

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Antti Haapalainen

OMAKOTITALON SÄHKÖ- JA
LÄMMITYSENERGIANMITTAUSJÄRJESTELMÄN PROTOTYYPPI

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2013



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2013
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä
Antti Haapalainen

Nimike
Omakotitalon sähkö- ja lämmitysenergianmittausjärjestelmän prototyyppi

Tiivistelmä

Opinnäytetyönä valmistettiin mittausjärjestelmä, jonka avulla voidaan tarkkailla öljylämmitteisen omakotitalon sähkö- ja lämmitysenergiankulutusta. Järjestelmä sisältää mittauksia suorittavan laitteiston sekä internetselaimella käytettävän käyttöliittymän, jonka avulla kulutustietoja voidaan tarkastella.

Markkinoilla ei ole pienikiinteistöjen kokonaisenergiankulutuksen mittaamiseen soveltuvia järjestelmiä. Kiinteistön energiankulutuksen seuranta on hyödyllistä, kun pyritään säästämään energiaa. Kulutustietojen tarkastelu osoittaa käyttäjälle pitkällä aikavälillä saavutetut säästöt ja ohjaa näin käyttäjää tekemään energiaa säästäviä valintoja.

Energianmittauslaitteisto rakennettiin käyttäen pohjana Arduino-kehitysalustaa. Työhön kuului mittauslaitteiston suunnittelu, kokoaminen ja ohjelmointi. Selainkäyttöliittymän ja palvelinohjelmiston suunnittelu ja toteutus olivat myös osa työtä.

Tuloksena syntyi toimiva järjestelmä, joka täyttää sille asetetut tavoitteet. Järjestelmä mittaa tarkasti sekä sähkön- että öljynkulutusta ja siirtää kulutustiedot palvelimelle, josta käyttäjä voi tarkastella niitä graafisesti haluamallaan ajanjaksolla ja tarkkuudella. Saatujen tulosten perusteella järjestelmää olisi mahdollista kehittää edelleen aina kaupalliseksi tuotteeksi saakka.

Kieli
suomi

Sivuja 47
Liitteet 4
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
energiankulutus, mittarit, energiansäästö



THESIS
April 2013
Degree Programme in Electrical Engineering
Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
tel. +358 (0) 13 260 6800

Author
Antti Haapalainen

Title
Prototype of a Measuring System of Electrical and Heating Energy for a Detached House

Abstract

The aim of this project was to prepare a measuring system to monitor the consumption of electrical and heating energy in a detached house that uses oil as a source of heating energy. The system includes hardware that takes measurements and an internet user interface for monitoring the consumption data.

There is no system for measuring the total energy consumption of a small building available on the market. Measuring energy consumption is useful when the goal is to save energy. Consumption information provides the user with information on savings achieved during a longer period of time and so guides the user to make the right choices in order to save energy.

The measuring system was built by using Arduino prototyping platform as a basis. The study included planning, building and programming the hardware. Planning and implementing the internet user interface and server-side applications were also a part of the study.

The result was a working system which meets the requirements set to it. The system takes precise measurements of the consumption of electricity and oil and transfers the information to a server. The user is able to examine this information graphically at a desired period of time and accuracy. Based on the results it would be possible to develop the system further into a commercial product.

Language
Finnish

Pages 47
Appendices 4
Pages of Appendices 4

Keywords
energy consumption, measuring instruments, saving energy

Sisältö

Termit ja lyhenteet.....	5
1 Johdanto.....	8
2 Lähtökohdat.....	9
3 Tietoperusta.....	11
3.1 Olemassa olevat energiankulutusmittarit.....	11
3.2 Öljypolttimen toiminta.....	12
3.3 Kulutuksen mittaaminen ja laskeminen.....	13
3.4 Arduino.....	14
3.5 Anturit.....	16
3.6 Reaaliaikakello DS1307.....	18
3.7 SD-muistikortinlukija.....	19
3.8 Ethernet-moduuli W5100.....	20
3.9 LCD-näyttö ja sen ohjain.....	21
4 Toteutus.....	22
4.1 Arduino ja LCD-näyttö.....	22
4.2 Antureiden testaus ja kytkentä.....	23
4.3 Reaaliaikakello ja muistikortinlukija.....	27
4.4 Ethernet-yhteys.....	28
4.5 Laitteiston ohjelmointi.....	30
4.6 Palvelin.....	33
4.7 Kotelointi ja johdotus.....	36
4.8 Testaus.....	37
5 Tulokset.....	39
6 Jatkokehitysmahdollisuudet.....	42
7 Pohdinta.....	44
Lähteet.....	46

