



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MEHHATROONIKAINSTITUUT

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK40LT

Mattias Peters

Keskkonnaparametritele reageeriv
saunavalgustussüsteem

Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduse bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn 2016

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutaud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Ahti Põlder'i juhendamisel

„.....“2016 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

„.....“2016 a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

„.....“ 2016 a.

..... allkiri.

Bakalaureusetööülesanne

2016 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Mattias Peters 104304
Õppekava: MAHB02/09
Erial: Mehhatroonika
Juhendaja: Ahti Põlder, nooremteadur

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

Keskkonnaparametritele reageeriv saunavalgustussüsteem
Design of sauna lightning system

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Sarnaste turul olevate toodetega tutvumine, nende puuduste ja tugevuste hindamine.	24.03.16
2.	Prototüübi põhimõttelise lahenduse loomine.	1.04.16
3.	Projekteerida elektroonika (skeem, andurid, toide), juhtimine (tarkvara, andurite kalibreerimine) ja mehaanika (korpuse, niiskus- ja temperatuurikindlus)	15.04.16
4.	Toote majanduslike- ning ohutusaspektide analüüs	30.04.16
5.	Töö lõplik vormistamine, köitmine ja esitamine	10.05.16

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: komponentide valik lähtuvalt keskkonnatingimustest, toote kasutajaliidese ning korpuse disainimine

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 16.05.2016

Töö esitamise tähtaeg 20.05.2016

Üliõpilane Mattias Peters /allkiri/..... kuupäev.....

Juhendaja Ahti Põlder /allkiri/..... kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

Sisukord

Bakalaureusetööülesanne	3
EESSÕNA.....	6
SISSEJUHATUS.....	7
1. TURUANALÜÜS.....	9
2. SÜSTEEMI PÕHIMÕTTELINE LAHENDUS	11
3. TOOTE PROJEKTEERIMINE JA KOMPONENTIDE VALIK.....	12
3.1 Prototüüp	12
3.1.1 Nõuded prototübile	12
3.1.2 Komponentide valik.....	12
3.1.3 Prototüübi valmistamine	13
3.2 Elektroonika.....	15
3.2.1 Andurid	15
3.2.2 Toiteallikas.....	16
3.2.3 LED valgustid	17
3.2.4 MOSFET´id	18
3.2.5 Mikrokontroller.....	19
3.2.6 Muud komponendid	20
3.2.7 Elektroonikaskeem.....	21
3.3 Korpuse projekteerimine.....	23
3.3.1 Korpuse disain	23
3.3.2 Niiskuskindlus.....	24
3.3.4 Korpuse paigaldus.....	25
3.4 Seadme juhtimine	26
3.4.1 Tarkvara	26
4. TOOTE MAJANDUSLIKUD ASPEKTID	28
5. TOOTE OHUTUSLIKUD ASPEKTID	29

KOKKUVÕTE.....	31
SUMMARY	32
KASUTATUD KIRJANDUS	33
LISAD	36
Lisa 1. Temperatuurianduri andmeleht	36
Lisa 2. Niiskusanduri andmeleht.....	37
Lisa 3. Valgustusnõuded	38

EESSÕNA

Töö teema arenes välja tänu spordiklubi sauna külastamisele ja autori töökohale. Bakalaureusetöö autor on tootearendaja Domootika Oü's, firma, mis pakub targa maja lahendust. Näideteks võib tuua põranda- ja õhutemperatuuri, kardinat, valgustite ja ventilatsiooni juhtimine. Töö autor külastas Status Club'i sauna ning märkas, et leili visates valguse värvus muutus. Hiljem selgus, et toon ei muutunud õhuniiskuse tõttu, vaid kindla intervalli tagant. Sellest tekkis idee panna saunavalgustus reageerima temperatuurile ja niiskusele. Lisaks on võimalik värvidega näidata, mis on sauna temperatuur – näiteks külm on sinine ja soe punane. Samuti reageerib seade niiskusele, leili visates muutub valgustus. Antud lahendus on väga hea pakkuda klientidele, kuna autor töötab targa maja lahendustega tegelevas ettevõttes.

Bakalaureuse lõputöö on tehtud Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonika instituudi nooremteaduri Ahti Põlder'i juhendamisel.

Lõputöö teema on pakutud töö autori poolt.

SISSEJUHATUS

Antud lõputöö ülesandeks on keskkonnaparametritele reageeriva saunavalgusti disainimine. Seade on eraldiseisev ehk ei ole ühendatud hoone automaatikaga. Valgusti peab näitama sauna temperatuuri läbi erinevate värvide. Jaheda sauna korral on valgus sinine ja kuuma sauna korral punane. Lisaks peab seade reageerima leili viskamisele ehk õhuniiskuse muutumisele.

Lõputöö keskendub turuanalüüsile, süsteemi põhimõttelise lahenduse loomisele, seadme elektroonika, mehhaanika ja juhtimise projekteerimisele, majanduslike- ning ohutusaspektide analüüsile.

Komponentide valiku puhul tuleb arvestada paljude aspektidega. Näiteks valgusti puhul peab arvestada tema juhtimist, voolutarvet, valgustusvõimsust, värvivariatsioone ning vastavust keskkonnatingimustele. Andurite valikul peab nende mõõtmisvahemik vastama saunas olevatele keskkonnatingimustele. Lisaks tuleb teha valgustite juhtimise süsteemile sobilike komponentide valik. Selleks on vaja valida toiteallikas ja elektroonikakomponendid, mis võimaldavad vastavalt sisenditele anda soovitud väljundi muutes valgusti värvust.

Bakalaureusetöö käigus kasutatakse erinevaid programme. Elektroonikaskeemid tehakse Eagle PCB Design'i kasutades, mis võimaldab ka trükiplaadi jaoks vajalikku faili teha. Tootedisain tehakse SolidWorks'is ning tarkvara kirjutamine toimub NetBeans IDE 8.0.2 arenduskeskkonnas.

Keskkonnatingimustele reageeriva saunavalgustile esitatavad eesmärgid:

Korpus:

- IPX4 [1] standardile vastav – pritsiv vesi ei tohi seadet kahjustada

Niiskus- ja temperatuuriandurid:

- Keskkonnatingimustele vastavad – nõuded on toodud töö elektroonika osas
- Hea reageerimisajaga – alla 5 sekundi
- Mõõtetäpsus – temperatuurianduril alla 4 %

Tarkvara:

- 10 valikut – toote kasutaja saab valida valmis sauna temperatuuri nende hulgast

Valgustid:

- Temperatuuri- ja niiskuskindlad RGB LED'id – peavad töötama kuni 130 °C ja 100 % niiskusega keskkonnas

1. TURUANALÜÜS

Turul on pakkuda väga suures valikus erinevaid valgusteid. Antud lõputöös kasutatakse pooljuhtvalgusteid, sest need on energiatõhusad, valgustuse kvaliteet on hea ning disain võimaldab luua erinevaid lahendusi.

Tabelis 1 on toodud põhilised turul olevad konkurendid käesolevas lõputöös disainitavale seadmele. Olemas on teatud perioodi tagant, kasutaja poolt ja muusika järgi värvi muutvad valgusallikad. Käesoleval hetkel puudub turul pakkumine seadmele, mis muudaks RGB LED´ide valgust vastavalt ruumi temperatuurile. Samuti pole toodet, mille värvi vahetus toimub sõltuvalt niiskusest, rääkimata valgustist, mis reageeriks mõlemale parameetrile. Kõige lähedasem toode on RGB LED valgustid, mis muudavad teatud aja tagant värvust ja on sobilikud saunas olevale keskkonnatingimustele.

Tabel 1. Turul olevate toodete võrdlus keskkonnaparameetritele reageeriva saunavalgustiga

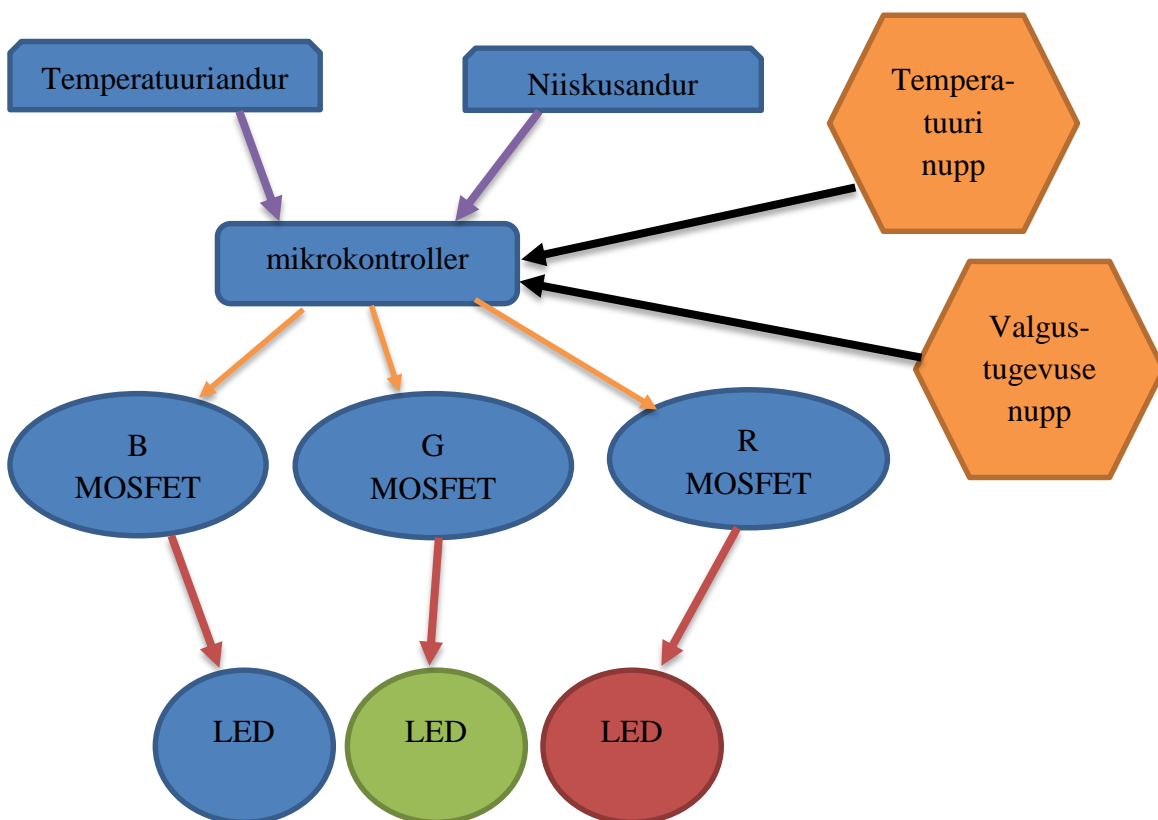
Toode	Värvuse muutmine teatud aja tagant	Värvuse muutmine vastavalt temperatuurile	Värvuse muutmine vastavalt niiskusele	Annab teada, et saun on valmis
Antud lõputöö seade	+	+	+	+
Traditsiooniline sauna valgustus	-	-	-	-
Tavaline LED valgustus	-	-	-	-
LEDlamp.ee RGB sauna valgustus	+	-	-	-
KIUTO targa maja lahendus	-	-	-	+

