



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jaakko Keko

ETÄKYTKIN AUTON LÄMMITYKSEEN

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jaakko Keko
Opinnäytetyön nimi	Etäkytkin auton lämmitykseen
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	35 + 1 liitettä
Ohjaaja	Jukka Matila

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda markkinoille uusi järjestelmä. Uuden järjestelmän tavoite oli toteuttaa etäohjattava järjestelmä auton lämmityksen hallintaan. Opinnäytetyö valittiin yhdessä Tietolaite Oy:n toimitusjohtaja Tero Kankaanpään kanssa.

Opinnäytetyön aikana tuotteesta saatiin valmistettua prototyyppi. Prototyypillä voidaan kokeilla laitteen ominaisuuksia ja sen hyödyllisyyttä. Opinnäytetyö onnistui hyvin ja se valmistui riittävän nopeasti.

Opinnäytetyössä kommunikaatioon käytettiin 868 Mhz radiotaajuutta. Järjestelmän kommunikaatio toimii LoRalla. LoRa -kytkin lähettää viestin LoRa-Bluetooth-adapterille. Adapteri lähettää tiedot edelleen Android-puhelimelle. Puhelin toimii hallintalaitteena koko järjestelmälle. Puhelimella voidaan hallinnoida järjestelmän päälläoloa, ja siitä voidaan varmentaa erilaisia mittausarvoja.

Prototyypin valmistumisen ansiosta tuote voidaan siirtää testausvaiheeseen, jossa voidaan varmentaa laitteen hyödyllisyys.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

KUVALUETTELO

LIITELUETTELO

ABSTRACT

LYHENTEET JA TERMIT.....	8
1 JOHDANTO.....	9
2 JÄRJESTELMIEN ONGELMAT JA UUDEN RATKAISUN TOTEUTTAMINEN.....	10
2.1. Valmiit ratkaisut ja niiden ongelmat.....	10
2.2. Ideaalinen toteutus.....	11
2.3. Etäkytkimen kommunikaatio.....	11
3 PIIRILEVYN SUUNNITTELU.....	13
3.1. Kytkin.....	13
3.1.1. Verkkovirta.....	13
3.1.2. Pienjännite.....	15
3.1.3. Releen ohjaus.....	15
3.1.4. Virranmittaus.....	16
3.2. Adapteri.....	17
3.2.1. Akku ja latauspiiri.....	17
4 KOMPONENTTIEN VALINTA.....	19
4.1. Rele.....	19
4.2. Virtamuuntaja.....	19
4.3. Prosessori.....	19
4.4. Antenni.....	20
5 OHJELMOINTI.....	21
5.1. Kytkin.....	21
5.2. Adapteri.....	22
5.3. Mobiiliapplikaatio.....	22
6 TOIMINTA.....	24

6.1. Kytkin.....	24
6.1.1. Käynnistys.....	24
6.1.2. Etsintäpyyntöön vastaus ja asetusten asettaminen.....	25
6.1.3. Asetusten vastaanottaminen.....	25
6.2. Adapteri.....	26
6.2.1. Adapterin käynnistys ja alustus.....	26
6.2.2. Asetusten määrittäminen.....	27
6.2.3. Viestien vastaanotto ja edelleenlähetys.....	27
6.3. Mobiiliapplikaatio.....	28
6.3.1. Adapter login.....	28
6.3.2. Asetusvalikko.....	29
6.3.1. Päänäkymä.....	30
7 JÄRJESTELMÄN TESTAUS.....	32
7.1. Käytettävyys.....	32
7.2. Kantama.....	32
7.3. Toiminnallisuus.....	33
8 YHTEENVETO.....	34
LÄHTEET.....	35
LIITTEET	

KUVALUETTELO

Kuva 1. Biasointi.....	16
Kuva 2. Kytkimen lohkokaavio.....	24
Kuva 3. Adapterin lohkokaavio.....	26
Kuva 4. Adapter login.....	28
Kuva 5. Settings menu.....	29
Kuva 6. Main view.....	30
Kuva 7. Kokojärjestelmän lohkokaavio.....	36

LIITELUETTELO

LIITE 1. Järjestelmän lohkokaavio

LYHENTEET JA TERMIT

ADC	Analog to digital converter, analoogisignaalin muunnos digitaaliseksi
SPI	Serial Peripheral Interface, kommunikaatioprotokolla
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter, sarjaliikenneprotokolla
RELE	Sähkökytkin
MOSFET	Metallioksidi-puolijohdekanavatransistori
NFET	N-tyypin mosfet
Vac	Vaihtovirtajännite
Vdc	Tasavirtajännite
LoRa	Long Range, patentoitu kommunikaatioprotokolla
GPIO	General Purpose I/O, prosessorin ohjelmointinastat
STM	STMicroelectronics Oy
BIASOINTI	Esijännittäminen
IoT	Internet of things, esineiden internetti
OD	Open drain, avoin kollektori

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella järjestelmä, joka mahdollistaa ilmaisen hallinnan auton esilämmityksen päälle kytkemiseen. Moottorin esilämmittäminen on tarpeellista Suomen talvessa, sillä esilämmittäminen vähentää käynnistäessä moottoriin aiheutuvaa rasitusta ja bensiinin kulutusta alkumatkalle. Joissakin tilanteissa on kuitenkin haastavaa arvioida, milloin esilämmittämisen ajastin tulisi kytkeytyä päälle. Ideaalisesti auton esilämmittäminen tulisi alkaa noin puoli tuntia ennen moottorin käynnistämistä, mutta lyhyempikin aika riittää, mikäli ulkoilman lämpötila on leudompi. Tällainen tilanne muodostuu esimerkiksi silloin, kun auton käyttäjä on epäsäännöllisessä työssä, jolloin on vaikea arvioida tarkalleen milloin on lähdessä töistä. Kelloajastimen säätämisen on tällöin haastavaa. Mikäli ajastin laitetaan käynnistymään liian aikaisessa vaiheessa, se kuluttaa ylimääräistä sähköä ja sen hyötysuhde kärsii. Liiallisesta esilämmittämisestä ei ole haittaa, mutta siitä ei ole oleellista hyötyäkään.

Esilämmittäminen kuluttaa arviolta noin 500 wattia tehoa, jos autoa esilämmitetään joka päivä puolen vuoden ajan 15 minuuttia ylimääräistä. Tästä aiheutuva energiakulutus on silloin noin 22,5 kW. Tämä ylimääräinen energiakulutus rasittaa luontoa, joka kärsii jo nykyiselläänkin liiallisesta kulutuksesta. Jokaisen ihmisen tulisi huolehtia omasta hiilijalanjäljestään, sillä vain ihmiset voivat hidastaa tai pysäyttää parhaillaan käynnissä olevan ilmastonmuutoksen.

Tämä etäkytkin on suunniteltu kilpailemaan jo valmiiksi markkinoilla olevien ratkaisujen kanssa. Valmiit ratkaisut käyttävät eri metodeja hallinnoimaan kytkemistä, ja niiden hallinnoinnissa esiintyy usein ongelmia. Useimmiten kytkemiseen tarvittavan laitteen vaatima hallinnointitietäisyys jää hyvin lyhyeksi, jolloin joudutaan etsimään auton esilämmittämiseen paikkaa lähempää työpistettä tai joudutaan itse siirtymään lähemmäs laitetta.

2 JÄRJESTELMIEN ONGELMAT JA UUDEN RATKAISUN TOTEUTTAMINEN

Tässä luvussa käydään läpi valmiiden ratkaisujen ongelmat ja pohditaan ideaalista ratkaisua.

2.1. Valmiit ratkaisut ja niiden ongelmat

Markkinoilla on monia erilaisia ratkaisuja etähallintaan, mutta niiden päällekytkemisessä on usein ongelmia. Yleisin ongelma on niiden hallinnointietäisyyden kantamattomuus.