Liitteet

Liite 1	Muunnospiiri fotodiodeille
Liite 2	Energianmittauslaitteiston ohjelmiston aktiviteettikaavio
Liite 3	Käyttöliittymä energianmittauslaitteiston LCD-näytöllä
Liite 4	Energianmittauslaitteistolle tehdyt testit

Termit ja lyhenteet

3G	Third Generation, mobiilin telekommunikaatioteknologian kolmas sukupolvi.
DC	Direct Current, tasavirta. Sähkövirta, jonka suunta ei muutu.
DE-9	Pieni, usein tietokonejärjestelmissä käytetty liittintyyppi. D viittaa liittimen muotoon, E kokoon ja 9 pinnien määrään.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol, menetelmä, jonka avulla verkkoon liitetyille laitteille annetaan automaattisesti IP-osoite.
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, muisti, johon voi säilöä pieniä määriä tietoa. Tieto ei häviä, vaikka muistin virta katkaistaan.
Ethernet	Pakettipohjainen, yleisin lähiverkkotekniikka.
GET	Yksi monista HTTP-protokollan tukemista tavoista tehdä pyyntö palvelimelle. Yleensä GET:llä noudetaan tietoa palvelimelta.
I ² C	Inter-Integrated Circuit, Philipsin kehittämä sarjaväylätyyppi, jolla voidaan liittää useita oheislaitteita esimerkiksi sulautettuun järjestelmään.
IP	Internet Protocol, internetliikenteessä määritelty yhteyskäytäntö, jonka mukaisesti tietokoneiden välisessä liikenteessä datapaketit osataan reitittää lähettäjältä vastaanottajalle.

IP65	Ingress Protection Rating, luokittelujärjestelmä, jossa lyhennettä IP seuraava ensimmäinen numero määrittelee kotelon suojauksen kiinteitä kappaleita vastaan ja toinen numero määrittelee suojauksen vettä vastaan.
JavaScript	Verkkoselaimille kehitetty ohjelmointikieli, jolla tehdyt ohjelmat mahdollistavat vuorovaikutuksen käyttäjän kanssa.
LCD	Liquid-Crystal Display, nestekidenäyttö.
LDR	Light Dependent Resistor, vastus, jonka resistanssi pienenee valon voimakkuuden kasvaessa.
LED	Light-Emitting Diode, puolijohde, joka säteilee valoa.
MySQL	Relaatiotietokantaohjelmisto, joka palvelimena tarjoaa usealle käyttäjälle samanaikaisen pääsyn useisiin tietokantoihin. Nimen alkuosa My tulee kehittäjän tyttären nimestä ja SQL sanoista Structured Query Language.
NAT	Network Address Translation, osoitteenmuunnos. Prosessi, jossa julkisesti liikennöityjä IP-osoitteita piilotetaan tai säästetään. Yleensä oletuksena estää ulkoverkosta sisäverkkoon päin tulevan liikenteen.
NO	Normally Open, lepotilassa avoin (kontakti/kytkin).
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor, ohjelmointikieli, jota käytetään erityisesti www-palvelinympäristöissä dynaamisten www-sivujen luonnissa.
POST	Yksi monista HTTP-protokollan tukemista tavoista tehdä pyyntö palvelimelle. Yleensä POST:lla ladataan tietoa palvelimelle.

