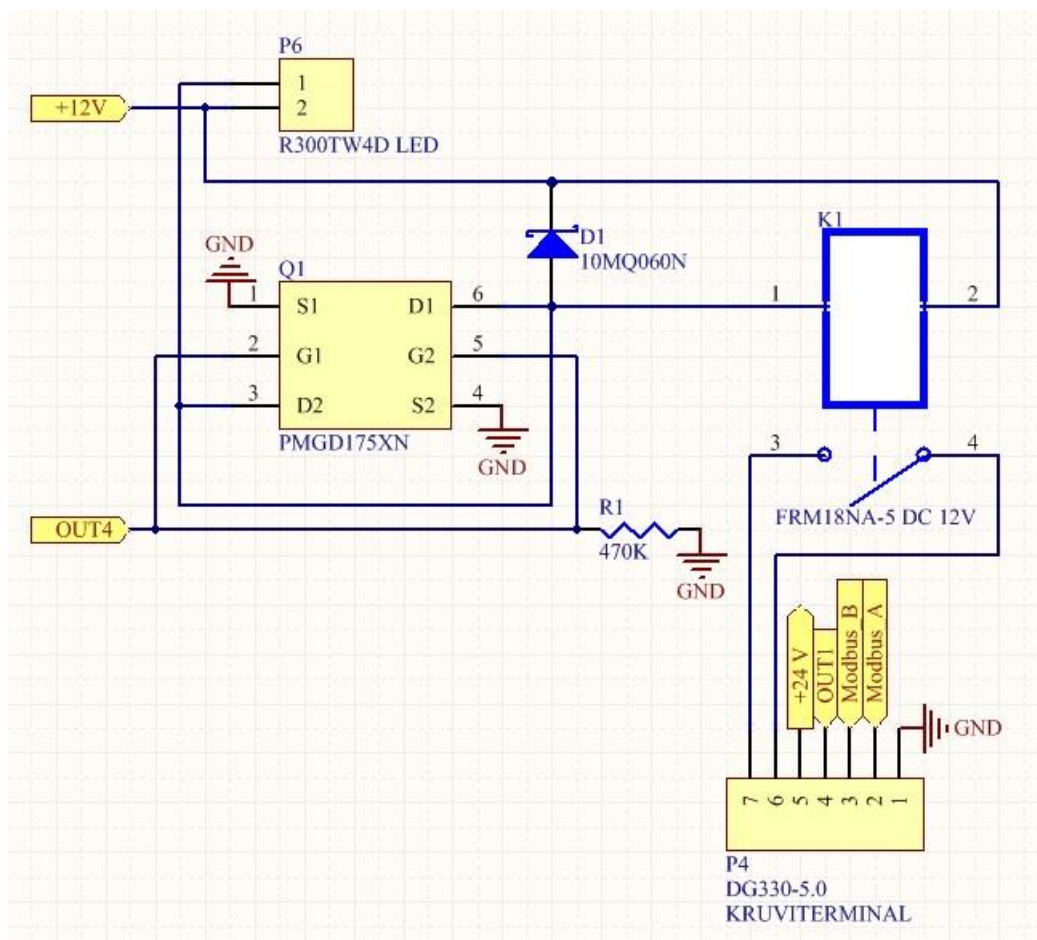
UART signaalide muundamiseks tuntud kommunikatsioonistandardisse RS-485 kasutati antud elektroonikalahenduses transiiverit SN65HVD10. Transiiverit toideti 3,3 V pingega ning selle sisendid ühendati vastavate UART signaalidega. Väljundsignaalide kaitsmiseks ülepinge eest kasutati supressordiodi SM712 ja voolupiirajateks NANOSMDC020F kaitselüliteid. Graafiline illustatsioon on välja toodud seel 3.5.



Sele 3.5. Transiiveri SN65HVD10 ühenduskeem

### 3.7 Releelülituse ühendusskeem

Releelülituse loogika realiseerimiseks kasutati komponenti PMGD175XN, mis sisaldas kahte N-kanali väljatransistori (MOSFET) [23]. Väljatransistore juhiti sensormoodulilt trükkplaadile toodud digitaalväljundi (OUT4) abil, mis saavutas CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni mõõtetulemuse 1000 µm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> ületamisel loogilise kõrgväärtuse (+3,3 V) ning kontsentratsiooni näidu langemisel alla 900 µm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> loogilise madalväärtuse (0 V) [7]. Paisudega paralleelselt ühendati digitaalväljund ka läbi takisti maaga, et vältida paisul jääkpinge tekkimist digitaalväljundi madalväärtusele langemisel. Takisti väärtus valiti relatiivselt kõrge, et vältida suurt voolutarvet digitaalväljundi loogilise kõrgväärtuse esinemisel. Läbi väljatransistoride lätte ja neelu ühendati paralleelselt rele FRM18NA-5, vooluringi eneseinduktsiooni eest kaitsev Schottky diod ning valgusindikaatori LED vastavalt maandusega. LED ühendati trükkplaadile 1x2 isaste-emaste pistikute ja juhtmete vahendusel. Relekontaktid toodi kasutaja jaoks kruviterminali kontaktidele 6 ja 7. Kirjeldatud ühendusskeem on kujutatud seel 3.6.

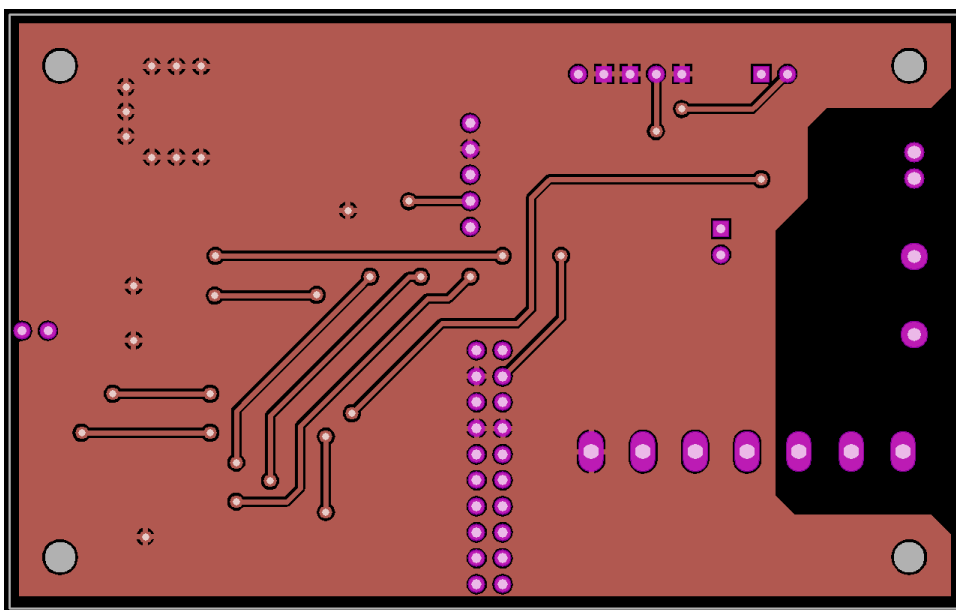


Sele 3.6. Releelülituse ja selle valgusindikaatori ühendusskeem

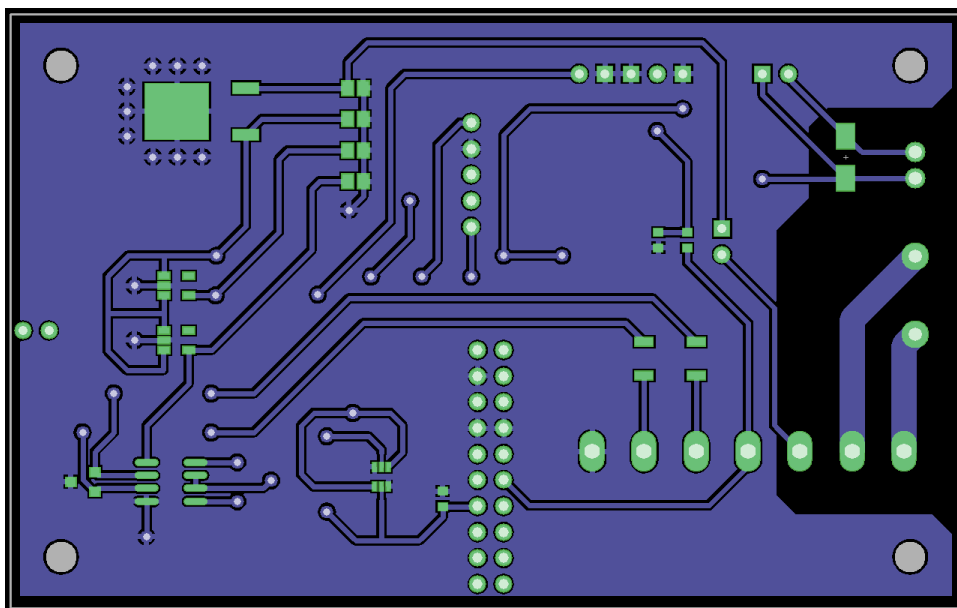
### 3.8 PCB disain ja tootmiseks ettevalmistamine

Trükkplaadi kujundamisel paigutati enamik komponente trükkplaadi alumisele kihile, kus eranditeks jäid loomulikult sensormoodul, relee ning kõik edasiste ühenduste jaoks mõeldud emased pistikud koos kruviterminaliga. Samuti üritati paigutada suurem osa voluradadest trükkplaadi alumisele kihile ning ülemise kihi volurajad sensormooduli alla, kus nad poleks kasutajale lihtsalt ligipääsetavad. Trükkplaadi ülemise ja alumise poole alad, mida volurajad parajasti ei katnud, kujundati optimaalsuse mõttes maanduskihiks. Erandina hoiti maanduskihid kaugemal ka relee kontaktidest ja nendega ühenduses olevatest radadest, mis on mõeldud võrgupinge rakenduseks. Disainiprotsessi käigus arvestati ka pingeregulaatori L78M12CDT1 suuremat soojuseraldust, tekitades selle (suurima) maanduskontakti ümber trükkplaadi läbiviike alumiselt maanduskihilt ülemisele ja tagades sellega parema soojusjaotuse üle trükkplaadi. Samuti paigutati nimetatud pingeregulaator trükkplaadil piirkonda, mille kohale planeeriti tulevikus korpuse õhuvahetusavad paigutada, et tagada konvektsiooniga parem õhuvahetus seadme sees. Tavaliseks voluraja laiuseks arvestati 0,508 mm ning releekontaktidega ühenduses olevate radade laiuseks 2,5 mm. Trükkplaadi lõplikuks suuruseks määrati 93 mm korda 58 mm ning paksuseks arvestati 1,55 mm.