Defalla on olemassa kaksi mahdollista ratkaisua kyseiseen ongelmaan, mutta kumpikaan niistä ei ole ideaalinen. Toisessa ratkaisussa käytetään hyväksi 3G-liittymää, tällöin saadaan mahdollisuus pitkän kantaman etähallintaan. 3G-liittymä on kuitenkin maksullinen, jonka käytöstä täytyy sopia erillisen yhtiön kanssa. Mikäli liittymä valitaan esimerkiksi Elisalta, sen kuukausittainen hinta on noin 30 euroa. Halvempiakin liittymiä on olemassa, mutta halvimmatkin liittymät tulevat maksamaan vähintään 10 euroa kuukaudessa. Esimerkiksi auton lämmityksen hallintaa tarvitaan vain talviaikaan, tällöin joudutaan maksamaan ylimääräistä liittymän ylläpitomaksua koko vuodelta. Liittymä voidaan kuitenkin sulkea käytöstä kuukausina jolloin sille ei ole tarvetta. Liittymän sulkeminen ja uudelleenavaaminen on joidenkin yhtiöiden kanssa kuitenkin haastavaa ja aikaa vievää.

Defan toinen ratkaisu on Bluetooth-pohjainen. Bluetooth on ilmainen protokolla, mutta se mahdollistaa vain lyhyen matkan kommunikaatiokantaman. Maksimi etäisyys Bluetooth-yhteydellä on 100 metriä, mikäli käytetään 4.0 Bluetooth-protokollaa kuten Defan tuotteessa. Tulevaisuudessa Defan Warmup Bluetooth tulee todennäköisesti käyttämään Bluetooth 5.0-protokollaa, tämän protokollan ansiosta saadaan parempi kantama. Bluetooth 5.0 teoreettinen kantama on yksi kilometri, mutta sen mahdollistaa vain laitteiden esteetön kommunikaatioyhteys. Todellisessakin tilanteessa se kuitenkin kantaa edeltäjänsä paremmin saavuttaen 400 metrin matkan. Laitetta ei vielä ole markkinoilla 5.0 protokollapohjaisena.

Sen lisäksi molemmat Defan laitteet joudutaan jälkiasentamaan autoon, aiheuttaen lisäkustannuksia auton omistajalle.

Defan tuotteiden lisäksi markkinoilta löytyy muidenkin valmistajien tarjoamia ratkaisuja. Nämä muiden valmistajien laitteet ovat yleiskäyttöisiä kytkimiä verkkovirrälle. Kaikkien muidenkin valmistajien laitteet omaavat edellä mainitun kommunikaatioetäisyyden ongelman.

WLAN -pohjaiset ratkaisut ovat usein hyvin halpoja, koska niiden toteuttaminen on helppoa. Etäisyysongelman lisäksi järjestelmässä on muitakin ongelmia, WLAN -verkon asettaminen saattaa tuoda vaikeuksia tilanteissa, joissa kytkimen sijaintia vaihdetaan. Järjestelmän sijainnin vaihto kotoa työpaikalle vaatii uuden reitittimen. Teoreettisesti älypuhelin voitaisiin käyttää reitittimenä, mutta kun puhelin asetetaan reititintilaan, se usein lakkaa kommunikoimasta sisäverkon laitteiden kanssa.

WLAN -verkon kantavuus on usein maksimissaan 100 metriä. Tämä kantama saavutetaan kun signaalilla ei ole esteitä. Tätä kantamaa voidaankin usein käyttää omakotitaloissa, mutta kerrostaloasunnoissa se tuottaa ongelmia. Kerrostaloissa on paljon betonia tai muita esteitä kytkimen ja reitittimen välillä, jotka heikentävät kantamaa asunnosta lämmitystolppaan.

Infrapunakytkimet ovat yleisessä käytössä oleva ratkaisu. Etäisyysongelman lisäksi vaaditaan laitteen ja käyttäjän välitön näköyhteys. Infrapunakytkintä ei voida käyttää mikäli lämmitystolppa on koteloitu.

2.2. Ideaalinen toteutus

Ideaalisessa toteutuksessa tuotteen asentaminen ja käyttäminen olisi ilmaista, kantama olisi yli viisi kilometriä ja kytkin ei vaatisi suoraa näköyhteyttä. Lisäksi laitteen mukana kuljettaminen ja siirtäminen tulisi olla helppoa.

2.3. Etäkytkimen kommunikaatio

Etäkytkimen kommunikaation suunnitteleminen pitkän matkan kantamaan rajaa huomattavan määrän valittavissa olevia protokolloja pois. Toisena osana rajausta

on ilmainen käytettävyys. Näiden kriteerien pohjalta valittavien kommunkaatiomenetelmien määrä rajautuu kahteen mahdolliseen järjestelmään.

LoRa on vuonna 2012 kehitetty patentoitu protokolla, joka on kehitetty Ranskassa. Sen omistaa nykyisin Semtech. LoRa on tarkoitettu käytettäväksi IoT-laitteisiin, joiden tarkoitus on toimia hyvinkin pitkiä aikoja käyttämättä suuria määriä energiaa, ja niiden tulisi pystyä kommunikoimaan pitkällä etäisyydellä ilman jatkuvaa ylläpitoa. LoRa -verkkoa voidaan käyttää ilman heidän tarjoamaa LoRaWAN -protokollaa, tämä mahdollistaa sen, ettei laitteen tarvitse olla yhteydessä verkkoon. /1/

Sigfox on myös Ranskassa kehitetty radiokommunikaatioprotokolla, ja se on kehitetty vuonna 2009. Tämä protokolla tarjoaa ilmaisen pitkän matkan kommunikaation. Se on kehittyvä protokolla, jonka kattavuus tänä päivänä on 4,2 neliökilometriä, ja sitä voidaan käyttää 50 maassa. Se on toimintatavaltaan hyvin samankaltainen kuin LoRa, mutta sitä käytettäessä laitteen tulee olla yhdistettynä heidän ylläpitämäänsä verkkoon. /2/

Lisäksi uusia ratkaisuja kehitetään jatkuvasti, esimerkiksi IEEE 802.11ah on yksi uusista tulevista vaihtoehdoista. Se käyttää protokollanaan langatonta lähiverkkoa, mutta sen taajuutta on pienennetty. Taajuuden pienentäminen mahdollistaa paremman kantavuuden. IEEE 802.11ah-menetelmä on julkaistu vuonna 2017, joten siihen pohjautuvia valmiita kommunkaatiopiirejä ei ole saatavilla markkinoilta. Tästä johtuen protokollan käyttäminen tähän opinnäytetyöhön on vielä mahdotonta. /3/

3 PIIRILEVYN SUUNNITTELU

Tässä luvussa esitellään mitä piirilevyn suunnitteluvaiheessa otettiin huomioon ja miten kokonaisuus rakentui.

3.1. Kytkin

Ensimmäisenä vaiheena järjestelmään suunniteltiin esilämmitystä ohjaava komponentti eli kytkin. Kytkimen tulee myös toimia mittalaitteena virrankulutukselle ja ulkoilman lämpötilalle. Kytkimen piirilevy koostuu kahdesta osiosta, pienjännite ja verkkovirta. Verkkovirtapuolelle sijoitetaan kaikki verkkovirtaan yhteydessä olevat komponentit, kuten muuntaja ja rele. Päinvastaisesti pienjännitepuolella on sijoitettuna erilaiset mittauskomponentit ja kommunikatioon tarvittavat moduulit.

Kytkimen tulee olla helposti siirrettävä laite, joka toimii jatkojohdon tavalla. Auton lämmitysjohto kytketään kytkimessä sijaitsevaan pistokkeeseen, jonka toinen pää on kytkettynä verkkovirtaan. Toinen verkkovirran linjoista johdetaan ohjauskomponentin läpi, joka mahdollistaa virran katkaisun ja -syötön.