Tabelis 1 on näha, et antud bakalaureusetöös disainitav seade on turul ainulaadne toode, kuid lähimateks konkurentideks võib pidada kõiki valgustite pakkujaid, kelle süsteemid sobivad

kasutamiseks saunas. Esialgelt on sihtturuks Baltikum ja Põhjamaad, mille elanike seas on sauna kasutamine populaarne.

2. SÜSTEEMI PÕHIMÕTTELINE LAHENDUS

Keskkonnatingimustele reageeriva saunavalgustuse põhikomponentideks on niiskus- ja temperatuuriandur, juhtseade, RGB LED valgustid ning toiteallikas. Juhtseade koosneb mikrokontrollerist ning transistoritest. Vooluallikas, milleks on alaldi asub juhtseadmest eraldi. Toiteallika sisendpinge on 230 V vahelduvool, mis muudetakse 12 V ja 5 V alalisvooluks. Mikrokontroller ja andurid töötavad 5 V pingel. Mikrokontrollerisse salvestatud tarkvara hakkab seadme funktsioone juhtima. Anduritele antakse toiteallikast kogu aeg voolu peale, mille tõttu on mikrokontrolleri ja analoogandurite vahel pidev side. Neisse läheb 5 V toitepinge, kust saadetakse uue väärtusega info tagasi. Seejärel mikrokontroller loeb sisendi ära ning vastavalt tarkvarale hakatakse RGB LED'idega looma värvitoone. Selle jaoks avatakse transistorid, mille kaudu pingestatakse valgusdiodid. MOSFET'id võimaldavad lülitada väga kiiresti voolu sisse ja välja. Eelnimetatud tegevuse kaudu käibki LED'ide juhtimine, nende värvuse ja valgustugevuse muutmine. Transistoritele saadetakse pulsi-laiuse-modulatsiooni signaal. Saunavalgustuse põhimõtteline lahendus on toodud sele 1.



Sele 1. Süsteemi põhimõtteline lahendus

3. TOOTE PROJEKTEERIMINE JA KOMPONENTIDE VALIK

3.1 Prototüüp

3.1.1 Nõuded prototüübile

Prototüübi ehitamise puhul oli esimeseks etapiks seadmele kehtivate nõuete määratlemine. Andurite puhul peeti tähtsaks nende töötemperatuuri. Prototüübi puhul oli nõue, et arendusplatvorm oleks lihtsalt programmeeritav ja ühendatav. Tabelis 2 on toodud nõuded prototüübile.

Tabel 2. Nõuded prototüübile

Nõue	Väärtus
Maksimaalne töötemperatuur temperatuurianduril	120 °C
Maksimaalne töötemperatuur niiskusanduril	120 °C
Lihtne katsetada	arendusplatvorm
Lihtne programmeerida	arendusplatvorm
LED valgustite tüüp	RGB

3.1.2 Komponentide valik

Prototüübi komponentide valik algas mikronrolleri valikust. Väikestest arendusplaatidest on Arduinol [2] olemas oma tarkvara arendamise programm, ning internetis on palju infot kuidas luua erinevaid seadmeid eelnimetatud platvormiga. Lähtudes eespool toodud infost ning töö autori eelnevast kokkupuutest Arduino'ga, tehti valik antud tootja toodete hulgast. Mugavama testimise jaoks pidi prototüüp olema väike, seega jäi arendusplaadi valikusse Arduino Pro Mini [3] ja Nano [4]. Võrreldes neid kahte arendusplaati näeme, et Arduino Pro Mini'1 on suurem flash ja EEPROM. Lisaks on mõõtmelalt natukene väiksem, seega sai otsustatud tema kasuks.

Keskkonnatingimustele reageerival saunavalgustusel on kaks andurit, milleks on niiskus- ja temperatuuriandur. Nende valiku puhul lähtuti töötemperatuurist, mis prototüübi puhul pidi jääma 120 °C piiresse. Teiseks kriteeriumiks oli anduri ühendamise lihtsus Arduino Pro Mini'ga. Arvestades eespool toodud nõudeid sai valitud niiskusanduriks Octopus EF04024 [5]. Temperatuurianduri valiku puhul selgus, et kontoris oli olemas Microchip MCP9700 [6]. Antud

andur sobib oma töötemperatuuri $-40...+150^{\circ}\text{C}$ poolest hästi prototüübile. Lisaks on MCP9700 ühendamine Arduinoga analoogne niiskusanduri ühendamisele. RGB LED riba valikul lähtuti 12 V pingest ning IP68 standardist. Ülejäänud komponentide valik toimus olemasolevate komponentide seast. Valiti kaks neljast kruviühendust üks anduritele ja teine LED'idele, kolm FOU24n [7] transistorit, iga värvi jaoks üks, ning toitepistik. Kasutusel olevaid komponente näeb tabelist 3.

Tabel 3. Valitud komponendid

Komponent	Parameeter	Väärtus
Arduino Pro Mini	Tööpinge	5 V
Octopus EF04024	Niiskuse mõõtepiirkond	0-100 %
MCP9700	Temperatuuri mõõtepiirkond	$-40...+150^{\circ}\text{C}$
FUO24n MOSFET	Kogus	3 tk
RGB LED riba	IP standard	68
Sisendid/väljundid	Kogus	3 tk

3.1.3 Prototüübi valmistamine

Kõigepealt valmis prototüübi füüsiline osa, mille käigus joodeti komponendid arendusplaadile ning ühendati LED ribaga ning anduritega. Järgmiseks protsessiks oli Arduino Pro Mini mikrokontrolleri programmeerimine. Tarkvara kirjutamise jaoks tuli andurite andmelehtedelt võtta väärtused, et teada mitu volti andur teatud temperatuuri või õhuniiskuse juures väljastab. MCP9700 teisendab ise väärtused lineaarseks. Andur väljastab -40°C juures 2,3 V ning 1°C temperatuuri tõusu tõstab pinget 0,1 mV. Octopus EF04024 niiskusanduri puhul on tähtis saada väärtused, milline on enne ja pärast leili viskamist niiskuse tase. Testides andurit, saadi teada, et niiskusandur väljastab 0% õhuniiskuse korral väärtuse 0 ja 100% korral 950. Temperatuuriandur oli tehase poolt varasemalt kalibreeritud. Prototüüpi testides veenduti, et MCP9700 väärtused vastasid lisas 1 olevale andmelehel väärtustele. Niiskusanduri testimisel 80°C temperatuuri juures oli algselt anduri väljastatav väärtus vahemikus 450-580. Peale leili viskamist jäi 800-950 vahele.

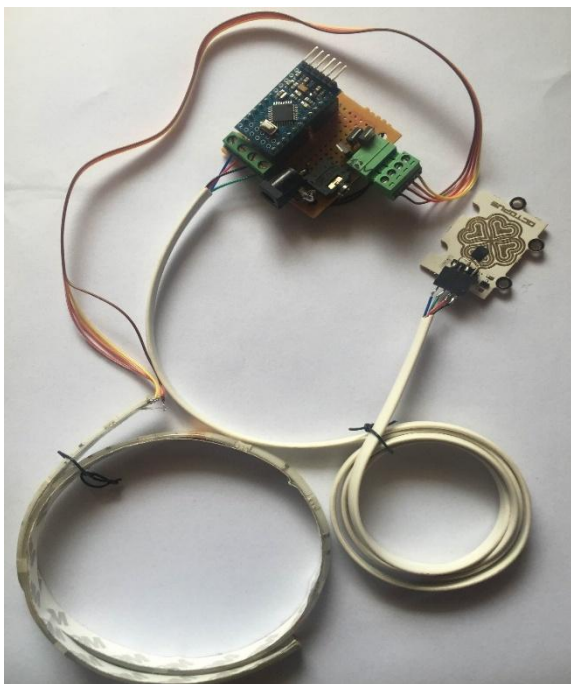
Järgnevalt alustati prototüübi tarkvara arendamisega. Programmeerimine toimus Arduino arenduskeskkonnas. Edasi hakkati prototüüpi katsetama ning tarkvara arendama. Esmalt pandi

tööle tulede põhivärvide muutus vastavalt temperatuurile ning niiskusele. Järgnevalt hakati looma erinevaid värvikombinatsioone ning nende muutumist sujuvaks. Tabelis 4 on näha testseadme tarkvaral määratud värvide seost temperatuuri ja niiskusega.