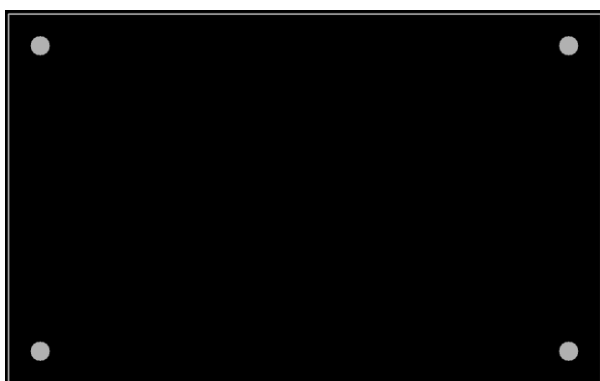
Kujundatud trükkplaadile produtseeriti ka Gerber failid, millede abil oleks võimalik esitada trükkplaadi tootjale tellimus. Graafilised illustratsioonid PCB Gerber failidest on esitatud seledel 3.7, 3.8, 3.9 ja 3.10. Täielik trükkplaadi elektroonikaskeem on esitatud Lisas 1.



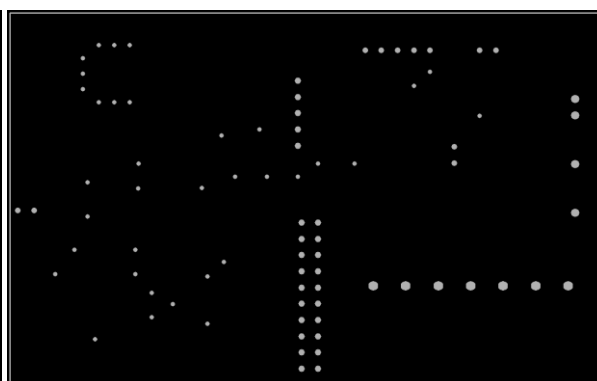
Sele 3.7. PCB pealmise kihi Gerber failid



Sele 3.8. PCB alumise kihi Gerber failid



Sele 3.9. PCB puuraukude Gerber fail



Sele 3.10. PCB kontaktaukude Gerber fail

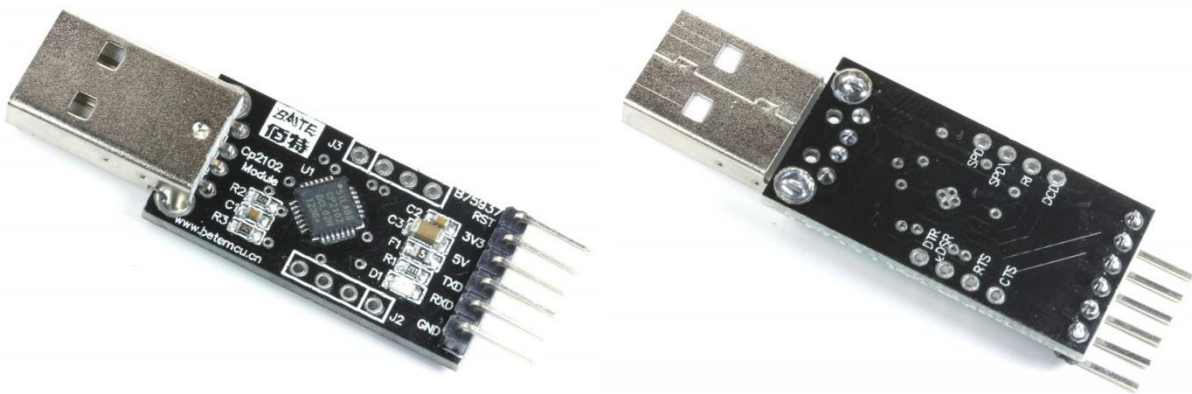
Reaalselt projekteeritava ja turule toodava seadme infolehes esitatavad voolu- ja võimsustarve peaksid baseeruma määratletud tingimustel läbiviidud füüsikalistel katsetustel. Seega pole siinkohal eraldi välja toodud trükkplaadi teoreetilist voolu- ja võimsustarvet.

Eelnevate positiivsete kogemuste, kiire teeninduse ja suurema tiraaži relatiivselt madala maksumuse tõttu soovitaks autor PCB tootmiseks kasutada saksa ettevõtte Multi Circuit Boards teenuseid [25]. Soovitavaks trükkplaadi alusmaterjaliks oleks FR4.

## 4. TOOTE ALGSEADISTAMINE

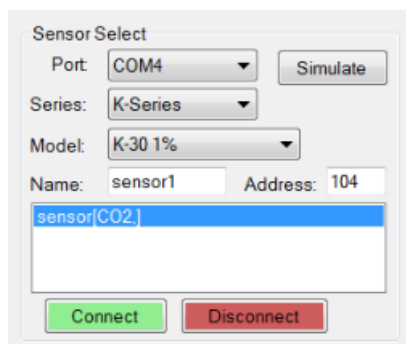
### 4.1 Sensormooduli ühendamine personaalarvutiga

Vajadusest toode algseadistada ning koguda piisav tarkvaraline informatsioon kasutajale toote edaspidiseks potentsiaalseks konfigureerimiseks oli vajalik leida viis, kuidas ühendada CO<sub>2</sub> sensormoodul SE-0018 K30 STA personaalarvutiga (PC-ga). Sensormoodulil paiknevate UART jadaside pistikupesade olemasolu tõttu otsustati ühendus luua CP2102 UART-USB adapteri (vt sele 4.1) vahendusel, mille USB (universaalne järjestiksiin) pistik ühendati otse PC USB porti ning mille UART pistikud ühendati juhtmete vahendusel sensormooduli UART liidese vastavate pistikupesadega.



Sele 4.1. CP2102 UART-USB adapter [26]

Sensormooduli UART jadaside Modbus kommunikatsiooniprotokolli kasutuse ning sensormooduli tootja avaliku soovitus tõttu otsustati konfigureerimiseks kasutada CO2Meter poolt loodud Gaslab® (versioon 2.0.6.59) tarkvara [27]. Loomaks suhtlust sensormooduli ja Gaslab tarkvara vahel, tuli tarkvaraprogrammis määrata sensori seerianimetus, mudel, selle Modbus aadress ning arvuti USB port, kuhu see ühendati (vt sele 4.2). Modbus aadressi universaalväärtusega 254 (kümneksüsteemis) oli võimalik luua ühendus sensoriga olenemata selle individuaalsest siiniaadressist [28]. Saavutades esmane suhtlus sensoriga, oli võimalik nimetatud programmis sensori konfiguratsiooni sätete alt välja selgitada ka mooduli individuaalne siiniaadress, mis oli vaikimisi seadistatud väärtusele 104.



Sele 4.2. Sätted sensori ühendamiseks Gaslab tarkvaras

Alternatiivsete Modbus tarkvara programmide kasutamisel tarvilik informatsioon sensormooduli kommunikatsiooniparameetrite kohta on välja toodud tabelis 4.1.

Tabel 4.1. Sensormooduli SE-0018 K30 STA sideparameetrid [28]

Parameeter	Sensori konfiguratsioon vaikimisi
Koodisüsteem	8-bitine binaarsüsteemis
Bittide kirjeldus	1 start bit
	8 data biti, väikseim bit esimesena
	Paarsusbit puudub
	1 stop bit
Modulatsioonikiirus	9600 bps (biti sekundis)

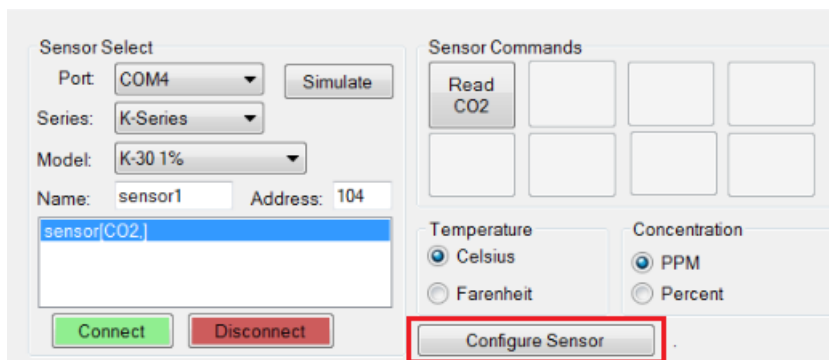
## 4.2 Analoogväljundi seadistamine

Projekteeritavas seadmes kasutatav analoogväljund (OUT1) on sensormooduli tootja poolt algseadistatud vahemikule (0...4) V, vastates lineaarselt CO<sub>2</sub> kontsentratsioonivahemikule (0...2000) µm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> [7]. Kuna aga käesoleva seadme elektroonikalahendus eeldab nii kasutaja kui ka LCD perspektiivist vahemikku (0...10) V, vajab nimetatud analoogväljund toote algseadistamisel konfigureerimist.

Projekteeritav seade eeldab just väljatoodud vahemikku, sest tööstusliku tava järgi eelistatakse enamasti vahemikke (0...10) V ja (4...20) mA. Neist on otsustatud esimese kasuks, sest see ei eelda trükkplaadile lisatakistite jootmist, jättes väljundile suurema täpsuse ning kasutajale lihtsama ümberseadistamise võimaluse. Ümberseadistamisel peab aga kasutaja arvestama ka LCD uuesti kalibreerimise vajadusega.