3.1.1. Verkkovirta

Verkkovirtalaitteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon korkean jännitteen aiheuttamat tarpeet ja laitteessa tulee noudattaa standardien mukaisia ohjeita eristeväleissä. Eristeväleillä pyritään takaamaan turvallinen käyttö ja pienentämään laitteen aiheuttamaa riskiä käyttäjälle. Laitteen koteloinnin tulee noudattaa vaadittuja standardeja. Kytkimen sijoittaminen ulkokäyttöön vaatii, että kytkin on suojattuna roiskevedeltä. Laitteen tulisi myös täyttää vaatimukset turvallisesta käytöstä, jolloin laitteen sisällä oleviin liitoksiin kuluttajalla ei olisi mahdollisuutta päästä koskemaan. Näillä ehdoilla suojaukseksi tulee valita IP24B mukainen kotelo./4/

Ilmankosteus aiheuttaa suojaamattomassa piirilevyssä korroosiota, tämä lyhentää laitteen käyttöikä. Korroosio aiheuttaa piirilevyn vedoksien ruostumista, mikä johtaa hiljaiseen palamiseen ja sen seuraksena vedokset palavat hiljalleen pois.

Liiallinen korroosio aiheuttaa laitteen epävakaata toimintaa ja vaarantaa sen turvallisuuden. Korroosiota pyritään estämään oikeanlaisella suojauksella. Tyypillisin tapa suojata piirilevy on lisätä oikeanlainen lakkakerros sen pinnalle. Ennen lakkakerroksen lisäämistä piirilevyn pinta tulee puhdistaa huolellisesti alkoholilla. Alkoholilla puhdistamisella pyritään poistamaan mahdollinen rasvasta aiheutuva korroosio.

230 Vac eristevälin tulee olla tarpeeksi leveä, jotta jännite ei aiheuta läpilyöntiä pienjännitepuolelle. Eristeväleinä käytetään standardin DIN EN 60664-1 mukaisesti määriteltyjä etäisyyksiä. Tämän standardin mukaisesti eristevälin tulee olla 25 millimetriä ilmaitse, kiertoeristeeksi vaaditaan 40 millimetriä. Eristevälin määrittämisessä tulee ottaa huomioon useita vaikuttavia tekijöitä. Eristevälin määrittämiseen vaikuttaa piirikortin pinnoite, likaisuus luokkuus, jännitteen suuruus, ilmanpaine ja -kosteus. /5/

Laitteen releen läpi saattaa myös kulkea suuri virta. Suuri virran kulutus aiheuttaa tarpeen leveämmille johtimille. Liian ohut tai pitkä johdin aiheuttaa resistanssia. Resistanssin kasvaessa johdin vastustaa enemmän virran kulkua, joka aiheuttaa johtimen lämpenemistä. Lämpötilan kasvaessa liian korkeaksi johtimessa, se aiheuttaa tinaa tai johtimen sulamisen. Mikäli johdin tai tina sulaa, se vaarantaa piirilevyn turvallisuuden ja toiminnan. Johtimen tarvittava leveys voidaan laskea kaavalla:

$$I = k \Delta T^{0,44} A^{0,725} \quad (1)$$

Kaavalla saadaan piirilevyn johtimen leveydeksi 18,37 millimetriä. Vedoksina voidaan kuitenkin käytetään hieman leveämpää vedosta. Leveämpi vedos ei aiheuta haittaa laitteelle, sen lisäksi se on turvallisempi vaihtoehto, mikäli käytettävä laite on oikosulussa. Piirilevyssä käytetään leveydeltään 25 millimetrin vetoja. Lisäksi vedoksiin lisätään kolmen millimetrin tinakerros, jolla pyritään pienentämään vastusta entisestään. Samalla laajennetaan johtimen ulkoista pinta-alaa. Laajan ulkoisen pinta-alan ansiosta johdin luovuttaa ympäristöönsä enemmän lämpöä.

3.1.2. Pienjännite

Toisena puolena kytkimen piirikaaviota on pienjännitepuoli. Pienjännitepuolen jännite muodostetaan käyttämällä 230 Vac-muuntajaa, joka muuttaa toisiopuolen jännitteeksi viisi Vac. Muuntajan toisiopuolen todellinen jännite on suurempi ellei toisiopuolen piiri käytä tarpeeksi virtaa. Toisiopuolen jännite voidaan laskea kaavalla

$$U_{\text{toisio}} = 5 \text{ Vac} * \sqrt{2} = 7,1 \text{ Vac} \quad . \quad (2)$$

Jännite kuitenkin tasasuunnataan diodisillalla. Diodisillan diodien läpilyöntijännite on 5 voltia, joten jännite diodien jälkeen ei nouse yli 5 Vdc.

Diodisillan jälkeistä jännitettä käytetään piirin releen ohjaamiseen, ja lisäksi 3.3 Vdc-regulaattorin syöttöjännitteenä. Regulaattori pudottaa jännitetason 3.3 Vdc. Tätä jännitettä käytetään syöttöjännitteenä piirin LoRa-moduulille, lämpöanturille ja mikroprosessorille.

3.1.3. Releen ohjaus

Releen ohjaus suoritetaan NFET:llä. Releen toinen nasta kytketään transistoriin ja toiseen nastaan ohjataan 5 Vdc jännite. Releen kytkin sulkeutuu kun transistori avataan kytkemällä jännite prosessorin kautta transistorin hilanastaan. Hilanastaan johdettu jännite ohjaa transistorin sulkeutumaan, jolloin piiri sulkeutuu ja virta pääsee kulkeutumaan releessä olevan kelan ja erillisen transistorin läpi maahan. Kun virta pääsee ohjautumaan kelan läpi, se aiheuttaa magnetismia. Magnetismin aiheuttama voima vetää releen kytkimen suljettuun tilaan. Tällöin verkkovirran kytkentä sulkeutuu, ja se alkaa johtamaan virtaa kytkimeen kytkettyyn laitteeseen.

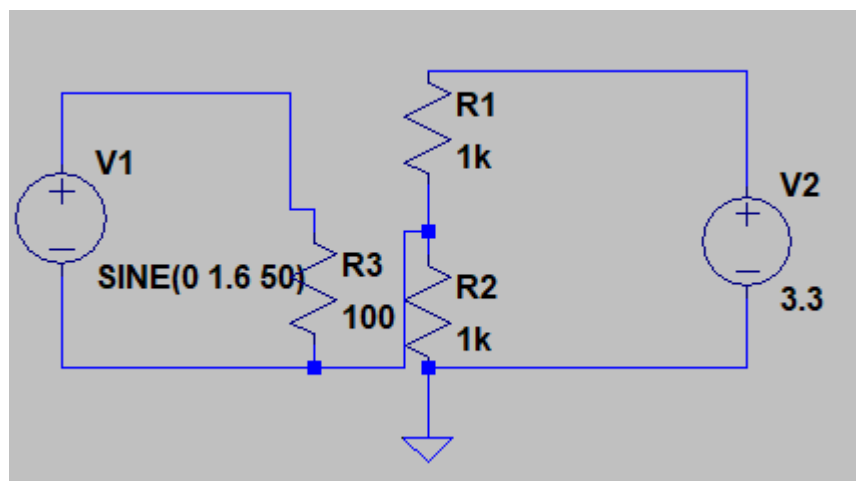
Kytettäessä rele pois, prosessori ohjaa transistorin hilanastan maahan, jolloin transistorin jälkeinen piiri avautuu ja virran kulkeutuminen releen kelan läpi estyy. Tämän jälkeen releen kelassa oleva varautunut jännite pyrkii vielä syöttämään virtaa transistorin lävitse. Mikäli virtaa ei ohjata takaisin diodin kautta releen kelan ensiöpuolelle, se nostattaa toisiopuolen jännitteen ja rikkoo transistorin.