Tabel 4. Prototüübi värvide toon sõltuvalt niiskusest ja temperatuurist

Värv	Temperatuurivahemik °C	Niiskusvahemik %
Sinine	0-50	-
Sinakasroheline	50-60	-
Roheline	60-70	-
Kollane	70-80	-
Lilla	80-90	-
Punane	-	80-100

Prototüüp oli vajalik arusaamaks, kuidas andurid reageerivad nii temperatuuri kui ka niiskuse muutmisele, ning tarkvara kirjutamiseks ja testimiseks. Reaalse toote jaoks on vaja andureid, mille keskkonnataluvus on kõrgem, kuna saunas võib temperatuur tõusta üle 100 °C. Ruumi säästmise ja seadme lihtsama tootmise huvides võetakse kasutusele väiksem mikrokontroller. Seadme prototüüpi on näha sele 2.



Sele 2. Prototüüp

3.2 Elektroonika

3.2.1 Andurid

Antud seadmel on kasutusel kaks andurit, üks on temperatuuri ja teine niiskuse andur. Nad peavad töötama keskkonnas kuni 150 °C ja taluma 100 % niiskust. Temperatuurianduri valikus oli nelja toodet. Neil kõigil on sarnane mõõtepiirkond, töötavad pingega 5 V ja nad vastavad keskkonnanõuetele. Valiku puhul lähtuti mõõtetäpsusest, mis temperatuurianduril pidi jääma 2,5 % sisse. Niiskusanduri puhul võib mõõtetäpsus jääda 10 % sisse, kuna toode pole mõeldud mõõtma niiskustaset, vaid selle muutust. Reageerimisaeg peab jääma temperatuurianduril 30 s sisse ning niiskuse mõõtmisel maksimaalselt 5 s piiresse. Sauna temperatuuri mõõtmiselt pole lühike reageerimisaeg väga oluline, sest temperatuuri tõus toimub aeglaselt. Lisaks komponentide omadustele oli valiku puhul tähtis ka hind. Neist kolmest kriteeriumist peeti kõige tähtsamaks temperatuurianduri puhul mõõtetäpsust ja hinda ning niiskusanduril reageerimise aega. Tabelis 5 on toodud temperatuuriandurid, mille vahel tehti valik.

Tabel 5. Temperatuuriandurite võrdlus

Tootja	Toote kood	Töötemperatuuri vahemik °C	Mõõtepiirkond °C	Mõõtetäpsus 100°C juures	Reageerimisaeg s	Hind €
Analog Devices [8]	AD592 ANZ	-50...+150	-50...+125	± 2,5	10	2,3
NXP [9]	KTY81 110	-55...+150	-55...+150	± 3,5	30	0,5
ST Microelectronics [10]	LM135 Z	-55...+150	-55...+150	± 0,5	8	8,0
Microchip [11]	MCP9700	-40...+150	-40...+150	± 2,0	1,3	0,2

Temperatuurianduri puhul osutus valituks Microchip MCP9700, kuna andur on teistest odavam ja mõõtepiirkond on sobiv. MCP9700 on kasutusel ka prototüübil. Testimise käigus veenduti, et andur reageerib hästi temperatuuri muutusele.

Niiskusanduri valiku puhul oli esmatähtsaks leida sobiva töötemperatuuriga andur, mis oleks ka mõistliku hinnaga. Selgus, et kõrget temperatuuri taluvaid tooteid pole väga palju. Järgmiseks kriteeriumiks oli kiire reageerimise aeg, sest seadme üks funktsioone on valguse muutmine vastavalt niiskuse tõusule. Viimaseks aspektiks oli komponendi hind. Tabelis 6 on toodud niiskuandurite võrdlus.

Tabel 6. Niiskusandurite võrdlus

Tootja	Toote kood	Töötemperatuuri vahemik °C	Mõõtetäpsus	Reageerimisaeg s	Hind €
Honeywell [12]	HIH8121-021-001	-40...+125	± 2,0	6	6,7
TE CMS [13]	HPP801A031	-40...+140	± 2,0	3	5,8
TE CMS [14]	HPP804B130-ND	-60...+140	± 1,0	3	17,9
ST [15]	HTS221	-40...+120	± 3,5	10	4,8

Võrreldi omavahel nelja erinevat andurit. Neist osustus valituks TE Connectivity Measurement Specialties HPP801A031, kuna töötemperatuuri vahemik on -40...+140 °C. Lisaks on reageerimisaeg antud valikus olevatest anduritest üks parimaid ning hind odavapoolsem.

3.2.2 Toiteallikas

Keskkonnaparametritele reageeriva saunavalgusti toiteallikaks on ettevõtte poolt määratud t ZXC120050 [16], mille parameetrid on toodud tabelis 7.

Tabel 7. Toiteallika parameetrid

Parameeter	Väärtus
Sisendpinge	100-240V 50-60hz
Sisendvool	0,3A
Väljundpinge	12/5V
Väljundvool	0,5A

Toiteallika kõige suuremaks koormuseks on LED valgustid. Mikrokontrolleri (0,2 mA), temperatuurianduri (0,00012 mA) ja muu elektroonikakomponentide voolutarvet võib lugeda tühiseks võrreldes valgustitega. Toiteallika võimsuse saab arvutada valemi $P = UI$ kaudu, saades võimsuseks $12 \cdot 0,5 = 6$ W. Jättes 1W elektroonika tarbeks, jääb alles $6 - 1 = 5$ W valgustite tarveks. Tabelist 8 saame, et üks LED tarbib 0,065 W, seega jättes väikese varu on võimalik toiteallikaga ühendada maksimaalselt $5 / 0,065 = 61$ LED valgustit.

3.2.3 LED valgustid

Enamik LED valgusteid on mõeldud töötama temperatuuril $-40...+80$ °C. Saun on keskkond, kus temperatuur on $100 +$ °C juures, seega on vaja valgusteid, mis taluks antud kuumust ning leili viskamisest tekkinud niiskust. Tavalise valgusdioodide kuustaluvust saab tõsta vähendades nendest läbilastava voolu suurust. Teine võimalus on paigutada LED'id jahedamasse kohta. Antud lõputöös on kasutusel ettevõtte poolt ette määratud kõrgema temperatuuritaluvusega LED valgustid, mille parameetrid on tabelis 8.

Tabel 8. RGB LED'ide parameetrid

Parameeter	Väärtus
Tööpinge	DC12 V
Läbimõõt	5 mm
Võimsus	0,065 W \pm 10 %
Valgustustugevus	39,3 lm \pm 10 %
Töötemperatuuri vahemik	$-20...+130$ °C
Niiskus	0-100 %
Eluaeg	50 000 h
Valgustusnurk	70 °
IP standard	68

Lähtudes toideallika võimsusest saab maksimaalselt kasutada 61 LED'i. Kuna üks valgusti annab 39,1 lm, siis maksimaalne valgustugevus on antud seadmehel $39,1 \cdot 61 = 2385$ lm, mis teeb 20 m^2 sauna valgustuseks $2385 / 20 = 119$ lx. Lähtudes lisa 3 toodud valgustusnõuetest on näha, et 100 lx on nõutud restoranide ning 50 lx koridoride valgustuseks. Üldiselt on saunades

valgustust vähem kui koridorides, seega saab järeldada, et on piisav. LED'idele pole vaja takisteid, sest nende tööpinge on võrdne toiteallika pingega.

3.2.4 MOSFET'id

Antud seadmes kasutatakse LED'ide juhtimiseks MOSFET'eid. Mikrokontroller väljastab väljatransistoritele PWM ehk impulsilaiusmodulatsiooni signaali, mis muudab püsiva amplituudi ja sagedusega ristkülikimpulsside laiust. Punasel, rohelisel ja sinisel LED'il on oma MOSFET, mis teda lülitab põlema. Kombineerides impulsside laiust ja RGB valgusdioode, tekitatakse soovitud värvid.

MOSFET'ite valiku puhul tuleb lähtuda mikrokontrolleri pingest, mis hakkab transistoreid lülitama. Keskkonnatingimustele reageeriv saunavalgustus peab töötama sujuvalt, selleks on vaja kasutada komponente, mis lülitavad LED'e kiiremini sisse-välja kui inimese silm jõuab reageerida. Paljud valgusdiodid, mida juhitakse PWM signaaliga töötavad 500 Hz ja kõrgemal, mis on ka antud seadme komponentide valikul minimaalseks sageduseks. Lisaks tuleb lähtuda MOSFET'ite valikul nende võimsusest ja pingest, mis peavad olema minimaalselt 5 W ja 12 V. Viimaseks kriteeriumis on antud komponendi puhul hind. Tabelis 9 on toodud MOSFET'ite võrdlus.

Tabel 9. MOSFET'ite võrdlus

Tootja	Toote kood	Võimsus W	Päripinge V	Hind €
Vishay [17]	SI4178DY-T1GE3	5	30	0,26
Fairchild Semiconductor [18]	RFD14N05LSM	14	50	0,30
NXP [19]	BSP250.115	5	30	0,37
Infineon technologies [20]	BSF450NE7NH3XUMA1	18	75	0,76

MOSFET'ite võrdlemise käigus selgus, et väga paljude võimsus ja pinge on suuremad, kui antud seadmel vaja. Kõik tabelis 9 olevad tooted on paremate näitajatega, kui keskkonnatingimustele reageerival saunavalgustusel reaalselt vaja. Valituks osutus Vishay SI4178DY-T1GE3 MOSFET. Kuna kõik tooted ületasid minimaalseid nõudeid, sai otsus tehtud hinna järgi.