Nimetatud muudatus on sensormooduli tootja poolt välja arendatud tarkvaraprogrammi Gaslab vahendusel kergesti teostatav. Saavutades kommunikatsioon sensoriga, on võimalik programmi kasutajaliideselt avada konfiguratsiooniaken (vt sele 4.3). Kui konfiguratsiooniaknas orienteeruda „Outputs“ alamaknasse, on võimalik muuta analoog- ja digitaalväljundite sätteid. Selliselt on muudetav ka seadmes kasutatud digitaalväljundi (OUT4) hüstereesivahemik, kui kasutajal peaks tekkima vajadus ümberseadistada releefunktsiooni.



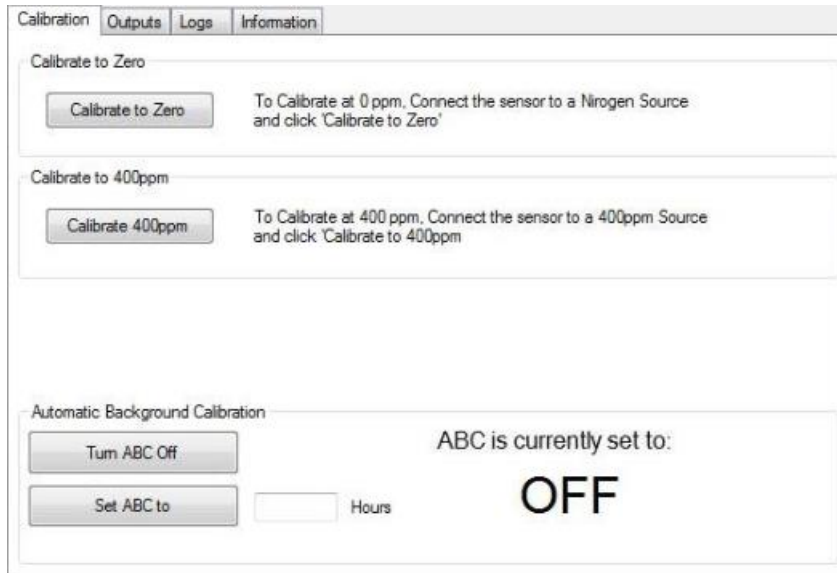
Sele 4.3. Sensori konfigureerimine Gaslab tarkvaras

### 4.3 Automaatne taustjusterimine

Karmikäeline paigaldus, transportimine ja vananemine võivad põhjustada sensorimooduli mõõtetulemuste täpsuse langust ja kõrvalekallet tegelikust väärtusest. Sisseehitatud automaatse taustjusterimise (ABC) algoritmi tõttu ei vaja aga kasutatav sensormoodul statsionaarse paigalduse korral oma eluea jooksul intervalset hooldust ega manuaalset justeerimist [29].

Tavalistes sisetingimustes langeb ruumi CO<sub>2</sub> näit vähemalt korra nädala jooksul välisõhu näidu tasemele. ABC töötabki põhimõttel, kus vajalik parandus viiakse sisse määratud ajavahemiku jooksul mõõdetud madalaima näidu võrdlemisel välisõhu keskmistatud CO<sub>2</sub> näiduga 400 µm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Võrreldes näiteks nädala jooksul mõõdetud madalaimat näitu välisõhu keskmistatud näiduga, suudab sensormooduli tarkvara tuvastada, kas mõõteskaala nullpunkt vajab ümberseadistust [29].

Tagamaks, et projekteeritaval seadmel oleks ABC algseadistusena sisse lülitatud, sai eelnevas alampeatükis (ptk 4.2) mainitud konfiguratsiooniaknas orienteeritud „Calibration“ alamaknasse ning määratud ABC intervall tundides (vt sele 4.4). Sensormooduli infolehel väljatoodud algseadistuse järgi sai see määratud 7,5 ööpäevale ehk 180 tunnile [7, lk 6].



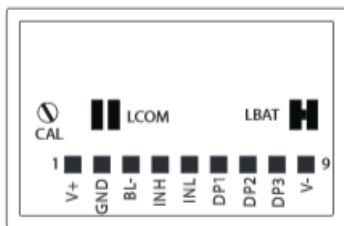
Sele 4.4. ABC algoritmi seadistamine Gaslab tarkvaras

#### 4.4 LCD näidu seadistamine

Kasutatud analoogväljundi (OUT1) pingevahemik (0...10) V taandati kuvarile SB 400-EB-W sobivaks pingevahemikuks (0...200) mV kahe takisti abil, millede väärtused arvutati kuvari infolehel väljatoodu põhjal ( $R_a = 1M\Omega$  ja  $R_b = 20 k\Omega$ ). Kuna analoogväljund ja kasutatud takistite väärtused omavad teatavat määramatust, vajab seadmele ühendatav kuvar eraldi justeerimist. Kõige lihtsamini oli see teostatav kuvari ühendamisega toidetud trükkplaadile, trükkplaadi analoogväljundi pesale selle väljundi maksimaalse alalispinge (10 V) rakendamise ja kuvari taga oleva potentsiomeetri kruvi vastavasse asendisse pööramisega (vt sele 4.5).

Madala pinge hoiatusmärgi kuvamise ebavajalikkuse tõttu lõigati läbi ka kuvari taga paiknevate LBAT terminalide jooteühendus (vt sele 4.5) [9].





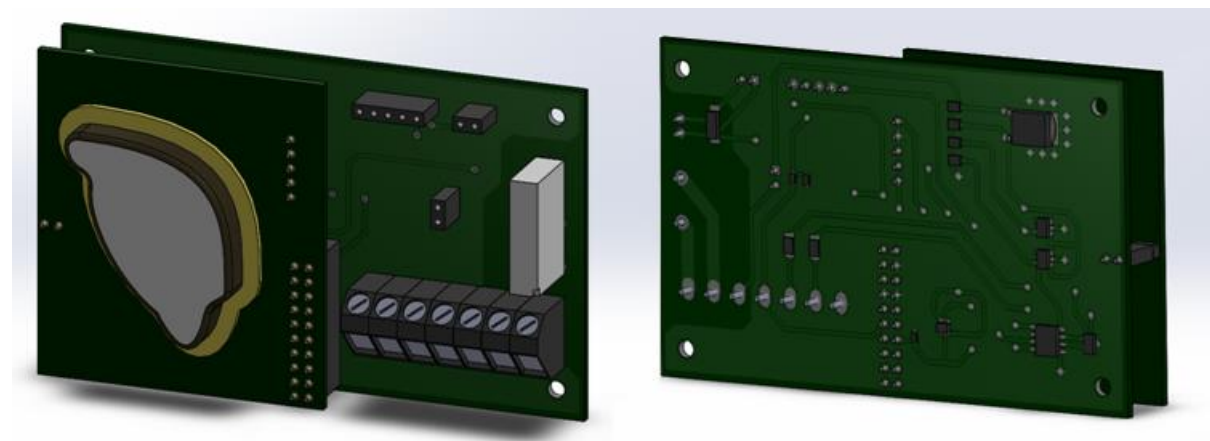
Sele 4.5. SB 400-EB-W LCD tagumise poole joonis [9]

## 5. KORPUSE MEHAANILISED LAHENDUSED

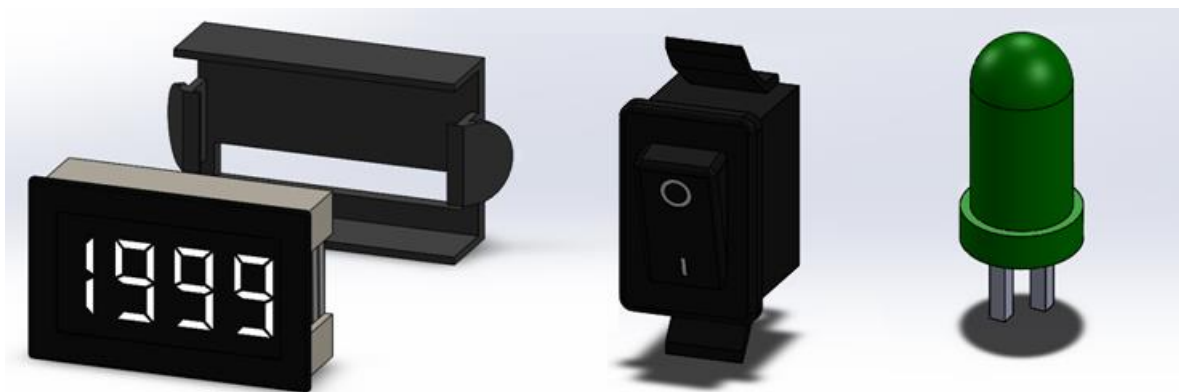
Esteetilise välimuse, mõõtmete optimaalsuse ja sensorile piisava õhuvahetuse tagamise eesmärgil otsustati projekteeritavale seadmele kujundada unikaalne korpus ning valida sellele sobiv tootmislahendus. Projekteerimise käigus võeti lisaks eelnevale veel arvesse ka seadme elektroonikalahenduse optimaalset paigutust korpus, seadme seinale kinnitamise võimalust ning kasutajasõbralikkuse aspekti seadme ühendamisel ja kasutamisel.

### 5.1 Ettevalmistused korpuse projekteerimiseks

Korpuse projekteerimiseks ja seadme lõpliku koostu kokkusobivuse tagamiseks tuli arvestada elektroonikalahenduses kasutatud komponentide mõõtmetega. Sel põhjusel sai koostatud iga suuremal määral korpus, ruumi nõudva komponendi (kaasaarvatud projekteeritud trükkplaadi) 3D mudelid. Olulisemad mõõtmed mudelite koostamiseks saadi komponentide infolehtedelt, samas kui ebaolulisemad ja infolehtedel väljatoomata jäetud mõõtmed määrati ligikaudselt. Sensormooduli mudeli koostamisel arvestati lihtsuse ja aja kokkuhoiu mõttes vaid käesolevas projektis kasutatavate pistikute täpsete asukohtadega. Kujutamata jäeti ka moodulil paiknevad väiksemate mõõtmetega elektroonikakomponendid. Graafilised illustatsioonid suuremate komponentide 3D mudelitest on esitatud seledel 5.1 ja 5.2.