3.1.4. Virranmittaus

Virtamittauksella pyritään tuomaan laitteeseen lisää uniikkeja ominaisuuksia. Tällä pyritään näyttämään reaaliajassa kuinka paljon lämmittäminen on kuluttanut virtaa ajanhetkeen mennessä. Sen lisäksi sillä voidaan määrittää moottorin lämpötila. Lämmitys tapahtuu yleensä vastuksella, tämän lämpeäminen aiheuttaa järjestelmässä lisää vastustusta, jonka ansiosta virran kulku pienenee, ja pystytään määrittämään moottorilohkon hetkellinen lämpötila.

Virranmittaus tapahtuu virtamuuntajalla. Virtamuuntaja ottaa sen läpi kulkevasta virrasta aiheutuvan induktion magneettiinsa. Tämä aiheuttaa virtamuuntajan ensiö- ja toisiopuolen välille jännite-eron. Erojen ansiosta voidaan määrittää kuinka paljon virtaa kulkeutuu johtimen lävitse. Jännite virtamuuntimessa on Vac-muotoista, ja sen minimiarvo sijoittuu negatiiviselle puolelle. Mikrokontrolleriin ei voida syöttää negatiivista jännitettä, joten se täytyy muuttaa vain positiiviseksi Vac-jännitteeksi.

Jännitteen nostaminen tapahtuu jännitejakajalla. Jännitejakajan tasoksi pyritään saamaan 1.65 V. Jännite syötetään virtamuuntajan kelan ensiöpuolelle, jolloin virtamuuntimen aiheuttama jännite on minimissään positiivinen lähellä nollassa oleva arvo. Kuvassa 1 on tehty jännitejakajalla biasointi.



Kuva 1. Biasointi

3.2. Adapteri

Järjestelmän toisena osana on adapteri. Adapterin tulee olla kooltaan helposti mukana kulkeutuva laite, joka voidaan esimerkiksi varastoida avaimenperään. Adapteri mahdollistaa minkä tahansa kommunikaatioprotokollan lisäämisen järjestelmään. Tällöin Bluetoothia voidaan käyttää lähikommunkaationaprotokollana, ja pidemmän kantavuuden saavuttamiseksi erillistä protokollaa. Esimerkiksi lisättäessä adapteriin LoRa-moduuli, saadaan teoreettiseksi kantamaksi noin 10 kilometriä. Tällöin adapteriin lähetetään Bluetoothilla viesti, joka muunnetaan LoRa-viestiksi, tämä edelleen lähetetään kytkimelle, johon on myös sijoitettuna LoRa-moduuli. /6/

3.2.1. Akku ja latauspiiri

Adapterin mukana kuljettaminen vaatii erillisen virtalähteen. Paras virtalähde mukana kulkeutuville laitteille on akku. Adapterin akun jännite tulisi olla lähellä tarvittavaa käyttöjännitettä. Esimerkiksi mobiililaitteissa suositetaan käytettäväksi 3.7 Vdc akkua ja käyttöjännitteenä 3.3 Vdc. Tämä vastaa opinnäytetyössä esitettyä tilannetta. Tällöin voidaan valita myös samaista jännitettä vastaava akku.

Akun lisäksi adapteriin tulee valita akun lataamiseen tarvittava piiri. Akku ladataan 5 Vdc jännitteellä, mikä on myös etu latauspiirin ja -muuntajan valinnassa. Akkua voidaan tällöin ladata samalla muuntajalla verkkovirrasta kuten mobiililaittekin. Tällöin ei tarvitse toimittaa mukana erillistä muuntajaa akun lataamiseen. Adapterin kotelon sivuun tulee lisätä jokin yleisessä käytössä oleva liitin. Suosittuja liitintyyppäjä löytyy monia, mutta vapaasti yleisessä käytössä oleva liitintyyppi on micro-USB. Latauspiiri liitetään USB:n määrittelemien kytkentöjen mukaisesti. Latauspiiriin johdetaan 5 Vdc, joka edelleen muunnetaan 4,2 V jännitteeksi. Tällä jännitteellä ladataan akkua, ja lisäksi laitetta voidaan käyttää latauksen aikana erillisen LDO:n ansiosta. Esimerkki latauspiiristä on MCP73811. Latauspiiriin antaa maksimissaan 450 mA virran akun lataukseen ja laitteen käyttöön.

Adapterin jatkuva virrankulutus tulisi pitää huomattavan matalana, jotta laitetta voidaan käyttää pidempiä aikoja ilman latausta. Tässä opinnäytetyössä käytettävien komponenteilla jatkuva virran kulutus saatiin 8 mA:iin, ja hetkellinen virrankulutus LoRa-moduulin lähetyksen yhteydessä 100 mA.

Kaavalla 3 voidaan laskea akun kapasiteetin riittävyys:

$$t = \frac{\text{battery capacity}}{\text{power usage}} = \frac{250 \text{ mAh}}{8 \text{ mA} * 1 \text{ h}} = 31,25 \text{ h} \quad (3)$$

Kaavalla saatiin akun kestoksi yhdellä latauskerralla 31,25 h, kun akun kapasiteetti on 250 mAh. Kaavassa ei kuitenkaan huomioida LoRa-moduulin hetkellisesti vaadittavaa tehoa, joten todellisuudessa yhden latauskerran käyttöaika putoaa minimissään 20 tuntiin.

4 KOMPONENTTIEN VALINTA

Komponentit ja niiden valintaan johtaneet syyt selvitetään tässä luvussa.

4.1. Rele

Piirin verkkovirtajännitteen ohjaukseen valittiin rele, koska se mahdollistaa helpon tavan ohjata vaihtojännitettä. Relettä ei voida käyttää mikäli sovellus on aikakriittinen, mutta koska opinnäytetyön ohjaus ei sitä vaadi, voidaan rele valita huoletta. Toinen vaihtoehtoinen tapa ohjata verkkovirtajännitettä olisi käyttää MOSFET:ejä. MOSFET-kytkennällä päästäisiin nopeampaan päällekytketymisaikaan, mutta MOSFET-piirin toteuttaminen vaatii enemmän työtä ja suunnittelua. MOSFET:ejä tulee olla kaksi, jolloin virta saadaan kulkeutumaan vaihtovirran negatiivisella ja positiivisella puolella.

4.2. Virtamuuntaja

Virtamittaus toteutetaan aina magnetismin perustuvalla periaatteella, mutta toteutuksien välillä on eroja. Perinteiset tavat toteuttaa virtamittaus on Hall ja virtamuunnin. Opinnäytetyössä käytettiin virtamuuntimeen perustuvaa virranmittausta. Virtamuunnin perustuu magneetin läpi kulkevan virran aiheuttamaan induktioon, joka aiheuttaa käämissä ensiö- ja toisiopuolelle jänniteeron. Valmiita virtamuuntajia löytyy markkinoilta. Tähän sovellukseen valitsin AC1020 Talemalta, se kykenee mittaamaan 50/60hz siniaaltoa 20 ampeeriin asti, ja se on kustannuksiltaan edullinen. /7/

4.3. Prosessori

Prossessorina voitaisiin käyttää mitä tahansa markkinoilla olevaa prosessoria. Prossessorin kriteerinä oli, että siitä löytyy SPI- ja UART -väylä ja ADC-muunnin. Paras akun kestävyys adapterille saataisiin, jos valittaisiin RISC-arkkitehtuurilla toimiva prosessori. Prossessoriksi valittiin STM321032K6, sekin soveltuu matalavirtaisiin projekteihin ARM M0+ arkkitehtuurin ansiosta, ja sen lisäksi se toimii askeleena 32-bittiseen arkkitehtuuriin. STM myös mahdollistaa nopean tuotteen kehityksen valmiilla laiteajureilla. Laiteajurit ovat hyvät, kattavat ja

ilmaiset. Mikäli kaikki laiteajurit haluttaisiin toteuttaa itse, niiden ohjelmoimiseen ja suunnitteluun kuluisi huomattavan paljon aikaa. Valmiiden ajureiden etuna on myös toimintavarmuus. Mikäli valmiista ajureista löytyy virheitä, korjaaminen voidaan toteuttaa itse tai niistä voidaan ilmoittaa ajureiden ylläpitäjälle, joka yleensä korjaa ajureissa olevan ongelman. /8/