3.2.5 Mikrokontroller

Kontrolleri valiku puhul tuleb arvestada, et antud seadmel on vaja 3 PWM generaatori ja 6 digitaalset väljundit. Lisaks on vaja 3 analoog-digitaalmuunduri ja 4 digitaalset sisendit. Antud komponendi valiku puhul on tähtis, et kontroller tekitaks pulsilaiuse signaali riistvaraliselt, siis ei pea eelnimetatud funktsiooni teostama tarkvaraliselt. Lähtudes eelpool toodud nõuetest, valiti tabelisse 10 mikrokontrollerid, milles hulgast tehti valik.

Tabel 10. Mikrokontrollerite võrdlus

Tootja	Tootekood	Flash kB	Sisendeid/ väljundeid	ADC	PWM	Hind
ST [21]	STM8AF6223A	8	16	7	3	1,25
MICROCHIP [22]	PIC16F1509	14	18	12	4	1,14
Atmel [23]	ATtiny45	8	16	8	3	2,09
MICROCHIP [24]	PIC16F1507	3,5	18	12	4	1,15
Atmel [25]	Atmega168P	16	23	8	3	3,3

Keskkonnaparametritele reageeriva saunavalgusti mikrokontrolleri valikus oli 5 toodet. Neist osutus valituks Microchip PIC16F616. Eelnimetatud kontroller sai valitud kuna on antud toodete seas kõige odavam, millel on piisav arv sisendeid, välundeid, PWM generaatoreid ja ADC'id. Flash mälu 14 kB ja töösagedus 20 MHz on toote jaoks piisavad. Eeltoodud kontrollerile tarkvara laadimiseks paigaldatakse trükiplaadile ICP ehk skeemisisese programmeerimise pistik.

3.2.6 Muud komponendid

Keskkonnatingimustele reageerival saunavalgustusel on lisaks eelnevatele komponentidele veel potentsiomeeter, binaarne pöördlülit, indikaatorvalgusdiodid ning takistid. Potentsiomeetri ülesanne on saunas olevate LED´ide valgustugevuse muutmise. Eelnimetatud komponent annab vastavalt enda takistusele mikrokontrollerile pinge, mille järgi toimub tarkvaraliselt valgusdiodide reguleerimine. Antud funktsiooni teostamiseks piisab väikese võimsusega potentsiomeetrist 50mW, mille maksimaalne takistus on 10 kΩ, kuna komponendi maksimaalne vool on $I = 5 / 10000 = 0,005 \text{ A}$ ning $N = 5 * 0,005 = 0,0025 \text{ W}$ ehk 2,5 mW. Seega sai valitud kõige odavam toode CTR R16110NO-KQ20A9.9-A103-00 [26] hinnaga 0,34€.

Binaarse pöördlülitiga valitakse valmis sauna temperatuuri. Toote kasutaja pöörab nuppu, mille järel saadetakse mikrokontrollerile binaarne väärtus. Saadud info järgi valitakse tarkvarast vastav versioon. Pöördlülit valiku puhul lähtuti positsioonide arvust, hinnast ning kujust. Tabelist 11 on toodud valikus olnud komponendid.

Tabel 11. Pöördlülitite võrdlus

Tootja	Tootekood	Positsioonide arv	Hind
CTS [27]	220AMC10R	10	1,71
CTS [28]	220ADC10	10	1,76
CTS [29]	220AMB10R	10	1,76
NKK Switches [30]	FR01KR16H-S	16	2,27

Valituks osutus CTS 220AMC10R pöördlülit, kuna käesoleval rakendusel on vaja 10 positsiooni arvu ning antud komponent on võrreldutest odavam.

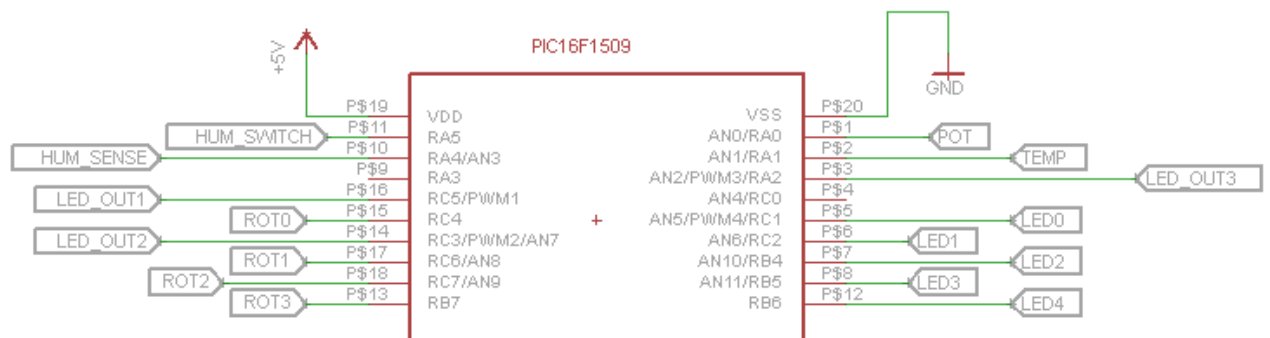
Lisaks eelpool toodud komponentidele on toodel kasutusel 5 indikaatorledi [31], mille tööpinge on 2,5 V ja voolutugevus 0,2 mA. Nende eesmärgiks on näidata toote kasutajale, milline tarkvaraversioon on valitud. Selleks, et valgusdiodid läbi ei põleks on vaja takisteid, mille väärtus on $R = 2,5 / 0,005 = 500 \Omega$. LED´ile antud vooluhulk tuleneb praktilisest kogemusest, 5mA on piisav, et saavutada indikaatori jaoks sobiv valgustugevus. Kuna väärtusega 500 Ω takisteid ei ole, siis tuleb kasutada 510 Ω [32].

3.2.7 Elektroonikaskeem

Selel 3 on toodud keskkonnatingimustele reageeriva saunavalgusti mikrokontrolleri ühendusskeem. Tabelis 12 on seletatud lahti joonisel olevate lühendite tähendused.

Tabel 12. Lühendite tähendused

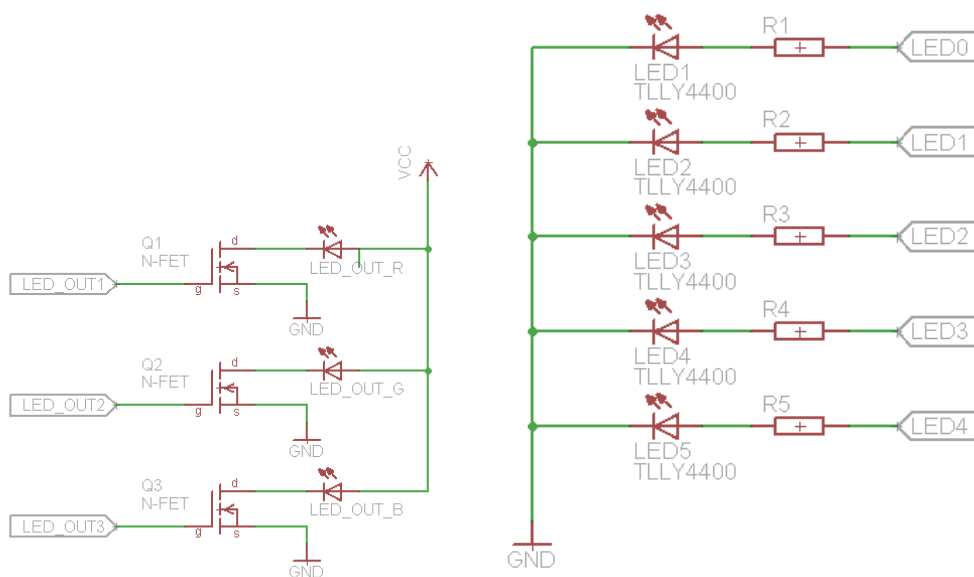
Lühend	Tähendus
HUM_SWITCH	Niiskusanduri juhtimine
HUM_SENSE	Niiskusanduri sisend
LED_OUT1,2,3	Signaal RGB LED'ede juhtivatele MOSFET'itele
ROT0,1,2,3,4	Binaarse pöördlüli sisendid
POT	Potentsiomeeter
TEMP	Temperatuurianduri sisend
LED0,1,2,3,4	Indikaatorvalgusdiodide väljundid



Sele 3. PIC16F1509 mikrokontrolleri ühendusskeem

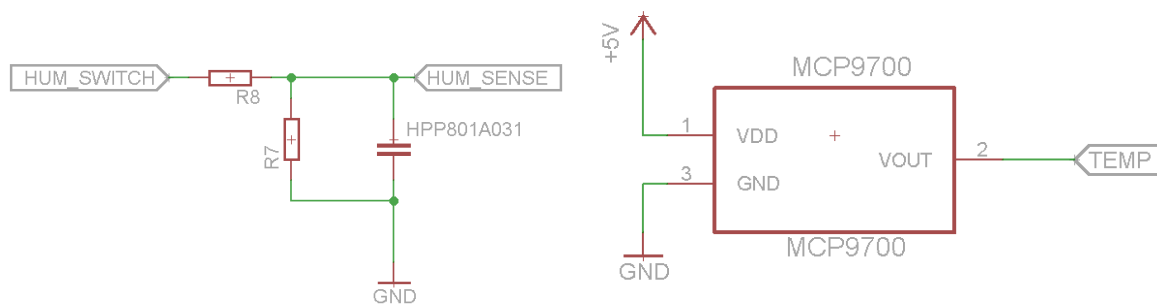
Seadmel on 3 erinevat värvi valgusdiodi, mida pigestatakse läbi kolme MOSFET'i. Kui toode on ühendatud voluringi, siis on väljatransistorid koguaeg pingestatud olekus. MOSFET'eid juhitakse läbi PWM signaali, mis tuleb mikrokontrolleri LED_OUT1, LED_OUT2 ja LED_OUT3 väljundilt, ehk on ühendatud otse PIC16F1509 külge. Antud lahendus oli ka toote prototüübil ja toomis suurepäraselt. Selel 4 on toodud käesolevas bakalaureusetöös disainitava toote LED'ide juhtimisskeem. Lisaks on näidatud tootel olevate indikaatorvalgusdiodide ühendusskeem. LED'id saavad toote mikrokontrolleri väljunditelt LED0, LED1 jne. Kuna

PIC16F1509 väljundpinge on 5V aga valgusdiodidel 2,5, siis on paigutatud enne neid 510 Ω takistid.