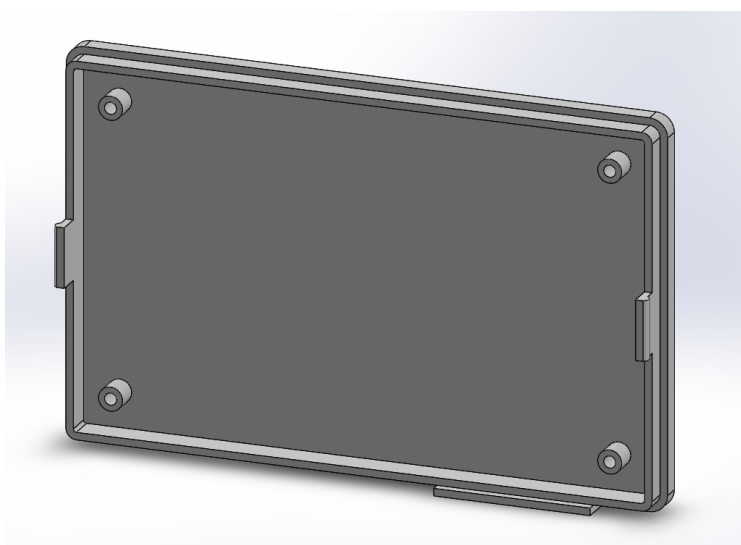
Sele 5.1. Sensormooduli, trükkplaadi ja sellele joodetavate komponentide koost



Sele 5.2. Kuvari, selle paneelikinnituse, ON/OFF lüliti ja valgusdiodi 3D mudelid

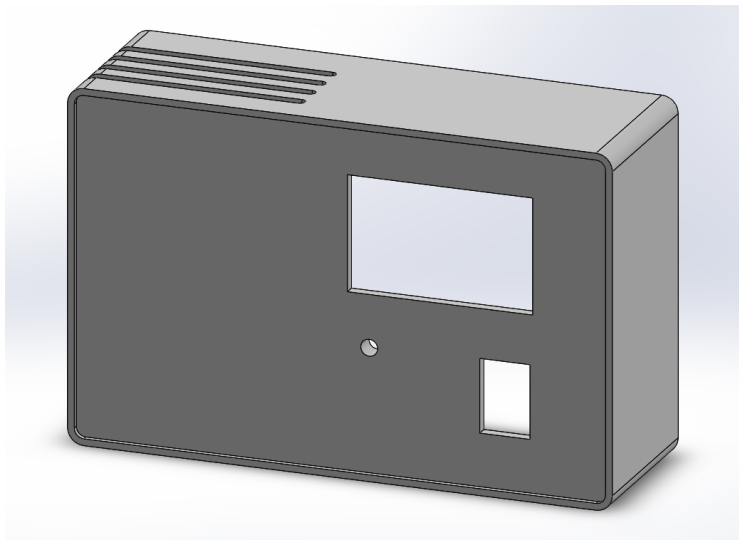
## 5.2 Korpuse projekteerimine

Seadme korpuse otsustati projekteerida kolme detailina, mis koostuna kokku sobituvad. Esimesena neist kujundati korpuse alusdetail (vt sele 5.3), millele otsustati kinnitada seadmele projekteeritud PCB, korpuse teine pool ning seadme seinale kinnitamiseks vajalik detail. Käesoleva detaili piirmõõtmeteks, mis määrasid vahetult ka seadme pikkuse ja laiuse, valiti PCB mõõtmeid ja korpuse piisavaid seinapaksusi arvestades 100 mm korda 65 mm. Trükkplaat otsustati alusele kinnitada nelja M2.5 x 3 kruviga, 4 mm korpuse põhjast kõrgemale. Trükkplaadil määrati kruviavade diameetrikaks 3 mm, samas kui korpuse detailil määrati selleks 2 mm, et tagada kruvide tihe kinnitumine avas. Antud detaili projekteerimise käigus kujunesid välja ka tulevaste korpuseosade kinnituslahendused.



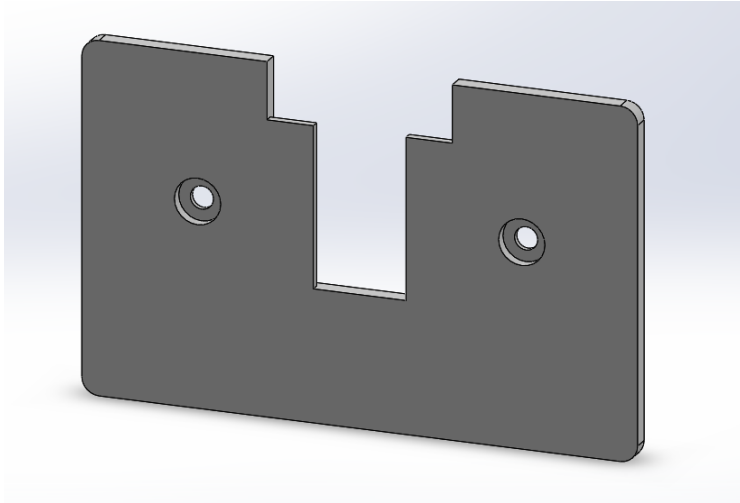
Sele 5.3. Korpuse alusdetaili 3D mudel

Järgmisena kolmest detailist sai koostatud korpuse kaane 3D mudel (vt sele 5.4). Kuna alusdetaili mõõtmetega pandi ühtlasi paika ka seadme pikkus ja laius, tuli kaanedetaili projekteerimisel määrata vaid veel kogu seadme sügavus. Võttes arvesse piisava vaba ruumi vajadust optimaalseks õhuringluseks sensori vahetus läheduses ja suuremate elektroonikakomponentide mõõtmeid, sai selleks määratud 35 mm. Korpuse õhuvahetusavad otsustati strateegiliselt paigutada sensori alla ja kohale piirkonnas, kus projekteeritud trükkplaadi soojuseraldus on kõige suurem (vt ptk 3.8), tagades sellega konvektsiooni mõjul parema õhuvahetuse seadmes. Kaane pinnale kujundati vastavate infolehtede soovitude järgi kindla suurusega avad kuvari, ON/OFF lüliti ja releelülituse valgusindikaatori kinnitamiseks ning korpuse alumisele küljele avad seadme kasutajapoolse elektrilise ühendamise lihtsustamiseks. Samuti arvestati korpuse alusdetailile projekteeritud kinnituslahendusega.



Sele 5.4. Korpuse kaane 3D mudel

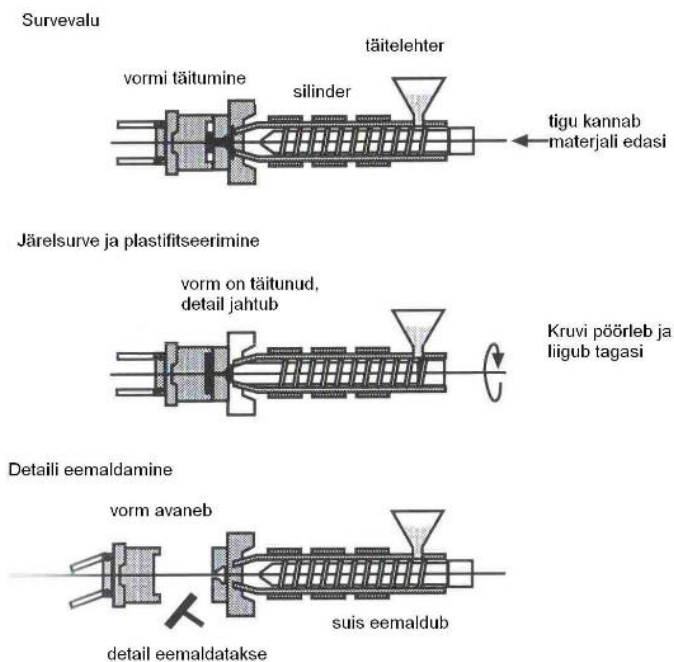
Viimasena kolmest detailist kujundati korpuse osa, mille vahendusel nähti ette seadme paigaldus seinale (vt sele 5.5). Antud detail on mõeldud seinale kinnitamiseks kahe M4 x 25 kruviga ning detaili piirmõõtmeteks määrati 96 mm korda 61 mm, jättes seadme ja käesoleva detaili äärte vahele mõlemas suunas 2 mm. Detaili maksimaalseks paksuseks määrati 3 mm, et tagada detaili osade piisav tugevus, kuid samas vältida seadme liiga kaugele väljaulatuvust seinast. Seadme külge haakuvus tagati korpuse alusdetaili tagaseina väljaulatuva osa täpse sobituvusega käesoleva detaili väljalõigatud ossa. Eelnev on kõige paremini illustreeritud Lisa 2 joonistel, kus on esitatud kõigi korpusdetailide tööjooniste graafika.



Sele 5.5. Korpuse seinakinnitusdetaili 3D mudel

### 5.3 Korpuse tootmislahendus

Korpuse tootmistehnoloogia poole pealt otsustati survevalu tehnoloogia kasuks, kuna suhteliselt hea ja ühtlase pinnakvaliteedi ning suhteliselt madala suurseria tootmise maksumuse tõttu kasutatakse enamasti just nimetatud tehnoloogiat analoogiliste plastikust detailide valmistamiseks. Täpsemalt kujutab survevalu endast survetöötuse ühte alamliiki ning selle tööprotsess kirjeldub rõhu all oleva sula aine juhtimisega valuvormi, kus see jahtudes ja tahkudes soovitud detaili moodustab (vt sele 5.6) [30].

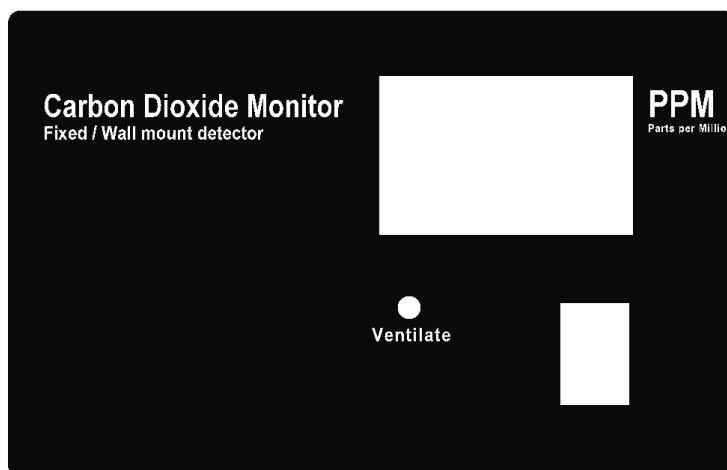


Sele 5.6. Survevalu protsessi põhietapid [31, lk 19]

Korpuse piisava tugevuse, jäikuse ja kulumiskindluse tagamiseks otsustati korpuse materjalina kasutada just sellel alal laialt kasutatust leidvat plasti – polükarbonaati. Korpuse pinna välimuse määramisel otsustati kerge läikega valge värvi kasuks. Kirjeldatud tootmislahenduse teostamiseks soovitaks autor kasutada Eesti ettevõtte Plastiktoos OÜ teenuseid [32].