Protolaitteessa käytettiin valmista kehitysalustaa. Kehitysalustan käyttäminen poistaa tarpeen suunnitella mikrokontrollerille tarvittavien komponenttien ja piirilevyn suunnittelun. Prototyypivaiheen järjestelmässä käytettiin STM:n valmistamaa kehitysalustaa Nucleo-321031K6. Kehitysalustassa käytetään opinnäytetyössä aikaisemmin mainittua mikroprosessoria. Kehitysalustan käyttäminen mahdollistaa tuotteen nopeamman kehittämisen, mutta viimeistelyyn versioon sitä ei voida käyttää. Kehitysalustalla toteutettua versiota käytetään tuotteen hyödyllisyyden ja käytettävyyden arviointiin, ja samalla voidaan arvioida tuotteen mahdollinen toteutettavuus.

4.4. Antenni

Antenni on kriittinen osa radioliikenteessä, se täytyy mitoittaa tarkasti vaadittavaan tajuuteen. Antennina voidaan käyttää lähes minkälaista johdinta, mutta paremman kantaman saamiseksi laitteessa käytetään valmista antennia. Mikäli antenni valmistettaisiin itse, silloin antennin pituus voitaisiin laskea

$$\text{kaavalla: } c = f * \lambda, \lambda = \frac{c}{f} = 0,345 \quad . \quad (4)$$

Antennin pituutta voidaan pienentää, muuttamalla se $\frac{1}{4}$ aallonpituudeksi, tällöin antennin pituudeksi saadaan 8,63 senttimetriä.

5 OHJELMOINTI

Laitteiden ohjelmointi oli aikaa vievin osuus koko opinnäytetyöprosessissa. Suurin ongelma oli saada eri protokollat toimimaan keskenään.

5.1. Kytkin

Kytkimen toimintaperiaate on yksinkertainen. Kytkin hallinnoi releen päälle ohjausta sekä mittaa virtaa ja lämpötilaa. Mittausarvoista muodostetaan viesti, joka lähetetään SPI-väylällä LoRa-moduulille, joka edelleen lähetetään adapterille.

Hallinnointi tapahtuu muuttamalla GPIO:n tilaa. Kyseinen nasta alustetaan OD-tilaan, ja asetetaan ylösvetovastus päälle. Kun nastaan syötetään jännite, se aiheuttaa jännitteen laskun väylällä nollassa. Poistettaessa nastan jännite, linja jää kuitenkin kellumaan 3.3 V ylösvetovastuksen ansiosta.

Lämpötila- ja virranmittaus tapahtuu käyttäen AD-muunninta. AD-muunnin muuntaa analogisesta jännitteestä digitaalisen arvon. Prosessorissa on 12-bittinen muunnin, joka saa arvot 0 ja 4095 väliltä. Maksimijännite mittaukselle on prosessoriin syötettävä jännite eli 3.3 Vdc. Tällöin jännitettä voidaan mitata 0,8 mV tarkkuudella.

$$V_{\text{mittaus}} = \frac{3.3V}{12_{\text{bittiä}}} = \frac{3.3V}{4095} = 0,8mV \quad (5)$$

Lämpöanturina käytetään MCP9700T-anturia, jonka spesifikaatio määrittää, että jännite nousee keskimäärin 10 mV jokaista celsiusastetta kohden. Anturi pystyy mittaamaan lämpötilaa -40-125 celsiusasteen väliltä. Nollassa astetta celsiusta se antaa jännitteeksi 500mV. /9/

Virtamittauksen biasoinin jälkeen anturin nollassa on 1,65 V. Kelan jännite nousee 100 mV jokaista läpikulkevaa ampeeria kohden. Ohjelman alussa alustetaan jännitteen nollassa, jonka jälkeen jännitettä mitataan jatkuvasti. Jännitettä mitataan 10 sekunnin ajan ja siitä otetaan piikkiarvo, jonka jälkeen se muunnetaan tehoksi.

5.2. Adapteri

Adapterin ohjelmointi oli haastavin kolmesta ohjelmoitavasta laitteesta. Adapteri toimii siltana LoRa- ja Bluetooth-viesteille.

Bluetooth-viestintä tapahtuu HC-05-moduulilla, joka on valmiiksi Bluetooth-pinon omaava kokonaisuus. Tämä poisti kokonaan tarpeen ohjelmoida Bluetooth-protokollan. Bluetooth-yhteys varmennetaan vain kerran aloituksen yhteydessä. Moduulin ja prosessorin kommunikaatioväylänä toimii UART. /10/

LoRa moduulin kanssa kommunikointiin käytetään SPI-väylää. LoRa on matalavirtainen moduuli, joka toimii EU:n alueella 868 MHz taajuudella. LoRa on kasvava kommunikaatiotapa IoT-laitteilla. Se tarjoaa hyvän etäisyyden virrankulutukseensa nähden.

5.3. Mobiiliapplikaatio

Mobiiliapplikaation ohjelmointiin käytettiin MIT-appinventorsivustoa. Tällä sivustolla voidaan valmistaa nopeasti erilaisia applikaatioita Android-laitteille. Sivustolla käytetään graafista käyttöliittymää ohjelmointiin. Graafisen käyttöliittymän ansiosta sivusto on helppokäyttöinen tapa valmistaa erilaisia applikaatioita. Graafisella ohjelmoinnilla ei kuitenkaan saada valmistettua kovinkaan optimoituja ohjelmia, joten tehokasta sovellusta sivustolla ei voida saada aikaan. Tämän osuuden tarkoituksena oli kuitenkin saada aikaan vain jonkinlainen testausohjelma koko järjestelmän toiminnan varmistamiseksi. /11/

Ensimmäisenä osana mobiiliapplikaation suunnittelua valmistettiin käsin piirretty käyttöliittymäpohja, jonka tarkoituksena oli helpottaa käyttöliittymän ulkoasun suunnittelua. Ideana oli toteuttaa kolmeosainen käyttöliittymä. Kolmella elementillä saadaan aikaan kolme erilaista näkymää. Kolmella näkymällä saadaan helppokäyttöinen ja yksinkertainen käyttöliittymä. Näkymät ovat adapter login, settings ja main view.

Adapter login-näkymässä hallinnoidaan Bluetoothin paritusta adapteriin, ja siihen sisään kirjautumista. Kirjautumisen jälkeen adapteri alkaa etsimään kytkimiä joilla on samat kirjautumistiedot. Löydettyään laitteen, se tuodaan löydettyjen laitteiden listaan. Listasta valitaan haluttu laite, johon yhdistetään.

Yhdistämisen jälkeen kytkimelle lähetetään halutut toiminta-asetusparametrit. Valikosta valitaan ensimmäisenä toimintaperiaate; ajallinen hallinta, manuaalinen hallinta tai virtarajoitin. Jokaisella toimintaperiaatteella on erilaiset vaihtoehdot. Asetusten viimeisenä osana on valinta mikäli kytkin halutaan sammuttaa viestiyhteyden katketessa.