Sele 4. LED'ide ja indikaatorvalgusdiodide juhtimisskeem

Selel 5 on toodud keskkonnatingimustele reageeriva saunavalgustussüsteemi niiskusanduri ja temperatuurianduri ühendusskeem.



Sele 5. HPP801A031 niiskusanduri ja MCP9700 temperatuurianduri ühendusskeem

3.3 Korpuse projekteerimine

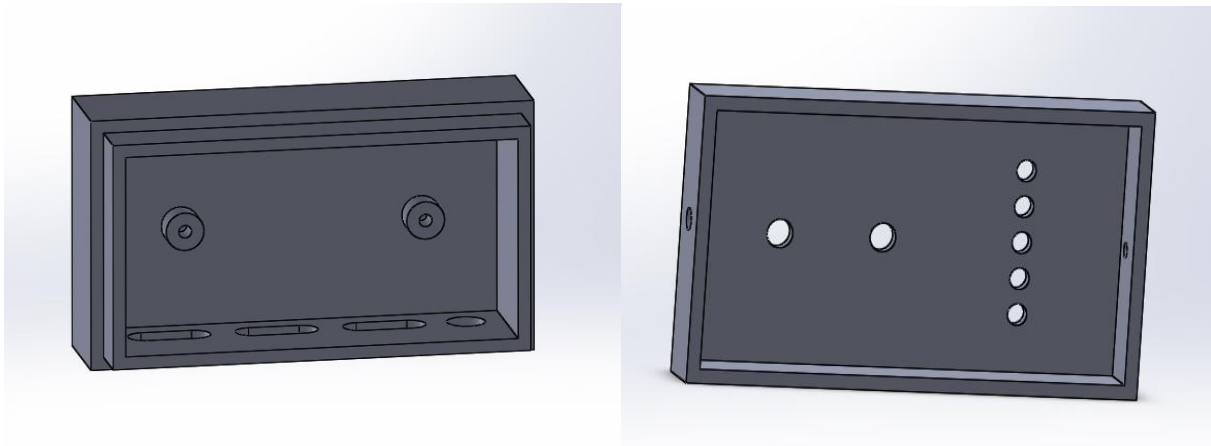
3.3.1 Korpuse disain

Keskkonnaparametritele reageeriva saunavalgustuse põhiline kriteerium korpuse disainimisel oli IPX4 standard. Kuna töö autor on kokku puutunud toodete tootmis- ning arendusprotsessiga, mille materjalideks on kasutatud erinevaid metalle ja plastikuid, siis lähtudes autori isiklikust kogemusest on metallide töötlemine kallim ning keerulisem kui plastidel. Samuti on metallide töötlemisel rohkem jääke, ning voolujuhtivus on suurem. Lisaks on ettevõttel olemas 3D printerid, millega on eelnevalt suures mahus korpuseid toodetud. Eelnimetatud põhjustel otsustati korpuse tegemiseks kasutada plastikut. Materjali valiku puhul hinnati tema hinda, kestvust ja kasutustemperatuuri. Tabelis 13 on võrreldud erinevate plastikute omadusi. Hinnad on võetud 3dpartner [33] kodulehelt. Kõik tabelis toodud materjalid on sobilikud 3d printimiseks. Valituks osutus ABS plastik, kuna ta kannatab kõrgemat kasutustemperatuuri enne kui hakkab kuju muutma. Lisaks on ABS plastik hea kestvusega.

Tabel 13. Plastikute võrdlus

Materjal	Klaasistumise temperatuur °C	Kestvus	Hind €/kg
ABS [34]	105	hea	26,3
PLA [35]	60	halb	26,3
Nailon 6 [36]	47	hea	37,2

Selel 6 on toodud toote korpuse tagumine ning esimene pool. Korpuse alumisel küljel on neli ava, mis on mõeldud toite, temperatuuri - ja niiskusanduri ning LED valgustite jaoks. Korpuse sees on kruvi kohad, millega kinnitatakse trükiplaat. Kaanel on avatud LED indikaatorite, potentsiomeetri ja pöördlüüti jaoks. Korpuse kaas kinnitatakse külgedelt 3mm peitpeaga kruvidega. Selel 7 on toode komplekselt kujul.



Sele 6. Korpus



Sele 7. Toote korpus koos nuppude ja indikaatoritega

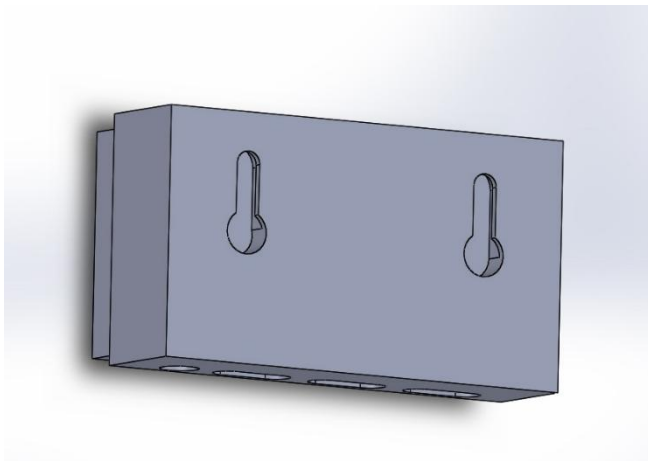
3.3.2 Niiskuskindlus

Keskkonnaparametritele reageeriva saunavalgusti juhtsüsteem paikneb keskkonnas, kus on niiskuse tase väga kõrge, ning seetõttu peab vastama IPX4 standardile. Teatavasti elektroonika ning vesi hästi kokku ei sobi, seega tuleb teha nende kohtumine võimalikult vähetõenäoliseks. IPX4 standard tähendab, et seadmele pritsitud vesi ei tohi teda kahjustada. Kõige niiskust kartvamad osad on sisendite ja väljundite ning korpuse liitmise kohad. Niiskuskindluse suurendamiseks kasutatakse korpuse liitmiskohtades Kleen-Flo[37] tihendisilikooni. Antud toode on mõeldud asendamaks tihendeid ning on mõeldud kasutamiseks temperatuurivahemikus $-60...+204$ °C. Kõikide muude kohtade tihendamiseks kasutatakse

kummist tihendeid. Seadme paigaldusjuhendis peab olema osa, kus soovitatakse paigaldada antud toode võimalikult kuiva kohta vältimaks otsekokkupuudet veega.

3.3.4 Korpuse paigaldus

Keskkonnaparameetritele reageeriva saunavalgusti juhtsüsteemi peab saama paigaldada nii seinale, kui ka seina süvistatult. Paigaldamine peaks olema lihtne ning kiiresti tehtav. Korpus kinnitatakse kasutades kahte tüüblit, mille sisse lähevad kruvid. Tüüblid on 5 mm läbimõõduga ja tüüp sõltub kohtast kuhu seade kinnitatakse. Kinnitust on näha seel 8. Antud kinnitus on hea, sest tüübleid saab paigaldada ka puitseina.



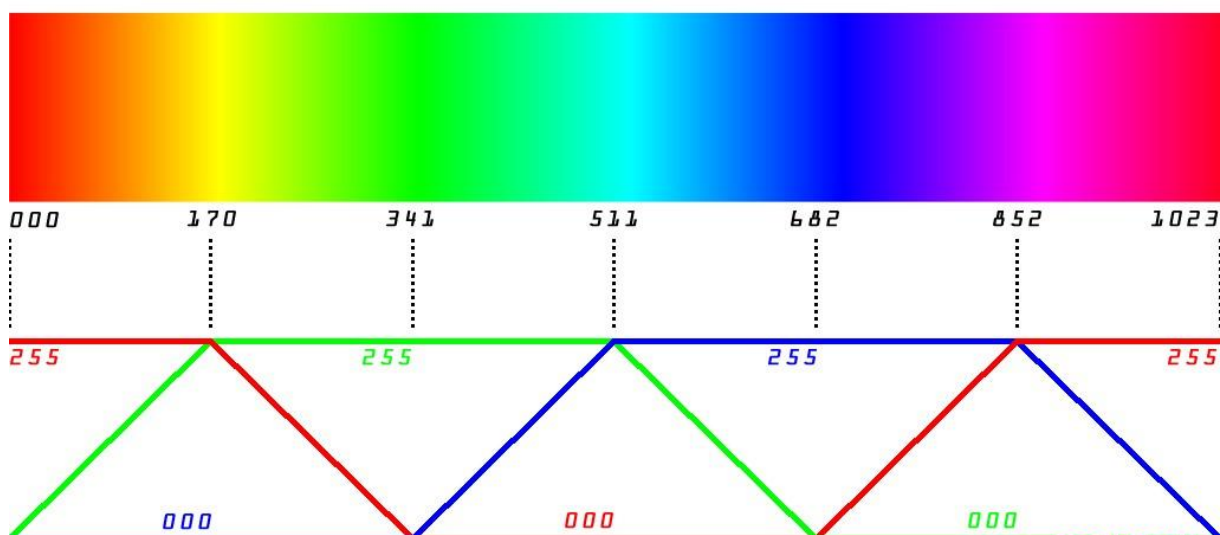
Sele 8. Korpuse kinnitus

3.4 Seadme juhtimine

3.4.1 Tarkvara

Keskkonnatingimustele reageeriva sauna juhtimine kirjutatakse C-keeles NetBeans'i tarkvaraarenduse platvormil. Antud programmi kasutatakse kuna seal on võimalik kirjutada C/C++ keeles ning töö autoril on varasem kogemus NetBeansiga. Sauna valgustust juhib Microchip PIC16F616 mikrokontroller, kuhu salvestatakse programm, mida seade hakkab täitma. Mikrokontrolleri sisendid määratakse tarkvaraliselt vastavalt niiskus – ja temperatuuri andurina.