## 5.4 Esikaane kleebis

Seadmele esteetilisema välimuse andmiseks ning kasutajale vajaliku info edastamiseks otsustati korpuse esikaanele kujundada kleebis (vt sele 5.7). Kleebise kasuks, vastandatult otse detailile printimisele, otsustati just selle ümberkujundamise lihtsuse, madala hinna ja korpuse eemaldamise võimaluse tõttu. Kleebise peamiseks eesmärgiks oli kasutajale info esitamine seadme olemuse, valgusindikaatori tähenduse ning kuvaril esitatava suuruse mõõtühiku kohta. Valgusindikaatori vahetuslähedusse paigutati tekst „Ventilate“, informeerides kasutajat ruumi ventileerimise vajadusest indikaatori põlemisel. Kuvari kõrvale paigutati suuremas tekstifondis esitatava näidu tegur ppm (miljondikosa) ning ka selle inglise keelse definitsiooni (parts per million). Kleebiste tootmiseks soovitaks autor kasutada ettevõtte Abiprint OÜ teenuseid [33]. Kleebise joonis koos täpsete mõõtmete ja kirjafontide suurustega on esitatud Lisas 3.



Sele 5.7. Korpuse esikaanele kujundatud kleebis

## 5.5 Seadme montaaž ja lõplik koost

Toote monteerimist oleks soovitatav alustada vastavate pistikute ja elektroonikakomponentide jootmisega seadme trükkplaadile ning juhtmete jootmisega LCD, lüliti ja LED'i klemmidele. Vastavad juhtmed tuleks lõigata piisava pikkusega, et kasutajal oleks vajadusel võimalik seadmelt kaas ilma vaevata eemaldada. Edasi tuleks trükkplaat ettenähtud nelja kruviga kinnitada seadme korpuse alusdetailile, millele järgneks sensormoodulile isaste pistikute jootmine ning nende abil mooduli ühendamine trükkplaadi vastavatesse emastesse pistikutesse. Mooduli käsitlemisel tuleks hoiduda sensori pinna puudutamisest, et seda mustusest ja rasust puhtana hoida. Järgnevalt tuleks valgusdiod liimi abil püsivalt korpuse kaane külge kinnitada, kattes LED'i alumises osas asetseva ääre pealmise pinna õhukese liimikihiga ning paigutades LED'i selleks mõeldud avasse. Edasi tuleks seadme kaanele paigutada kleebis ning monteerida kuvar ja lüliti. Lüliti on avasse isekinnituv ning kuvar monteeritakse kaanele sellega kaasneva detaili vahendusel. Seadme montaaž lõpeks LCD, lüliti ja valgusdiodi juhtmete ühendamise trükkplaadi vastavatesse pistikutesse ning kaane kinnitamisega korpuse alusdetailile. Graafiline illustratsioon demonteeritud koostu 3D mudelist on esitatud Lisas 4.

Koostu lõplikeks mõõtmeteks kujuneski planeeritud 100 mm korda 65 mm, sügavusega 35 mm (koos seinakinnitusdetailiga 38 mm). Kasutajale tuleks koos seadmega kaasata ka kaks M4 x 25 kruvi seinakinnituseks. Viimistletud illustratsioonid koostu 3D mudelist on esitatud seel 5.8 ning Lisas 5.



Sele 5.8. Seadme lõpliku koostu viimistletud 3D mudel

## 6. TEHNILISE DOKUMENTATSIOONI KOOSTAMINE

### 6.1 Seadme põhiparameetrid

Seadme infolehe ja kasutajajuhendi koostamisel on vajalik garanteerida, et oleks välja toodud seadme lühikirjeldus ning selle põhiparameetrid. Põhiparameetrites on kindlasti vajalik esitada ka seadme keskmine ja maksimaalne voolu- ja võimsustarve, mis tuleks eelkõige leida katseliselt. Seadme kuvari näidu mõõtemääramatuse arvestamisel liituvad sensori ja kuvari mõõtemääramatused. Infolehel sai kasutajale mugavalt loetavana esitatud põhiparameetrid, millest suur osa on saadud seadmes kasutatava sensormooduli infolehel, järgnevalt [7]:

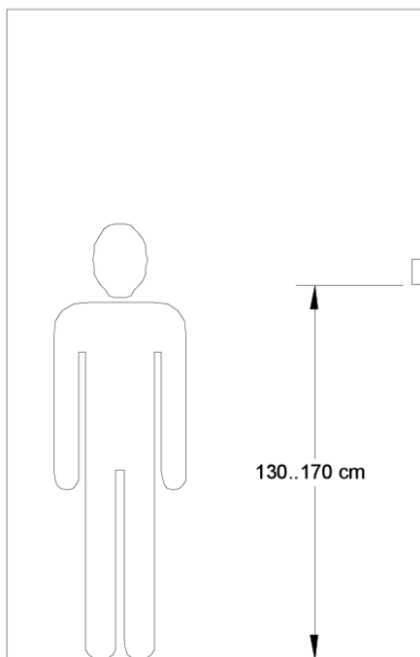
Hooldusintervall	hooldus pole vajalik
Enesediagnostika	täielik sensormooduli kontroll
Eelsoojenemisaeg	≤ 1 minut
Töökeskkond	elamis-, tööstus-, kontori ja muud siseruumid
Sisendpinge	24 VDC
Analoogväljund	(0...10 V), lineariseeritud, konfigureeritav
Digitaalliides	RS-485 Modbus RTU
Relee	250 VAC / 30 VDC, 5 A maksimaalselt
Mõõtepiirkond	(0...1999) $\mu\text{m}^3/\text{m}^3$ (ppm)
Sensor	NDIR koos automaatse taustjusteerimisega (ABC)
Mõõteproovi võtmise meetod	difusioon
Reageerimisaeg	20 sekundit
Signaali uuendus	iga 2 sekundi tagant
Mõõtemääramatus	32 $\mu\text{m}^3/\text{m}^3$ (ppm) + 3% mõõdetud väärtusest
Näidu rõhust sõltuvus	+1,6 % näidust kPa kohta kõrvalekaldest normaalrõhust
Sensori oodatav eluiga	üle 15 aasta



## 6.2 Mehaaniline informatsioon

Mehaanilistest parameetritest sai kasutajale graafiliselt esitatud seadme olulisemad mõõtmed (vt Lisa 6) ning seadmele soovitatav paigalduskõrgus, milleks määrati (130...170) cm, tagamaks mõõtmised hingamiskõrgusel (vt sele 6.1). Samuti toodi välja juhend seadme installatsioonist ning seinale kinnitamisest (vt Lisa 7).

Recommended gas detector location



Sele 6.1. Seadme soovitatav paigalduskõrgus [34]

## 6.3 Tarkvaraline informatsioon

Hõlbustamiseks seadme edaspidist tarkvaralist konfigureerimist, sai kasutajajuhendis välja toodud ka tarvilik informatsioon seadme RS-485 digitaalkasutajaliidese kohta. Juhendis soovitati kasutajale konfigureerimiseks juba käesolevas töös mainitud Gaslab tarkvara, kuid toodi eraldi välja ka seadme kommunikatsiooniparameetrid alternatiivsete Modbus tarkvara programmide kasutamiseks (juhendis esitati informatsioon analoogiliselt tabeliga 4.1). Juhendis toodi veel eraldi välja seadme erinevate parameetrite registriaadressid ja nende väärtused, kommunikatsioonirea käsubaitide väärtused ning mõningad näited seadmega suhtlemisest Modbus käsuridade abil. Eelnevalt mainitud informatsioon omandati Gaslab

tarkvara vahendusel ning sensormooduli kommunikatsiooniprotokolli juhendist [28]. Seadme kasutajajuhendis esitatud informatsioon on välja toodud tabelites 4.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 ja 6.5.

Tabel 6.1. Erinevate seadme parameetrite registriaadressid ja nende väärtused [28]

Parameeter	Väärtus vaikimisi	Aadress	Kommentaar
Seadme Modbus aadress	104	0x00	Heksadetsimaalsüsteemis 0x68
Analoogväljundi max väärtus	1024	0x58	$10\text{ V} = 100\% \text{ } 10 \text{ voldist} = 1024 \cdot 1 = 1024$
Analoogväljundi min väärtus	0	0x5A	$0\text{ V} = 0\% \text{ } 10 \text{ voldist} = 1024 \cdot 0 = 0$
Analoogväljundi max väärtuse CO <sub>2</sub> väärtusele vastavus	20000	0x54	$2000,0 \mu\text{m}^3/\text{m}^3$
Analoogväljundi min väärtuse CO <sub>2</sub> väärtusele vastavus	0	0x52	$0 \mu\text{m}^3/\text{m}^3$

Tabel 6.2. Kommunikatsiooni käsubaite väärtused (heksadetsimaalsüsteemis) [28]

Käsu kirjeldus	Väärtus
EEPROM lugemine	0x46
EEPROM kirjutamine	0x43
RAM lugemine	0x44
RAM kirjutamine	0x41

Tabel 6.3. Näiteks toodud käsuriid analoogväljundi seadistamiseks väärtusele 5 volti [28]

Kirjeldus	Seadme aadress 1 bait	Käsk 1 bait	EEPROM aadress 2 baiti	Mitu (N) baiti kirjutatakse 1 bait	EEPROM'i kirjutatav väärtus N baiti
Seadmele saadetav käsk	0x68	0x43	0x00   0x58	0x02	0x02   0x00

Eelnevas tabelis 6.3 tuleneb EEPROM'i kirjutatav väärtus järgnevalt:

$5\text{ V} = 50\% \text{ } 10 \text{ voldist} = 50\% \text{ max väärtusest } 1024 = 512 \text{ (0x200 heksadetsimaalsüsteemis)}$ .