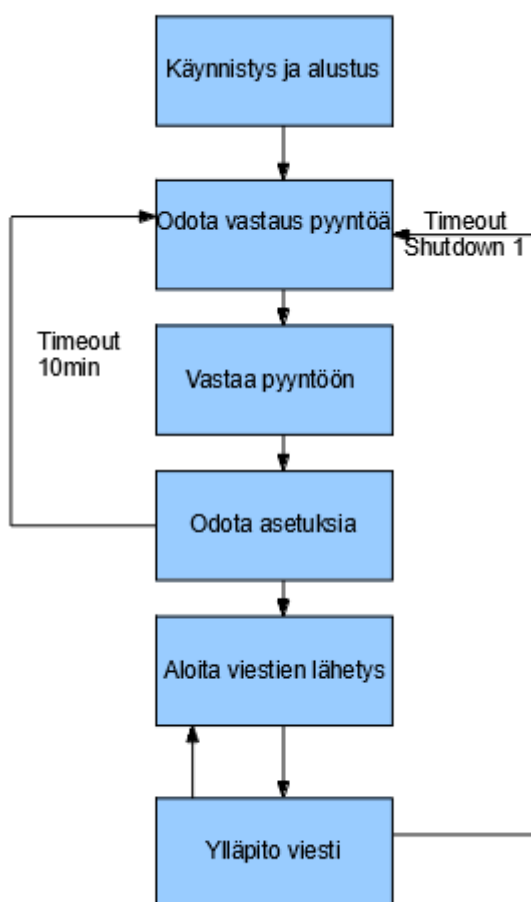
Tämän jälkeen asetukset lähetetään kytkimelle ja siirrytään main view-ikkunaan, jossa nähdään kytkimeltä tulevat viestit sen tilasta, ulkoilman lämpötilasta ja tehon kulutuksesta.

6 TOIMINTA

Tässä luvussa käydään läpi laitteiden toimintaperiaate laite laitteelta. Lisäksi koko järjestelmän lohkokaavio löytyy liitteestä 1.

6.1. Kytkin

Kuvassa 2 esitetään kytkimen lohkokaavio.



Kuva 2. Kytkimen lohkokaavio

6.1.1. Käynnistys

Kytkin käynnistyy heti kun se kytketään verkkovirtaan. Ensimmäisenä se alustaa LoRa-moduulin asetukset, ja sen jälkeen mittaa nollareferenssin virran kulutukselle.

6.1.2. Etsintäpyyntöön vastaus ja asetusten asettaminen

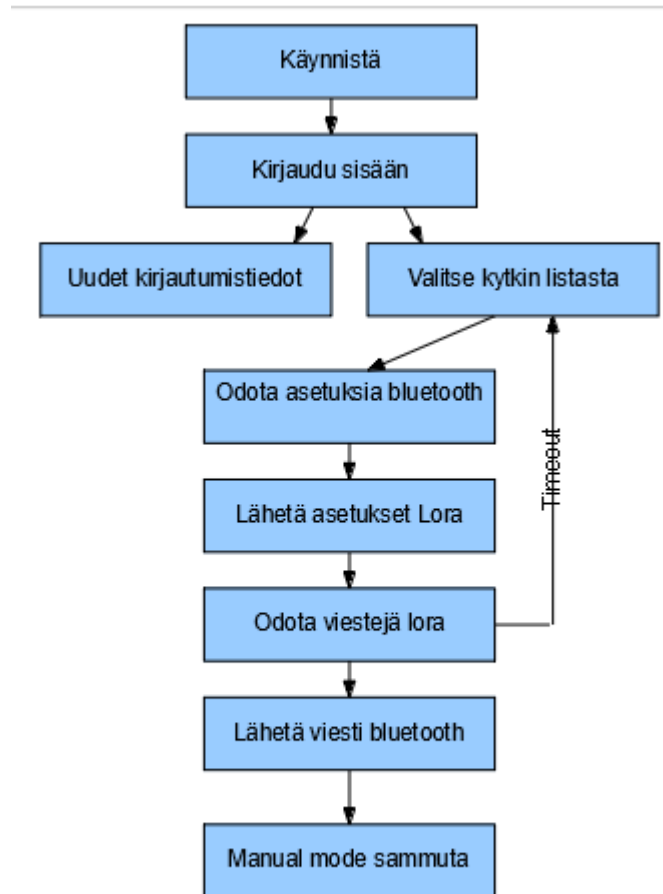
Parametrien alustamisen jälkeen kytkin siirretään kuuntelemaan LoRa-verkkoa, ja odottamaan etsintäpyyntöä. Kun etsintäpyyntö saadaan, se vastaa pyyntöön salasanalla, käyttäjanimellä ja tunnistautumisnumerolla. Tämän jälkeen se siirtyy odottamaan asetusparametreja, mikäli asetusparametreja ei saada vastaanotettua 10 minuutin sisällä, se palaa odottamaan uutta etsintäpyyntöä.

6.1.3. Asetusten vastaanottaminen

Kytkimen vastaanotettua asetukset, se kuittaa ne vastaanotetuiksi ja asettaa tarvittavat parametrit sekä siirtyy suorittamaan toimintaa annetuilla parametreilla. Kun kytkin on saatu päälle, se siirtyy mittamaan virtaa ja lämpötilaa. Kytkin lähettää informaatioviestin 10 sekunnin välein tiedoista, jotka siinä jaksossa mitataan. Samalla se tarkkailee, että adapteri lähettää sille vähintään joka kymmenes minuutti ylläpitoviestin, mikäli ylläpitoviestiä ei saada ja aikakatkaisu sammutus on valittuna, se sammuttaa releen ja siirtyy odottamaan uutta etsintäpyyntöä.

6.2. Adapteri

Kuvassa 3 esitetään adapterin lohkokaavio.



Kuva 3. Adapterin lohkokaavio

6.2.1. Adapterin käynnistys ja alustus

Adapteri käynnistetään sen kyljessä olevasta virtakytkimestä, jonka jälkeen se alustaa Bluetooth- ja LoRa -yhteyden. Alustamisen jälkeen se siirtyy odottamaan sisäänkirjautumista mobiilista. Sisäänkirjautumisen jälkeen on mahdollista asettaa laitteille uudet sisäänkirjautumisparametrit. Kun sisäänkirjautuminen on suoritettu, se aloittaa etsimään kantamansa alueelta kytkimiä, joilla on samat sisäänkirjautumistiedot. Jokainen kantaman alueelta löytynyt kytkin lähettää oman

tunnistautumisnumeronsa kirjautumistietoineen, jonka jälkeen ne lisätään kytkinlistaan, josta seuraavana voidaan valita haluttu kytkin.

6.2.2. Asetusten määrittäminen

Kytkimen valitsemisen jälkeen adapteri pysähtyy odottamaan asetuksia. Asetukset määritellään mobiiliapplikaatiossa. Asetusten määrittelemisen jälkeen puhelin lähettää asetukset Bluetoothiin kautta adapterille, joka kuittaa ne. Kuittaamisen jälkeen adapteri edelleenlähettää asetukset edellä valitulle kytkimelle, jolta odotetaan seuraavana varmennusviestiä, että asetukset on saatu vastaanotettua.