Antud lõputöös disainitaval seadmel on kasutusel TE Connectivity Measurement Specialties HPP801A031 ja Microchip MCP9700 andurid, mis töötavad lineaarselt. Lähtudes anduritest, määratakse tarkvaraliselt väärtuste vahemikud, mida hiljem hakatakse kasutama. Teades väljundväärtuste vahemike erinevatel temperatuuridel ja niiskuse tasemetel defineeritakse LED'ide värv, mis sõltub tarkvara versioonist. Valgusdiodide tooni ja valgustugevuse muutmine käib läbi PWM signaali, kombineerides punast, rohelist ja sinist LED'i omavahel. Kasutamaks erinevaid värve tuleb esmalt põhivärvid ära defineerida, selleks kasutatakse sele 9 toodud skeemi. Näiteks kollase saamiseks peab nii punase kui ka rohelse valgusdiodi väärtus olema tarkvaraliselt 255.



Sele 9. LED'i värvuse sõltuvus PWM'i väärtusest [38]

Keskkonnatingimustele reageeriva saunavalgusti üks funktsioon on kasutajale teada andmine, kas saun on valmis. Antud rakendus kujutab endast valguse värvi muutmist vastavalt temperatuurile. Seadme kasutaja saab ise ära määrata, mis on tema jaoks sobiv valmis sauna temperatuur. Kasutades pöördlülitit, valib kasutaja enda jaoks kuuma sauna kraadi. Vastavalt lüliti binaarsele väljundile, valitakse tarkvaras sobiv versioon, ning pingestatakse indikaatorvalgusdiodid. Toote korpusel olevad LED'id näitavad kasutajale millise temperatuuri ta on valinud.

Tarkvaraliselt on värvide muutmise vastavalt temperatuurile prioriteet number kaks. Tähtsuset esimene on värvuse muutmise lähtudes ruumi niiskusest. See tähendab seda, et kui niiskuse tase on alla 85 %, siis muutuvad värvid vastavalt temperatuurile. Väärtuse tõustes katkestatakse toonide muutmise sõltuvalt temperatuurist ning hakatakse muutma sõltuvalt niiskusest. Seda kutsutakse nn *break* funktsiooniks. Eelnimetatud funktsioon võimaldab teha pausi täidetaval programmil ning täita tähtsuset prioriteetsemat käsku. Peale niiskustaseme langemist alla 85% jätkatakse eelnevalt pooleli jäänud programmi täitmist.

Lisaks eelnimetatud funktsioonidele on seadmel veel kaks omadust. Esimene neist on valmis oleva sauna näitamine. Ruumi valgustuse värv muutub samaks, mis on indikaatordiodil, millel režiim valitakse. Antud seadistus kestab ajaliselt 15 minutit. Peale seda hakkab tööle funktsioon, milleks on intervalliga värvuse muutmise. Viimaseks omaduseks on läbi potentsiomeetri LED'ide valgustugevuse reguleerimine. Mikrokontrolleeri sisend pingestatakse läbi muuttakisti. Vastavalt saadud pingele reguleeritakse tarkvaraliselt PWM signaal, läbi mille toimub valgustugevuse muutmise.

Mikrokontrolleerile on lihtne tarkvara paigaldada, kuna trükiplaadil on välja toodud ICP. Seadet juhtiv kood pannakse peale kasutades Microchipi PICkit 2 [39] programmaatorit, kuna antud toode on olemas. Eelmainitud seadme saab programmeerida tarkvara peale laadima vajutades korpusel olevat nuppu, mis teeb antud tegevuse väga lihtsaks. Väiksete mahtude puhul ei tasu keskkonnatingimustele reageeriva saunavalgustustile tarkvara laadimiseks tööstusliku programmaatori ostmine, kuna selle hind on kordades kallim võrreldes PICkit 2ga. Tarkvara laetakse peale ühe korra ning seda ei uuendata.

4. TOOTE MAJANDUSLIKUD ASPEKTID

Toote majanduslike aspekte hinnates tuleb arvestada, et lõpptoote hinna kujunemine ei sõltu ainult komponentide hinnast. Näiteks lisandub eelnimetatule toote kokku monteerimise, ruumide kasutuse, seadmete amortisatsiooni ning arendusprotsessi kulud. Tabelis 14 on välja toodud komponentide hinnad.

Tabel 14. Toote komponentide hinnad

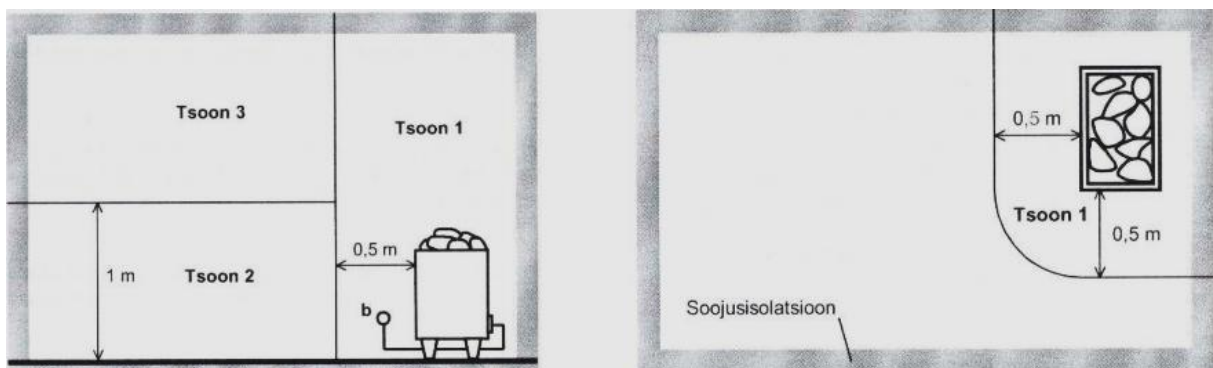
Komponent	Hind €
Mikrokontroller Microchip PIC16F616 HPP801A031	0,65
Niiskusandur	5,80
Temperatuuriandur MCP9700	0,20
Transistorid 3 tk	$3 * 0,12 = 0,36$
RGB LED'id 12 tk	27,60
Korpus (arvutatud plastmassikulu järgi)	$0,036 * 26,3 + 1,5 * 1,7 = 3,6$
Toiteallikas	2,70
Pöördlüüti	1,71
Takistid 5 tk	0,05
Potentsiomeeter	0,34
Indikaator LED'id 5 tk	0,23
Kokku	43,2

Toote koguhind ei muutu odavamaks kui kasutada valmis korpust pinditud oma asemel. Ostetud ümbrist tuleb kohandada, mis lisab tööjõukulu. Lisaks on alati spetsiaalse rakenduse jaoks disainitud korpus parem, kui millegist ümber tehes. Tabelis 14 toodud ümbrise kulu on arvutatud 3d printimisega tegeleva ettevõtte Jarzz Oü näitel. Kalkulatsioon sisaldab endas plastmassikulu * materjal hind + printimise aeg * tunnihind. Tunnihind on odav, kuna üheaegselt töötab 6 printerit.

Teadada olevate komponentide arvutuslik hind on 43,2 €. Seadme tegelik maksumus selgub alles tootmisprotsessi käigus. Samuti oleneb hind tootmismahust - mida suurem on maht, seda odavamaks muutub seadme omahind.

5. TOOTE OHUTUSLIKUD ASPEKTID

Keskkonnatingimustele reageeriv saunavalgustuse süsteemi andurite ja valgustite pool on mõeldud paigutamiseks sauna ning toide ja juhtimine sauna ees- või dušširuumi. Nii sauna, kui ka dušširuum on elektriseadmete kohalt ohtlikud ruumid. Seadme projekteerimise puhul on lähtutud IPX4 standardist. Keskkonnatingimustele reageeriv saunavalgustuse süsteemi paigaldamisel tuleb arvestada madalapingeliste elektripaigaldiste ohutusstandardist EVS-HD 60364-7-701:2007 [40]. Eelnimetatud standardis on ohutu alalispinge inimese jaoks märjas ümbruses 35V. Antud seadme tööpinge on 12V, seega seade vastab ohutusstandardile. Elektripaigaldiste jaoks on saunas 3 tsooni, mis on toodud seel 10.