Tabel 6.4. Näiteks toodud käsuriid CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni hetkeväärtuse lugemiseks [28]

Kirjeldus	Seadme aadress 1 bait	Käsk 1 bait	RAM aadress 2 baiti	Mitu (N) baiti loetakse 1 bait
Seadmele saadetav käsk	0x68	0x44	0x00   0x08	0x02

Tabel 6.5. Seadme vastus tabelis 6.4 väljatoodud käsule [28]

Kirjeldus	Seadme aadress 1 bait	Käsk 1 bait	Lugemi baitide arv 2 baiti	(N) baidi lugem n baiti	
Seadme vastus	0x68	0x44	0x02	0x01	0x90

Eelneva tabeli 6.5 näites vastab seade CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni väärtuseks 400 µm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (0x190 heksadetsimaalsüsteemis).

## 6.4 Ohutusnõuded

Enne seadme installatsiooni ja juhtmete ühendamist tuleb veenduda, et juhtmed pole pinges all. Seadme paigaldamisel tuleb veenduda, et seadme korpus pole mehaanilise koormuse all. Enne voolu sisselülitamist tuleb viia seadme lüliti „OFF“ asendisse. Seadme töötamisel ei ole soovitatav eemaldada kaant ega seadme trükkplaati puudutada. Seadmelt kaane eemaldamisel tuleb olla ettevaatlik ning veenduda, et juhtmed eemalduse käigus vigastada ei saa. Vältida tuleb seadme kokkupuudet vedelike, kõrge temperatuuri ja liigse õhuniiskusega. Seadme pikema eluea tagamiseks tuleb vältida seadme pidevalt sisse-välja lülitamist.

## KOKKUVÕTE

Käesolev uurimustöö seisnes seadeldise projekteerimises, mis oleks võimeline ruumi süsinikdioksiidi kontsentratsiooni reaajas mõõtma ja seda vastavalt kasutaja eelistustele korrigeerima. Eelkõige on seade mõeldud statsionaarseks paigalduseks siseruumidesse, kus õhu kvaliteedi regulatsioon on ruumisviibijate hea mugavustaseme ja tervisliku seisundi tagamiseks vajalik. Võimalikeks paigalduskohtadeks on näiteks kodu-, kontori-, konverentsi-, lao-, hotelli- ja/või klassiruumid.

Seadme projekteerimine hõlmas elektroonika, mehaanika ja tarkvaraliste inseneritehnoloogiliste probleemide lahendamist. Elektroonikalahenduses integreeriti sensormooduli elektroonikaskeem seadme skeemiga, tagamaks kasutajale erinevate sensormooduli funktsioonide kasutamise võimalus ja selle konfigureerimisvõimalus. Projekti tarkvaraline pool seisnes toote algseadistamises ning kasutajale edasiseks konfigureerimiseks vajaliku tarkvaralise informatsiooni esile toomises. Peamisteks mehaanikalahenduse probleemideks kujunesid aga seadme korpuse ja selle erinevate kinnituslahenduste projekteerimine CAD keskkonnas. Samuti toodi potentsiaalsele tootjale välja soovitusel tarkvaraprogrammide ja tootmislahenduste kohta.

Tootja perspektiivist on tegemist relatiivselt odavalt realiseeritava projektiga, mille väljundiks on turul konkurentsivõimeliste tehniliste parameetritega süsinikdioksiidi andur. Autori arvates ning potentsiaalse kasutaja vaatevinklist on tegemist kvaliteetse ja esteetilise väljanägemisega seadmega, mis võimaldab siseruumides viibimise märgatavalt meeldivamaks muuta.

## **SUMMARY**

The aim of the present research was to engineer a device, which would be able to measure and correct indoor carbon dioxide concentration levels according to the user's preferences. Primarily, the device's purpose is for stationary installation in rooms where air quality control is necessary to guarantee the inhabitant's comfort and well-being. The product is suitable for homes, offices, conference rooms, storage facilities, hotels and classrooms.

The research in hand involved presenting solutions to electrical, mechanical and software related engineering problems. The electrical solution to the project included integrating the schematic of the sensor module with the one of the device's printed circuit board in order to ensure the user accessibility to the functions and configuration of the module. The software problems of the project mainly consisted of configuring the sensor module and presenting the necessary information to the user for future configurations. The mechanical solution of the project, on the other hand, mainly consisted of designing the casing and the fasteners needed in CAD software. Recommendations to a potential manufacturer were also brought out for useful software programs and optimal manufacturing solutions.

From the manufacturer's perspective, it is a high quality carbon dioxide detector, which is manufacturable for relatively low cost. In the author's opinion, and from a potential user's perspective, it is an aesthetically pleasing and a practical device for increasing the comfort levels of staying indoors.

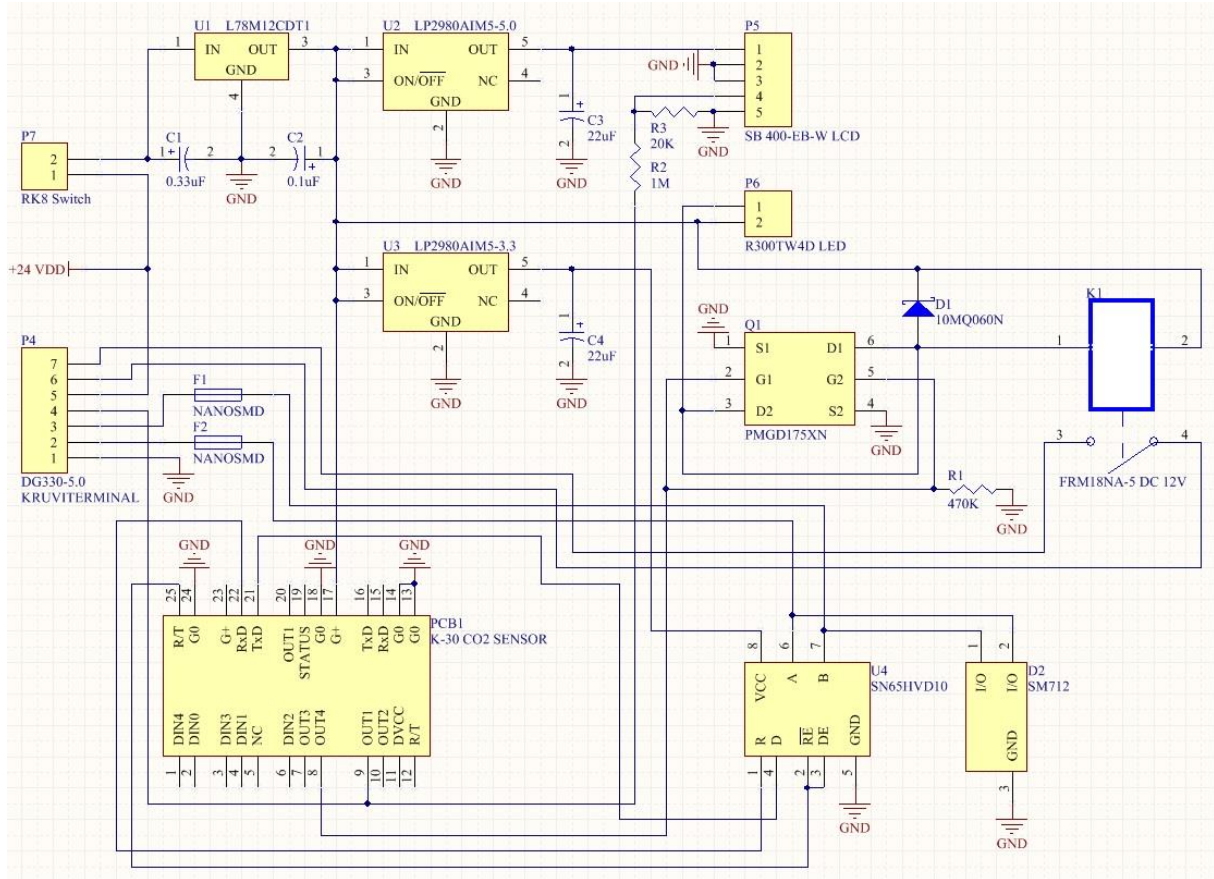
## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Wikipedia [WWW] [http://en.wikipedia.org/wiki/Indoor\\_air\\_quality](http://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_air_quality) (19.03.2015)
- [2] WSU Extension Energy Program [WWW]  
<http://www.energy.wsu.edu/Documents/CO2inbuildings.pdf> (19.03.2015)
- [3] CO2Meter [WWW] <http://www.co2meter.com/collections/fixed-wall-mount/products/co2mini-co2-indoor-air-quality-monitor> (20.03.2015)
- [4] Instrumart [WWW] <https://www.instrumart.com/products/35463/extech-co100-co2-monitor> (20.03.2015)
- [5] Instrumart [WWW] <https://www.instrumart.com/products/18180/telaire-ventostat-series-co2-monitor> (20.03.2015)
- [6] Instrumart [WWW] <https://www.instrumart.com/products/31906/vaisala-gmt220-series-co2-transmitters> (20.03.2015)
- [7] CO2Meter [WWW] <http://www.co2meters.com/Documentation/Datasheets/DS30-01%20-%20K30.pdf> (02.04.2015)
- [8] CO2Meter [WWW] <http://www.co2meter.com/collections/co2-sensors/products/k-30-co2-sensor-module> (02.04.2015)
- [9] Lascar Electronics [WWW] <http://www.lascarelectronics.com/pdf-usb-datalogging/data-logger0723253001372242883.pdf> (02.04.2015)
- [10] TME [WWW]  
<http://www.tme.eu/en/Document/347cfcc6d022658d2bea6c8b28397055/DS1021.pdf>  
(02.04.2015)
- [11] L.C. LED [WWW] <http://www.lc-led.com/View/itemNumber/583> (02.04.2015)
- [12] Greatecs [WWW] [http://www.greatecs.com/media/de/pdf/Rocker\\_Switches\\_RK8.pdf](http://www.greatecs.com/media/de/pdf/Rocker_Switches_RK8.pdf)  
(02.04.2015)
- [13] TME [WWW]  
<http://www.tme.eu/en/Document/538fc93b2bdb39c7b43da5dc6501b9/dg330-5.0.pdf>  
(02.04.2015)
- [14] TME [WWW] <http://www.tme.eu/en/details/zl262-34dg/pin-headers/ninigi/ds1023-2x17sf11/> (02.04.2015)
- [15] TME [WWW]  
<http://www.tme.eu/en/Document/89b4103d1f3caa57a1b3e92993b9af62/FRM18.pdf>  
(02.04.2015)