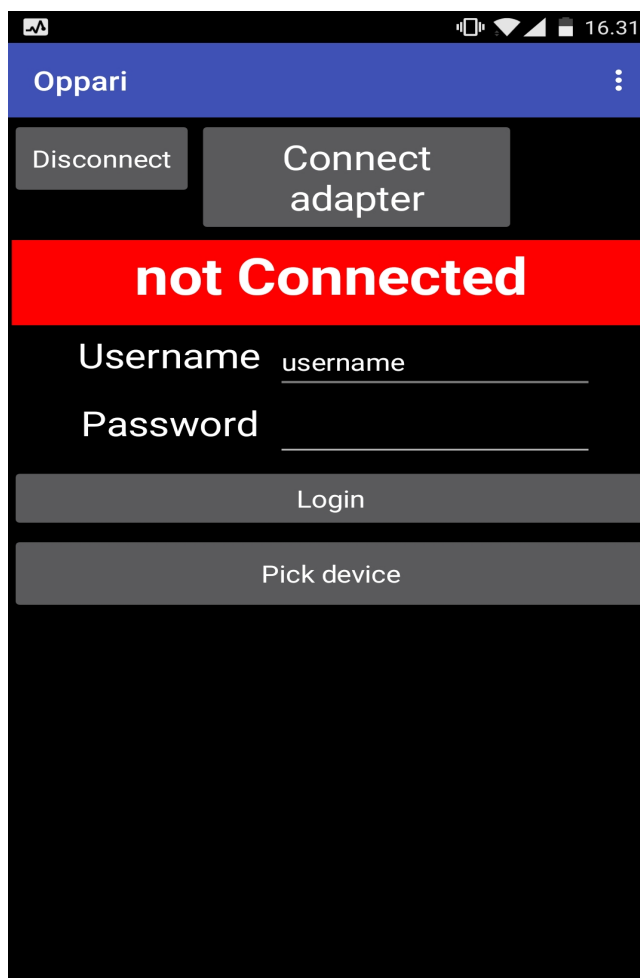
6.2.3. Viestien vastaanotto ja edelleenlähetys

Asetusviestin kuittausviestin jälkeen adapteri aloittaa viestien vastaanoton ja edelleen lähettää ne mobiiliin. Jokainen vastaanotettu viesti nollaa aikakatkaisuajastimen. Mikäli yhtään viestiä ei vastaanoteta minuutin aikana tai viimeisestä ylläpitoviestistä on kulunut 10 minuuttia, se yrittää tavoittaa kytkimen.

6.3. Mobiiliapplikaatio

6.3.1. Adapter login

Kun mobiiliapplikaatio käynnistetään, tulee näkyviin ensimmäisenä kuvan 4 mukainen näkymä.



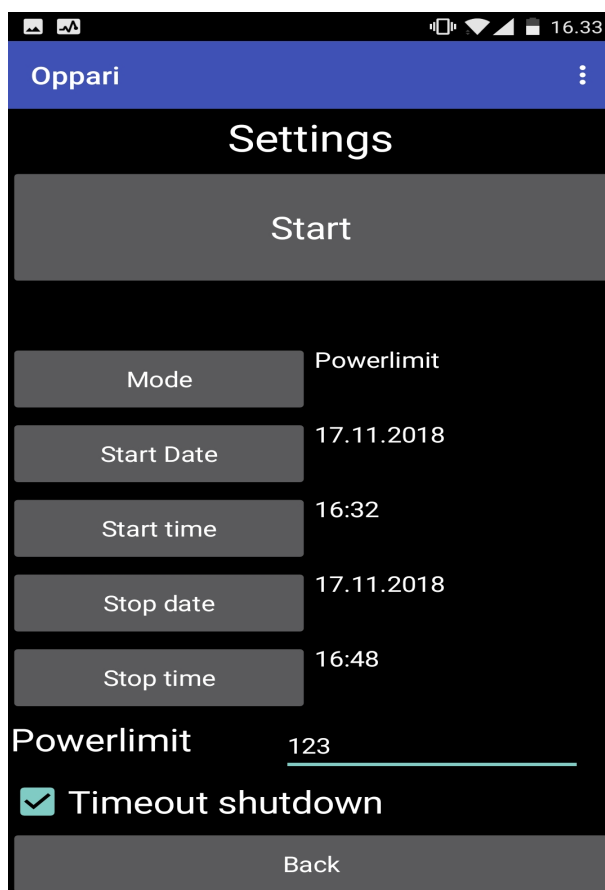
Kuva 4. Adapter login

Käynnistämisen jälkeen tulee kytkeä matkapuhelimen Bluetooth päälle. Kun matkapuhelimen Bluetooth on valmiina löytämään laitteita, valitaan connect adapter. Se aukaisee listan laitteista, joihin se voi yhdistää. Tältä listalta valitaan haluttu adapteri. Seuraavana syötetään kirjautumistiedot ja painetaan login-painiketta. Tämä lähettää kirjautumistiedot adapterille, joka aloittaa laitteiden etsimisen. Viimeisenä painetaan pick device -painiketta, tämä tuo esille listan

laitteista, jotka on löydetty adapterilla. Seuraavana painetaan haluttu adapterin tunnistautumisnumeroa listalta, jolloin adapteri yhdistää haluttuun kytkimeen.

6.3.2. Asetusvalikko

Kun kytkin on valittu, siirrytään asetusnäkyyn, kuvassa 5. Asetusnäkyssä voidaan muuttaa kytkimen haluttuja käynnistymis- ja toimintaparametreja.



Kuva 5. Settings menu

Mode -näppäintä painettaessa näytölle tulostuu lista, josta voidaan valita haluttu toimintamalli. Toimintatavat ovat powerlimit, timer, manual, ja timer. Tämän jälkeen asetusvalikko muuttuu valitun toimitamallin mukaiseksi.

Date -valikoiden avulla pystytään määrittämään haluttu päivämäärä kytkimen käynnistymiselle ja sammumiselle.

Start- ja stop timella voidaan valita haluttu kellonaika, jolloin kytkin käynnistyy ja sammuu.

Viimeisenä on mahdollista asettaa virtarajoitin, jonka avulla järjestelmä sulkeutuu mikäli määrätty virta ylittyy.

Mikäli halutaan pitää kytkin päällä vaikka yhteys katkeaa, tulee timeout shutdown-valitsin jättää pois päältä.

Kuvassa 5 on esimerkkutilanne, jossa käyttäjä on valinnut haluamansa asetukset. Se muodostaa asetuksista paketin ja lähettää sen painamalla Start-painiketta.

6.3.1. Päänäkymä

Kuvassa 6 esitetään viimeinen näkymä mobiiliapplikaatiosta. Tästä näkymästä voidaan tarkkailla laitteen tilaa. Siihen tulostuu joka kymmes sekunti tieto siitä mitä kytkin on mitannut ja lisäksi se näyttää kytkimen tilan.



Kuva 6. Main view

Esimerkkikuvassa 6 kytkin ei ole vielä lähettänyt viestiä, jolloin virrankulutus ja ulkoilman lämpötila eivät ole vielä tulleet näkyviin.

To start ja to stop kertovat ajan, jolloin laite tulee käynnistymään tai sammumaan. Kun laite on jo käynnistynyt, to start muuttuu negatiiviseksi, kuten kuvassa 6 näkyy.

Päänäkymästä voidaan myös sammuttaa laite mikäli halutaan manuaalisesti ohjata laitetta. Se tapahtuu painamalla vihreällä taustalla olevaa "ON" -painiketta. Kun painiketta painetaan se asettaa napin tekstin "OFF" -tilaan ja muuttaa napin taustan punaiseksi.

7 JÄRJESTELMÄN TESTAUS

Järjestelmää testattiin useaan otteeseen tuotannon aikana. Kuitenkin tuotteen käytettävyyden testaaminen tapahtuu muutamien kuukausien aikana prototyvyn valmistumisen jälkeen, jonka jälkeen tehdään tarvittavia parannuksia järjestelmään. Kun parannukset on saatu lisättyä järjestelmään, voidaan laitteen massavalmistamista aloittaa harkitsemaan.

7.1. Käytettävyys

Järjestelmä on käytettävyydeltään vielä alkuvaiheessa, ja sen parantamiseksi joudutaan vielä tekemään jatkokehitystä. Mobiilikäyttöliittymä on rakennettu graafisella käyttöliittymällä. Käyttöliittymän rakennusohjelmassa oli joitain rajoitteita, joiden takia käytettiin kompromisseja ohjelmoinnissa, jotta järjestelmä saataisiin testausvaiheeseen. Tästä syystä mobiiliapplikaation siirtäminen toiseen ohjelmointialustaan parantaa huomattavasti sen käytettävyyttä.