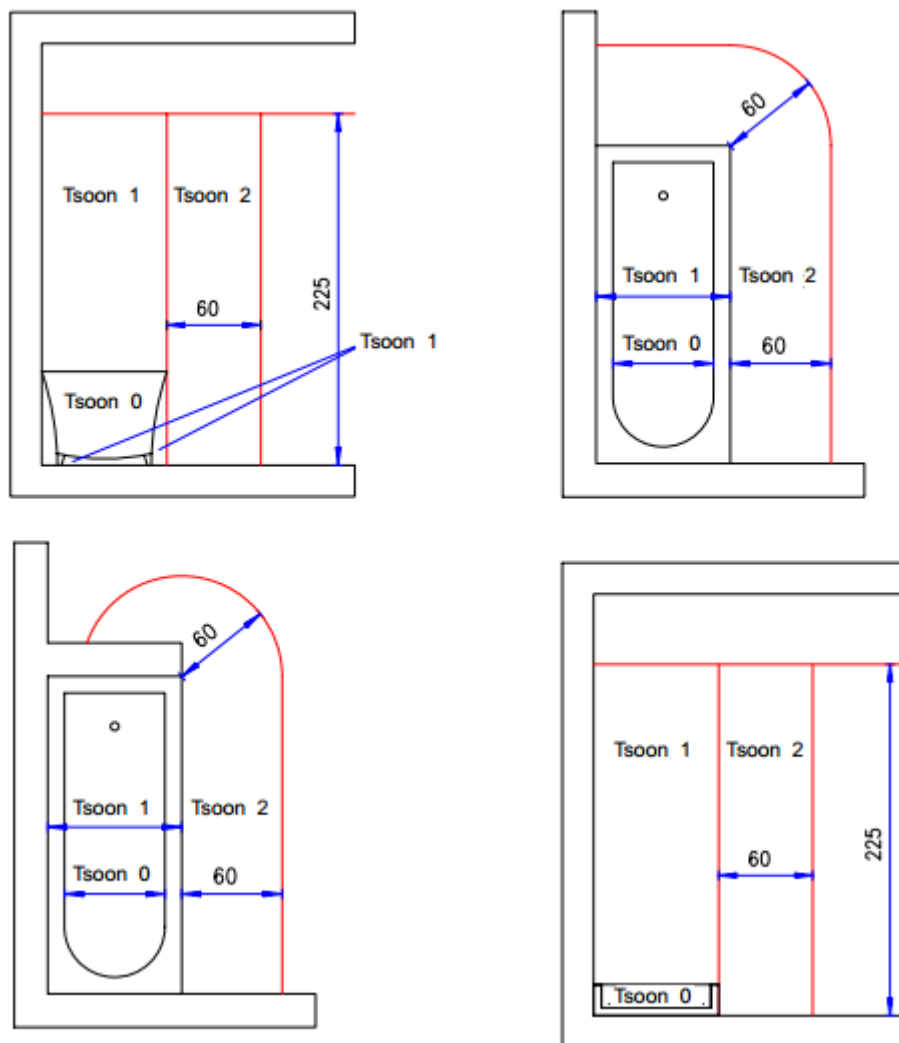
Sele 10. Sauna elektripaigaldiste tsoonid [41]

Tsoonide kirjeldus:

- Tsoon 1 - võib paikenda ainult keris ja selle juurde kuuluvad elektriseadmed
- Tsoon 2 – elektriseadmete kuumuskindluse nõuded puuduvad
- Tsoon 3 – elektriseadmed peaad taluma kahjutusteta pikaajaliselt +125°C

Lähtudes sauna elektripaigaldiste tsoonidest tohib paigutada antud seadme andureid ja valgusteid tsooni 2 ja 3.

Keskkonnatingimustele reageeriva saunavalgustuse juhtimise ja toite osa paigaldamisel tuleb järgida vannitubade ja duširuumide tsoone, mis on toodud seel 11.



Sele 11. Vannitubade ja duširuumide tsoonid [42]

Tsoonide kirjeldus:

- Tsoon 1 – elektriseadmete kaitseaste peab olema vähemalt IPX7 [43]
- Tsoon 2 – elektriseadmete kaitseaste peab olema vähemalt IPX4
- Tsoon 3 – elektriseadmete kaitseaste peab olema vähemalt IPX4

Antud lõputöös projekteeritud seadme kaitseaste on IPX4, mis tähendab, et toodet võib vannitubades ja duširuumides paigaldada nii tsooni 2, kui ka 3.

KOKKUVÕTE

Käesolev bakalaureuse lõputöö arenes välja töö autoril targa maja lahendusega tegeleva töö ja spordiklubi külastuse tõttu. Töö on kirjutatud Tallinna Tehnikaülikoolis nooremteaduri Ahti Põlder'i juhendamisel, mille eesmärgiks oli arendada keskkonnatingimustele reageerivat saunavalgusti seadet. Töö eesmärgiks oli disainida seade, mis muudab saunakasutamise kogemuse huvitavamaks ja annab ülevaate seal olevatest parameetritest.

Töö esimeses osas anti ülevaade turul olevatest sarnastest seadmetest. Selle tegevuse käigus selgus, et ei pakuta toodet, mis rahuldaks kõiki funktsioone, mida antud lõputöös disainitud seade pakub. Järgmine osa sisaldas endas süsteemi põhimõttelist lahendust. Peale seda käsitleti töö autori poolt tehtud prototüüpi, mis aitas toote lõppväljundi arendamiseks palju kaasa. Seejärel toimus seadmele vajalike elektroonikakomponentide valik ning nende tööfunktsioonide kirjeldamine. Peale elektroonikat tegeleti toote mehaanilise poolega, korpusega. Seadme ümbrisele esitati nõuded ja lähtuvalt nendest valiti sobiv materjal ning vajalik disain. Järgnevalt tegeleti toote tarkvara poolega. Selle käigus arendati toote funktsioone ning tööpõhimõtteid. Edasi hinnati seadme majanudlikke aspekte, mille käigus tehti teadaolevate komponentide põhjal hinnakalkulatsioon. Viimaks tegeles töö autor toote ohutuslike aspektidega. Selle käigus selgus kuhu võib vastavalt elektripaigaldiste ohutusstandardile paigaldada antud seadet.

Bakalaureusetöös disainitud seadet on võimalik edasi arendada mobiilirakendusega juhtivaks. Selle jaoks tuleks lisada teatud elektroonikakomponente seadmele ning tegeleda tarkvaraarendusega.

Kokkuvõtteks võib öelda, et keskkonnatingimustele reageeriva saunavalgusti disainimisega on tehtud palju tööd. Selle käigus sai töö autor uusi teadmisi ning kogemusi, mida saab tulevikus kasutada. Töö alguses püstitatud eesmärgid said täidetud.

SUMMARY

The author of the given Bachelor's thesis came up to the idea of projecting sauna lights that react to environmental changes in association with his job in Domootika Oü and visiting gym's sauna. Domootika Oü specializes in smart home solutions in Estonia. The thesis was written in Tallinn University of Technology under the supervision of junior researcher Ahti Põlder. The aim of this thesis was to develop a device which makes using sauna more interesting and gives information about sauna's environment.

On the first part of the thesis the market research was conducted. Doing the research it became clear that, there isn't any device like this in the market. On the second part of the thesis device development begun. Author gave the main idea how this device works. On the third part of the thesis the prototype was made. Furthermore the selectment of the electronical parts, the case desing and the software development were made. On the fourth part of the thesis price calculations were made. Finally the safety aspects were researched. In the last part of the thesis there was made decicion where is safe to install this device.

The device can be developed more user friendly like controlling it with mobile phone. To do that the device must have more electrionical parts which can communicate with phone. Futhermore there must be a lot of software development done.

In conclusion, big amount of work has been done projecting sauna lights that react to environmental changes. The main goals of this thesis were achieved.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Wikipedia kodulehekülg [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/IP_Code (14.05.2016)
2. Arduino kodulehekülg [WWW] <https://www.arduino.cc/> (14.11.2015)
3. Arduino kodulehekülg [WWW] <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardProMini> (14.11.2015)
4. Arduino kodulehekülg [WWW] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano> (15.11.2015)
5. ElecFreaks kodulehekülg [WWW] <http://www.electfreaks.com/store/octopus-rainsteam-sensor-p-677.html> (15.11.2015)
6. Microchip MCP9700 andmeleht <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP9700> (13.12.2015)
7. FUO24n andmeleht <http://www.tme.eu/ee/Document/e3ca57e7475745ecabd33a5a168db651/irfr024n.pdf> (13.12.2015)
8. AD592 andmeleht <http://www.tme.eu/ee/Document/b550fdc2e78bd48968e0f1948609b8c1/ad592anz.pdf> (13.12.2015)
9. KTY81 andmeleht <http://www.tme.eu/ee/Document/1807f69966f297e1da1dafa767320e88/KTY81.pdf> (14.12.2015)
10. LM135Z andmeleht <http://www.tme.eu/ee/Document/7ac99e14ca5ccde1cd23689a6599ac25/LM135Z.pdf> (14.12.2015)
11. MCP9700 andmeleht http://www.tme.eu/ee/Document/b60fb70b3e53402bb9f7b4390fcadc32/MCP9700-E_TO.pdf (14.12.2015)
12. HIH8121-021-001 andmeleht <http://www.tme.eu/ee/Document/4f08a01abf59c9617dbebe4cf404fb89/HIH8000-SERIES-EN.pdf> (16.12.2015)
13. HPP801A031 andmeleht http://www.meas-spec.com/downloads/2012_MEAS_Capabilities_Brochure.pdf (16.12.2015)
14. HPP804B130 andmeleht <http://www.meas-spec.com/downloads/HTS2030SMD.pdf> (03.01.2016)

15. HTS221 andmeleht
<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/4d/9a/9c/ad/25/07/42/34/DM00116291.pdf/files/DM00116291.pdf/jcr:content/translations/en.DM00116291.pdf> (03.01.2016)
16. Papouch [E-kataloog] <http://www.papouch.com/en/shop/product/switching-power-supply-unit-12v-eu-plug/> (03.01.2016)
17. SI4178DY-T1GE3 andmeleht
<http://www.tme.eu/ee/Document/cbf9012b1fa950ebd8df0ff6feae80fe/SI4178DY-T1-DTE.pdf> (06.01.2016)
18. RFD14N05LSM andmeleht
<http://www.tme.eu/ee/Document/53b1dbac4b9fd10c5a2e112a5849743f/RFD14N05L.pdf> (06.01.2016)
19. BSP250.115 andmeleht
<http://www.tme.eu/ee/Document/5b436d59ef67a28dd267cd6cc0bffb14/BSP250.pdf> (08.01.2016)
20. BSF450NE7NH3 andmeleht
<http://www.tme.eu/ee/Document/c544cb18a3881555935d6e9d6d8dd517/BSF450NE7NH3-DTE.pdf> (10.01.2016)
21. ST [E-kataloog]
http://www2.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers/stm8-8-bit-mcus/stm8af-series/stm8af62/stm8af6223a.html (10.01.2016)
22. PIC16F1509 andmeleht http://www.tme.eu/ee/details/pic16f1509-i_ml/mikrokontrollerid-microchip-8-bit/microchip-technology/ (01.03.2016)
23. Attiny 45 andmeleht <http://www.atmel.com/devices/ATTINY45.aspx> (01.03.2016)
24. PIC16F1507 andmeleht
http://www.tme.eu/ee/Document/709f74282afa7c6244077976a04b3ec4/PIC16F1507-E_ML.pdf (01.03.2016)
25. Atmega 168A andmeleht http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf (22.03.2016)
26. 2 R16110NO-KQ20A9.9-A103-00 andmeleht <http://www.tme.eu/ee/details/r16110n-a10k/susiniik-uhupoordelised-vollpotentsiom/ctr/r16110no-kq20a99-a103-000/> (22.03.2016)