- [16] Octopart [WWW] <http://datasheet.octopart.com/L78M12CDT-1-STMicroelectronics-datasheet-1938.pdf> (02.04.2015)
- [17] Texas Instruments [WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2980-n.pdf> (02.04.2015)
- [18] Farnell [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/84526.pdf> (02.04.2015)
- [19] Electronic Components Datasheet Search [WWW]  
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/85729/TI/SN65HVD10.html> (02.04.2015)
- [20] Semtech [WWW] <http://www.semtech.com/images/datasheet/sm712.pdf> (02.04.2015)
- [21] Octopart [WWW] <http://datasheet.octopart.com/NANOSMDC020F-2-Tyco-Electronics-datasheet-14185940.pdf> (02.04.2015)
- [22] Digchip [WWW]  
<http://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/232/10MQ060N.php> (02.04.2015)
- [23] NXP [WWW] [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/PMGD175XN.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PMGD175XN.pdf)  
(02.04.2015)
- [24] Farnell [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1500035.pdf> (02.04.2015)
- [25] Multi Circuit Boards kodulehekülg [WWW] <http://www.multi-circuit-boards.eu/en/index.html> (15.04.2015)
- [26] OddWires [WWW] <http://www.oddwires.com/cp2104-or-cp2102-low-cost-usb-to-serial-adapter-module-usb-to-rs232-for-arduino/> (16.04.2015)
- [27] CO2Meter [WWW] <http://www.co2meter.com/pages/downloads> (19.04.2015)
- [28] Modbus on CO2 Engine and eSense, Communication Protocols Manual. [WWW]  
<http://www.co2meter.com/collections/co2-sensors/products/k-30-co2-sensor-module>  
(19.04.2015)
- [29] SenseAir [WWW] <http://www.senseair.se/senseair/research-development/technology/automatic-baseline-correction-abc/> (19.04.2015)
- [30] Wikipedia [WWW] <http://et.wikipedia.org/wiki/Survevalu> (08.05.2015)
- [31] TTÜ kodulehekülg, Materjalitehnika instituudi õppematerjal [WWW]  
[http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika\\_instituut/MX\\_X0050/Valmistustehnoloogia\\_080210.pdf](http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika_instituut/MX_X0050/Valmistustehnoloogia_080210.pdf) (08.05.2015)
- [32] Ettevõtte Plastiktoos OÜ kodulehekülg [WWW] <http://www.plastiktoos.ee/> (08.05.2015)
- [33] Ettevõtte Abiprint OÜ kodulehekülg [WWW] <http://www.abiprint.ee/> (08.05.2015)
- [34] Ettevõtte Evikon MCI OÜ kodulehekülg, seadme E2606-CO infoleht [WWW]  
[http://www.evikon.ee/catalog/download.php?doc=evikon/UM\\_EN\\_E2606-CO.pdf](http://www.evikon.ee/catalog/download.php?doc=evikon/UM_EN_E2606-CO.pdf)  
(09.05.2015)

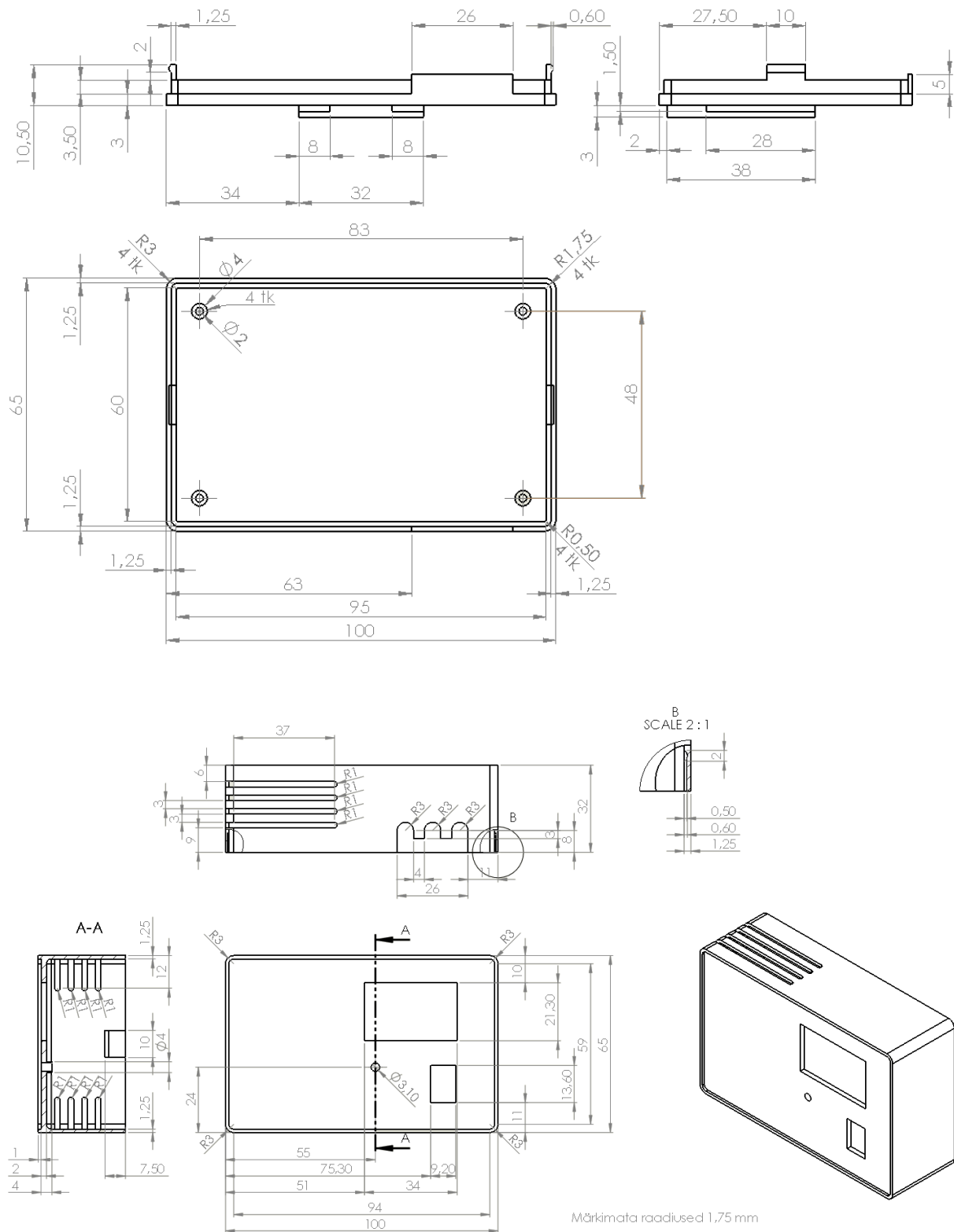
# LISAD

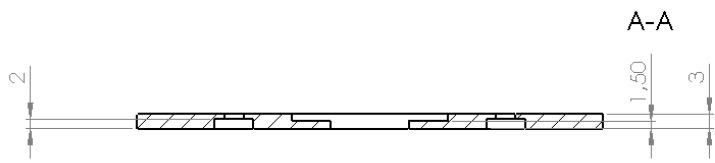
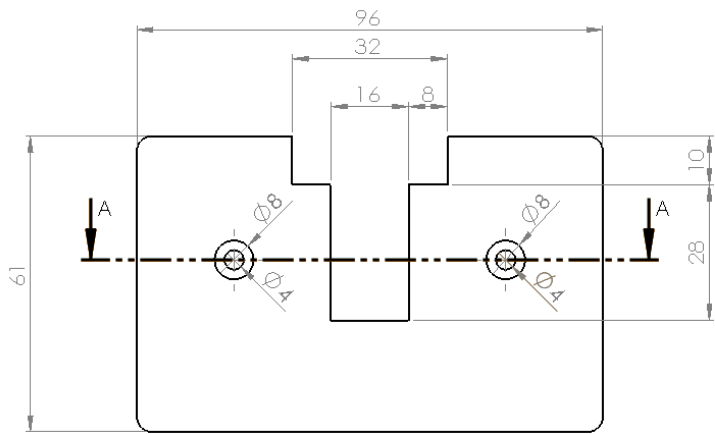
## Lisa 1. Projekteritud trükkplaadi täielik elektroonikaskeem