Lisäksi laitteen kuljettaminen on tällä hetkellä haasteellista. Prototyvyn koot jäivät liian suuriksi, koska niiden toimintaa jouduttiin varmentamaan. Esimerkiksi adapterilevyn koko prototyvyltä oli 70 mm x 40 mm. Ideaalinen koko tulisi olla huomattavasti pienempi, jotta adapteria voitaisiin kuljettaa helpommin ja mukavammin. Adapterin levyä on mahdollista pienentää huomattavasti käyttämällä itse suunniteltua prosessoripiiriä kehitysalustaan verrattuna.

Laitteesta tuli kuitenkin monikäyttöisempi kuin alkuperäisessä suunnitelmassa haluttiin. Alkuperäinen tarkoitus oli käyttää järjestelmää vain auton esilämmityksen hallintaan, mutta nykyisellä järjestelmällä voidaan ohjata kaikkia verkkovirtaan kytkettäviä laitteita.

7.2. Kantama

Ensimmäisen version kantama jäi hyvin lyhyeksi, mutta antennin muutoksella saatiin jo huomattavasti parannusta. Tulos ei ollut kuitenkaan vielä tyydyttävä alkuperäiseen ideaan kantamasta, joten antennin piiriin jouduttiin vielä tekemään muutoksia. Seuraavana korjauksena vaihdettiin antennijohdotusta moninapaisesta

johdosta koaksaalikaapeliin. Tällä muutoksella toivottiin kantamaksi jo kilometrin matkaa. Muutoksen jälkeen kantamaksi saatiin 400 metriä. Tätä tulosta tulee vielä parantaa, jotta saadaan varmempi kommunikaatio pidemmälle matkalle. Tämän lisäksi paremmalla kantavuudella saadaan viesti kulkeutumaan paremmin kaupunkiolosuhteissa.

7.3. Toiminnallisuus

Laite toimi lähes jokaisella käynnistyskerralla, mutta jokin satunnainen ongelma aiheutti järjestelmän käynnistämässä ongelmia. Se vastaanottaa tarvittavat viestit mobiiliapplikaatiosta ja käynnistää laitteen silloin kun se halutaan käynnistää. Sen lisäksi se lähettää halutut viestit ja matkapuhelin näyttää virran kulutuksen ja lämpötilan.

8 YHTEENVETO

Työ oli kokonaisuutena sopiva opinnäytetyöksi. Työssä oli sopivasti haasteita ja samalla sain kokemusta kokonaisen järjestelmän rakentamisesta. Laite ei valmistunut markkinoitavaksi opinnäytetyön aikana, mutta protovaiheen laite saatiin valmiiksi. Protovaiheen testaamisen jälkeen laitetta voidaan parantaa ja suunnitella käyttäjäystävällisemmäksi. Parannettavia ja muokattavia osia on esimerkiksi mobiilikäyttöliittymä. Nykyistä testaukseen rakennettua käyttöliittymää ei saa käyttää kaupallisessa tarkoituksessa lisenssiehtojen vuoksi.

Lisäksi protolevyjen kokoa tulisi pienentää. Nykyiset koot jouduttiin valitsemaan, jotta voitaisiin varmentaa järjestelmän toimintaa kehitysvaiheessa. Ennen kulutuskäyttöön otettavaa revisiota tulisi korteille toteuttaa erilaisia testejä, joilla voidaan varmentaa laitteen turvallisuus. Lisäksi jokainen kuluttajien käyttöön tuleva laite tulee läpäistä EMC -testit.

Tuotteen prototyypin alustava käyttöttestaus onnistui hyvin, mutta pidempää testausta laitteelle ei pystytty toteuttamaan ajanpuutteen vuoksi.

Alustava hinta kokonaisuudella on 60 euroa, mikäli valmistetaan yksi kappale, eikä hintaan lasketa kehitys- ja kokoonpanotyötä. Suuremman erän valmistuksessa päästään kuitenkin huomattavasti alempaan hintaan, ja tällöin yhden tuotteen komponenttien hinta olisi 30,74 euroa.

LÄHTEET

/1/ LoRa overview. Viitattu 12.12.2018. <https://www.semtech.com/lora>

/2/ Sigfox overview. Viitattu 12.12.2018. <https://www.sigfox.com/en>

/3/ IEEE 802.11ah: A Long Range 802.11 WLANat Sub 1 GHz. Viitattu 12.12.2018
https://www.riverpublishers.com/journal/journal_articles/RP_Journal_2245-800X_115.pdf

/4/SFS-EN 60529 + A1. Sähkölaitteiden kotelointi standardi.

/5/DIN EN 60664-1. Eristeväli standardi.

/6/RFM95 datalehti. Viitattu 1.12.2018. https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/031/659/original/RFM95_96_97_98W.pdf?1460518717

/7/AC1020 datalehti. Viitattu 1.1.2019. https://www.promelec.ru/pdf/AC-1020_Jun-06.pdf

/8/STM321031 datalehti. Viitattu 1.12.2018.
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm321031e6.pdf>

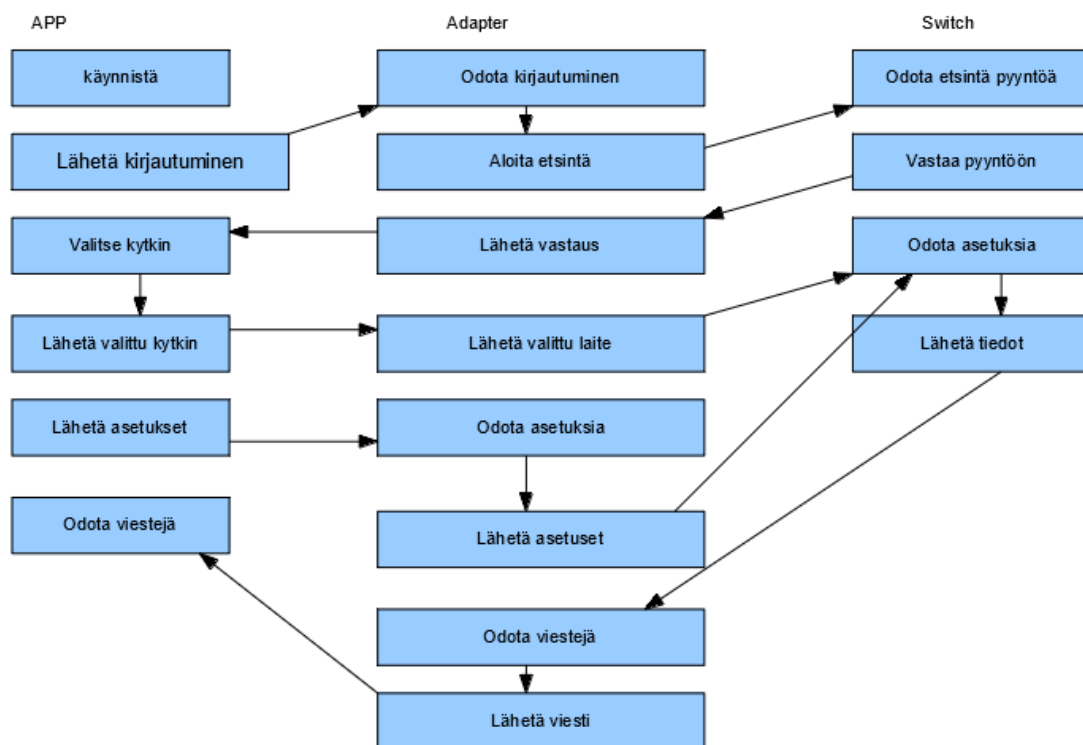
/9/MCP9700T datalehti. Viitattu 2.12.2018.
<https://www.mouser.com/datasheet/2/268/20001942F-461622.pdf>

/10/HC-05 datalehti. Viitattu 1.12.2018.
<https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-148.1.pdf>

/11/MIT APPINVENTOR overview. Viitattu 28.11.2018.
<http://appinventor.mit.edu/explore/>

LIITE 1

Kuva 7. Kokojärjestelmän lohkokaavio.



Kuva 7. Kokojärjestelmän lohkokaavio.