27. 220AMC10R andmeleht <http://www.ctscorp.com/wp-content/uploads/2015/11/220.pdf> (22.03.2016)
28. 220ADC10 andmeleht <http://www.mouser.com/ds/2/96/220-786387.pdf> (22.04.2016)
29. 220AMB10R andmeleht <http://www.mouser.com/ds/2/96/220-786387.pdf> (25.04.2016)
30. FR01KR16H-S andmeleht <http://www.mouser.com/ds/2/295/FR01-19863.pdf> (25.04.2016)
31. L-53GT andmeleht <http://www.tme.eu/ee/Document/b9f61a014bd7b3b52b2ce65d444078d0/L-53GT.pdf> (25.04.2016)
32. CRCW0603510RFKTABC andmeleht <http://www.tme.eu/ee/Document/e5152f6c2c4f933b61676f6de7ae79a8/dcrcw.pdf> (25.04.2016)
33. 3d partner kodulehekülg [WWW] <https://www.3dpartner.eu> (03.05.2016)
34. Wikipedia kodulehekülg [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene (03.05.2016)
35. Wikipedia kodulehekülg [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid (03.05.2016)
36. Wikipedia kodulehekülg [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/Nylon_6 (03.05.2016)
37. Autokaubad 24 [E-kataloog] <http://www.autokaubad24.ee/et/tooted/liimid-hermeetikud-teibid-silikoon-liim-tihendimoodustaja-rtv/tihendisilikoon-204c-tuub-must-kleen> (10.05.2016)
38. Krazatchu kodulehekülg [WWW] <http://krazatchu.ca/wp-content/uploads/2012/01/hsv-rgb.jpg> (10.05.2016)
39. Microchip kodulehekülg [WWW] <http://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails.aspx?PartNO=pg164120> (10.05.2016)
40. EVS kodulehekülg [WWW] <https://www.evs.ee/tooted/evs-hd-60364-7-701-2007> (14.05.2016)
41. EVS kodulehekülg [WWW] <https://www.evs.ee/tooted/evs-hd-60364-7-701-2007> (14.05.2016)
42. EKK kodulehekülg [WWW] http://www.ekk.edu.ee/vvfiles/0/elektripaigaldustood_2.pdf (14.05.2016)

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

V_{DD}: 6.0V
 Storage temperature: -65°C to +150°C
 Ambient Temp. with Power Applied:.. -40°C to +150°C
 Output Current ±30 mA
 Junction Temperature (T_J): 150°C
 ESD Protection On All Pins (HBM:MM):(4 kV:200V)
 Latch-Up Current at Each Pin: ±200 mA

†Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated: MCP9700/9700A: V _{DD} = 2.3V to 5.5V, GND = Ground, T _A = -40°C to +125°C and No load. MCP9701/9701A: V _{DD} = 3.1V to 5.5V, GND = Ground, T _A = -10°C to +125°C and No load.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Power Supply						
Operating Voltage Range	V _{DD} V _{DD}	2.3 3.1	—	5.5 5.5	V	MCP9700/9700A MCP9701/9701A
Operating Current	I _{DD}	—	6	12	µA	
Power Supply Rejection	Δ°C/ΔV _{DD}	—	0.1	—	°C/V	
Sensor Accuracy (Notes 1, 2)						
T _A = +25°C	T _{ACY}	—	±1	—	°C	
T _A = 0°C to +70°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+2.0	°C	MCP9700A/9701A
T _A = -40°C to +125°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+4.0	°C	MCP9700A
T _A = -10°C to +125°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+4.0	°C	MCP9701A
T _A = 0°C to +70°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+4.0	°C	MCP9700/9701
T _A = -40°C to +125°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+6.0	°C	MCP9700
T _A = -10°C to +125°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+6.0	°C	MCP9701
T _A = -40°C to +150°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+6.0	°C	High Temperature, MCP9700 only
Sensor Output						
Output Voltage, T _A = 0°C	V _{0°C}	—	500	—	mV	MCP9700/9700A
Output Voltage, T _A = 0°C	V _{0°C}	—	400	—	mV	MCP9701/9701A
Temperature Coefficient	T _C	—	10.0	—	mV/°C	MCP9700/9700A
	T _C	—	19.5	—	mV/°C	MCP9701/9701A
Output Non-linearity	V _{ONL}	—	±0.5	—	°C	T _A = 0°C to +70°C (Note 2)
Output Current	I _{OUT}	—	—	100	µA	
Output Impedance	Z _{OUT}	—	20	—	Ω	I _{OUT} = 100 µA, f = 500 Hz
Output Load Regulation	ΔV _{OUT} / ΔI _{OUT}	—	1	—	Ω	T _A = 0°C to +70°C, I _{OUT} = 100 µA
Turn-on Time	t _{ON}	—	800	—	µs	

- Note 1:** The MCP9700/9700A family accuracy is tested with V_{DD} = 3.3V, while the MCP9701/9701A accuracy is tested with V_{DD} = 5.0V.
- Note 2:** The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized using the first-order or linear equation, as shown in Equation 4-2. Also refer to Figure 2-16.
- Note 3:** SC70-5 package thermal response with 1x1 inch, dual-sided copper clad, TO-92-3 package thermal response without PCB (leadless).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF HUMIDITY SENSOR

(Ta=25°C, measurement frequency @10kHz / 1V unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Humidity Measuring Range	RH	1		99	%RH
Supply Voltage	Vs			10	V
Nominal capacitance @55%RH ⁽¹⁾	C	177	180	183	pF
Temperature coefficient	T _{cc}		-0.01		pF/°C
Average Sensitivity from 33% to 75%RH	ΔC/%RH		0.31		pF/%RH
Leakage Current (Vcc=5V)	I			1	nA
Recovery time after 150 hours of condensation	tr		10		s
Humidity Hysteresis				+/-1	%RH
Long term stability	T		+/-0.5		%RH/yr
Time Constant (at 63% of signal, still air) 33%RH to 80%RH	ta		3	5	s
Deviation to typical response curve (10% RH to 90%RH)			+/-2		%RH

(1) Tighter specification available on request

TYPICAL PERFORMANCE CURVES

POLYNOMIAL RESPONSE OF HS1101LF

$$C \text{ (pF)} = C@55\% * (3.903 \cdot 10^{-8} * RH^3 - 8.294 \cdot 10^{-6} * RH^2 + 2.188 \cdot 10^{-3} * RH + 0.898)$$

TYPICAL RESPONSE LOOK-UP TABLE (POLYNOMIAL REFERENCE CURVE) @ 10KHZ / 1V

RH (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Cp (pF)	161.6	163.6	165.4	167.2	169.0	170.7	172.3	173.9	175.5	177.0	178.5
RH (%)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
Cp (pF)	180	181.4	182.9	184.3	185.7	187.2	188.6	190.1	191.6	193.1	

Lisa 3. Valgustusnõuded

Building Type	Space Type	Maintained Average Illuminance at working level (lux)	Measurement (working) Height (1 meter = 3.3 feet)
Barracks/Dormitories	Bedrooms	300	at 0 m
	Laundry rooms	300	at 1 m
Educational Buildings	Play room, nursery, classroom	400	at 0 m
	Lecture hall	400	at 0.8 m
	Computer practice rooms (menu driven)	30	at 0.8 m
Office buildings	Single offices	400	at 0.8 m
	Open plan offices	400	at 0.8 m
	Conference rooms	300	at 0.8 m
Educational buildings	Classrooms	300	at 0.8 m
	Classrooms for adult education	400	at 0.8 m
	Lecture hall	400	at 0.8 m
Hospitals	General ward lighting	300	at 0.8 m
	Simple examination	500	at 0.8 m
	Examination and treatment	1000	at 0.8 m
Hotels and restaurants	Self-service restaurant, dining room	100	at 0.8 m
	Kitchen	500	at 0.8 m
	Buffet	100	at 0.8 m
Sport facilities	Sports halls	300	at 0 m
Wholesale and retail sales	Sales area	500	at 0.8 m
	Till area	500	at 0.8 m
Circulation areas	Corridor	50	at 0 m
	Stairs	50	at 0 m
	Restrooms	300	at 0 m
	Cloakrooms, washrooms, bathrooms, toilets	300	at 0.8 m
Industrial	Metal working/ welding	300	at 1 m
	Simple Assembly	300	at 1 m
	Difficult Assembly	1,000	
	Exactng Assembly	3,000-10,000	
Central Plant	Boiler house	50	at 0 m
	Machine Halls	300	
	Side rooms, e.g. pump rooms, condenser rooms etc.	300	
	Control rooms	500	
Vehicle Construction/ Maintenance	Body work and assembly	500	at 1 m
	Painting, spraying, polishing	1000	
	Painting, touch-up, inspection	3,000-10,000	
Wood working and processing	Saw frame	300	at 1 m
	Work at Joiner's bench, assembly	300	
	Polishing, painting, fancy joinery	1000	
	Work on wood working machines e.g. turning, fluting, dressing, rebating, grooving, cutting, sawing, sinking	500	