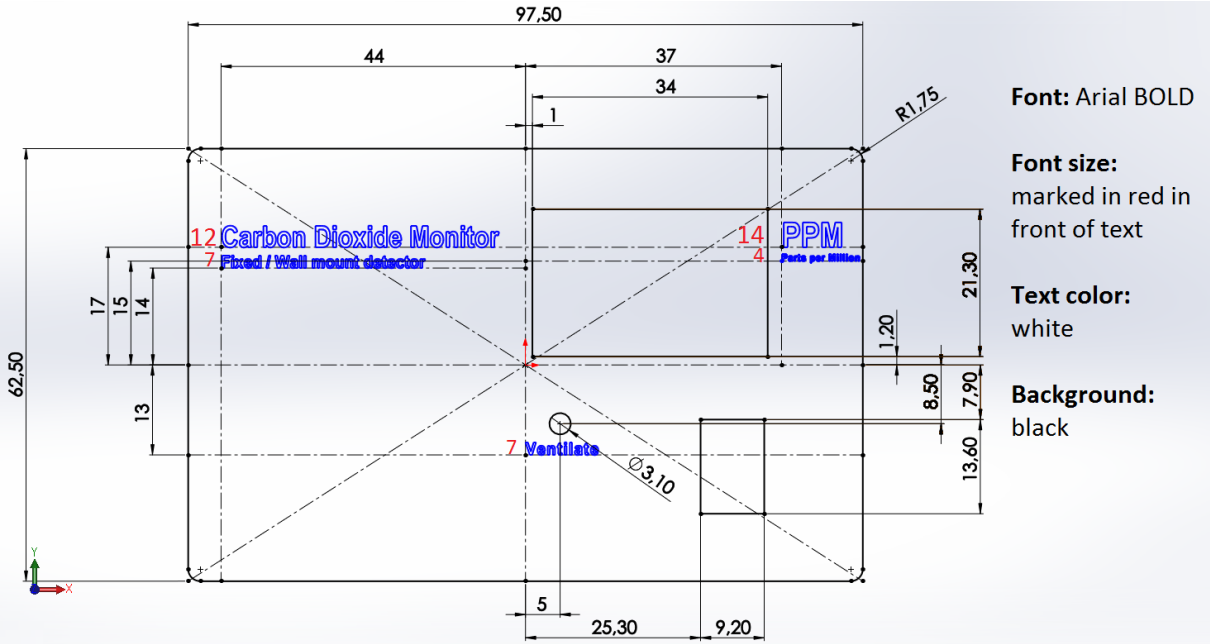
## Lisa 2. Seadme korpuse detailide tööjooniste graafika



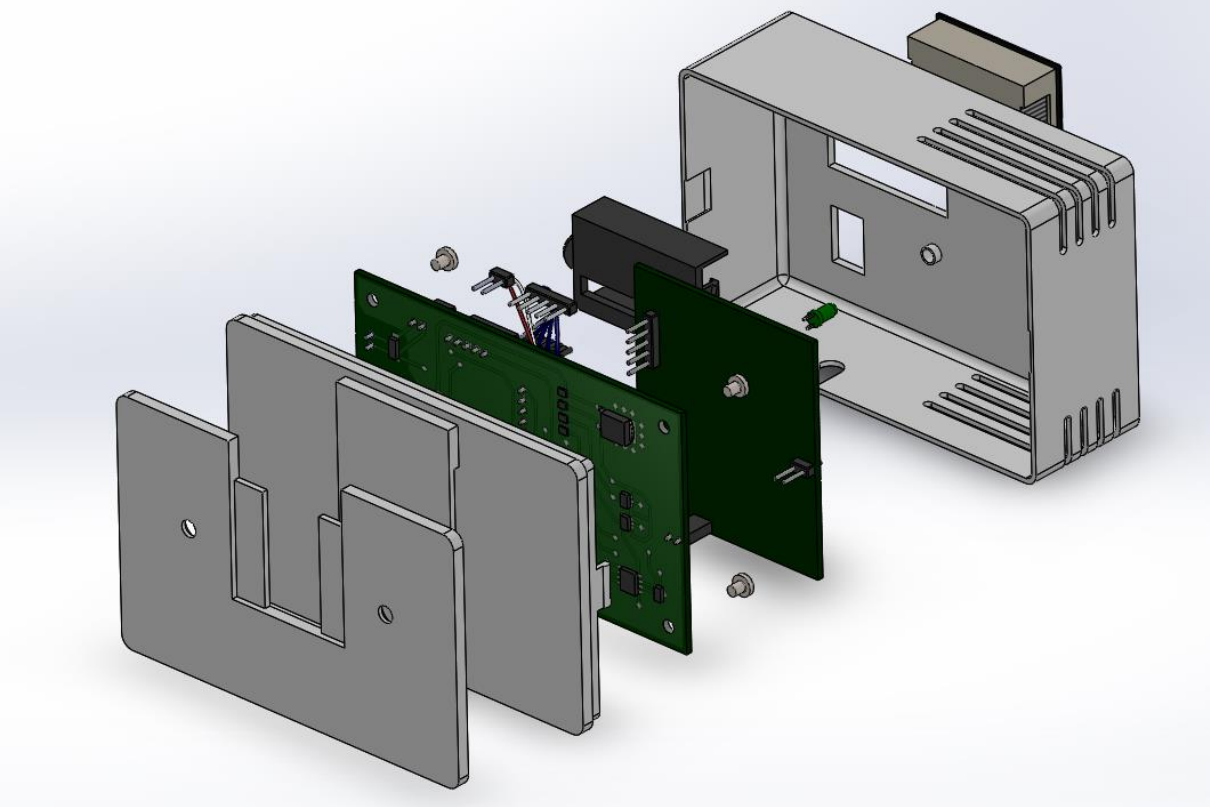
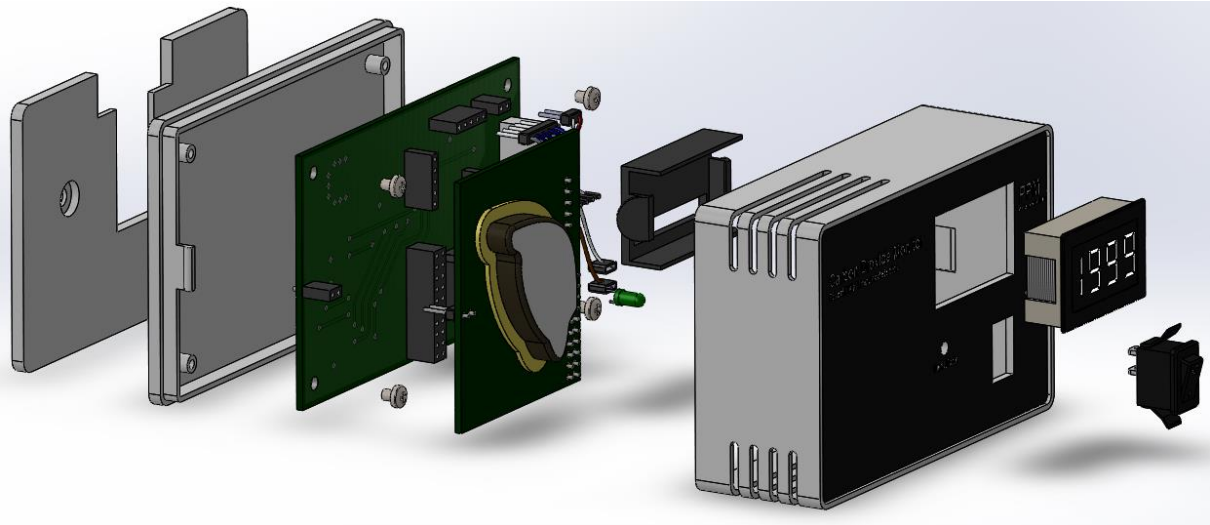


Märkimata raadiused 3 mm

### Lisa 3. Kleebise tootmiseks vajalik joonis



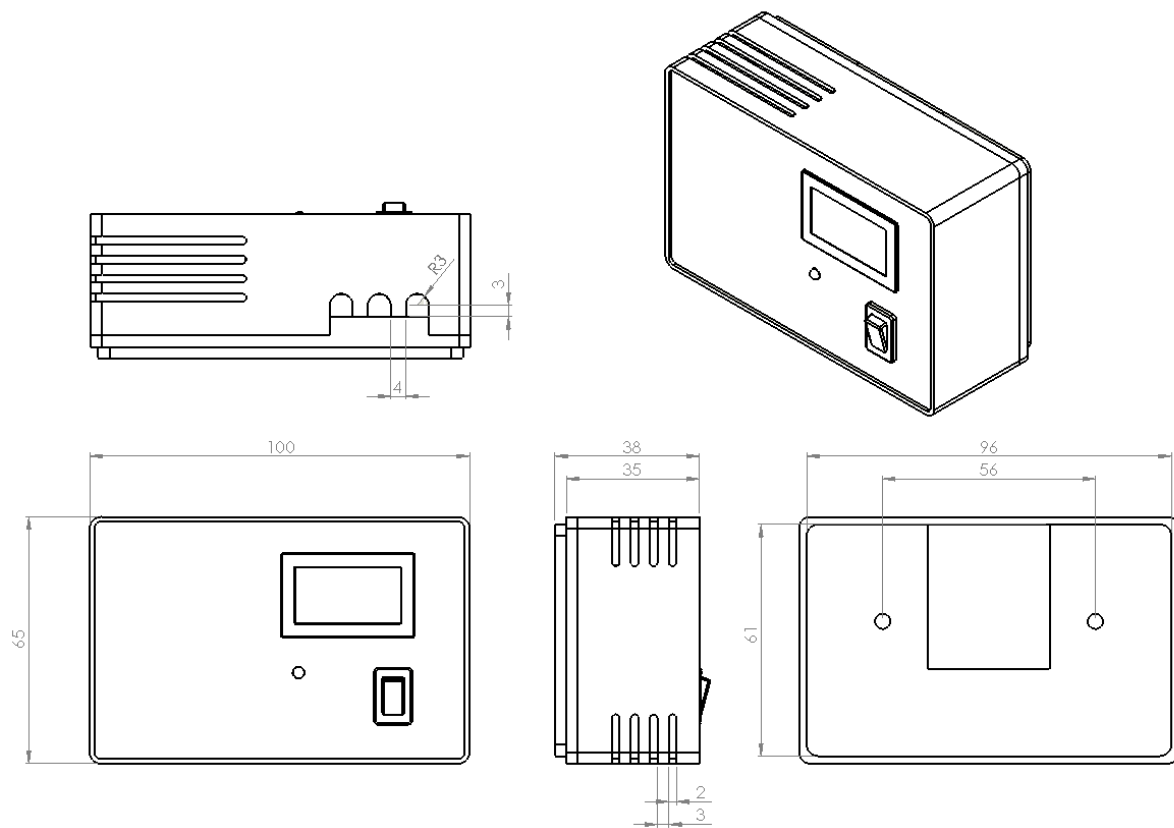
**Lisa 4. Demonteeritud seadme 3D mudeli illustatsioonid**



**Lisa 5. Viimistletud illustratsioonid seadme 3D mudelist**



## Lisa 6. Kasutajajuhendis esitatavad olulisemad mõõtmed



# Lisa 7. Seadme installatsioonijuhend