PWM	Pulse-Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio. Modulointitapa, jossa kuormaan menevää jännitettä säädetään muuttamalla pulssisuhdetta niin, että lähtösignaalin keskiarvo yhden värähtelyjakson ajalta laskettuna on sama kuin modulointisignaalin arvo.
RJ45	Registered Jack, RJ45 on yleisnimi Modular-liittimelle, joka käyttää 8 johdinta. Käytetään yleisesti Ethernet-kaapeleissa.
SD	Secure Digital, kannettavissa laitteissa käytettävä muistikorttiformaatti.
SPI	Serial Peripheral Interface Bus, Motorolan kehittämä sarjaväylätyyppi, joka mahdollistaa useiden slave-laitteiden kommunikoinnin master-laitteen kanssa.
TCP	Transmission Control Protocol, tietoliikenneprotokolla, jolla luodaan yhteyksiä tietokoneiden välille, joilla on pääsy internetiin.
UDP	User Datagram Protocol, ns. yhteydetön protokolla, joka ei vaadi yhteyttä laitteiden välille, mutta mahdollistaa tiedostojen siirron.
URL	Uniform Resource Locator, merkkijono, jolla kerrotaan tietyn tiedon paikka. Käytetään osoittamaan www-sivuja.
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka, jolla erilaiset verkkolaitteet voidaan yhdistää ilman kaapeleita.
www	World Wide Web, internetverkossa toimiva hajautettu hypertextijärjestelmä

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä rakennetaan energianmittausjärjestelmä, joka koostuu energiankulutusta mittaavasta laitteistosta sekä internetselaimella käytettävästä käyttöliittymästä. Laitteisto mittaa kiinteistön sähkön- ja lämmitysöljynkulutusta, esittää tiedot näytöllä ja siirtää tiedot palvelimelle myöhempää hyödyntämistä varten. Palvelimella on internetselaimella käytettävä käyttöliittymä, jonka avulla palvelimelle tallennettuja kulutustietoja pystytään tarkastelemaan. Työn toteuttaminen vaatii sähkötekniikan, elektroniikan, automaation ja tietotekniikan soveltamista ja yhteensovittamista.

Lähtökohtana opinnäytetyölle oli tarve seurata kiinteistön kokonaisenergiankulutusta ja pystyä tekemään vertailua esimerkiksi vuositasolla. Tietoja pystytään hyödyntämään esimerkiksi arvioitaessa kiinteistöön tehtävien lisäeristysten vaikutusta ja kannattavuutta. Markkinoilta ei löytynyt kuluttajakäyttöön tarkoitettua mittauslaitteistoa, jolla olisi pystynyt mittaamaan kokonaisenergiankulutuksen.

Energianmittauslaitteisto rakennettiin käyttäen pohjana Arduino-kehitysalustaa. Arduinoon kytkettiin erinäisiä lisämoduuleita, joiden avulla mittaukset, tiedonsiirto ja laitteen käyttöliittymä toteutettiin. Laitteiston rakentamiseen kuului myös Arduinon ohjelmointi, jossa käytettiin apuna valmiita lisämoduulien hallintaan tarkoitettuja ohjelmakirjastoja. Palvelimella olevan tietokannan, ohjelmien ja selaimella käytettävän käyttöliittymän suunnittelu ja toteutus olivat myös osa työtä. Koska järjestelmä on vasta prototyyppi, se rakennettiin huomioiden erityisesti esimerkikiinteistön tarpeet, mutta työssä huomioitiin myös mahdollisuus laajentaa ja muokata järjestelmää erilaisiin ympäristöihin ja erilaisille lämmitysmuodoille sopivaksi.

2 Lähtökohdat

Energianmittausjärjestelmä toteutettiin 1960-luvulla rakennettuun puurakenteiseen omakotitaloon, jossa sekä käyttöveden että lämmitysveden lämmittämiseen käytetään kevyttä polttoöljyä. Öljyä varastoidaan maanalaisessa säiliössä, jossa ei ole minkäänlaista osoitinlaitetta öljyn määrälle. Kiinteistön sähkömittaus tapahtuu Fortum Oyj:n asentamalla etäluettavalla sähkömittarilla.

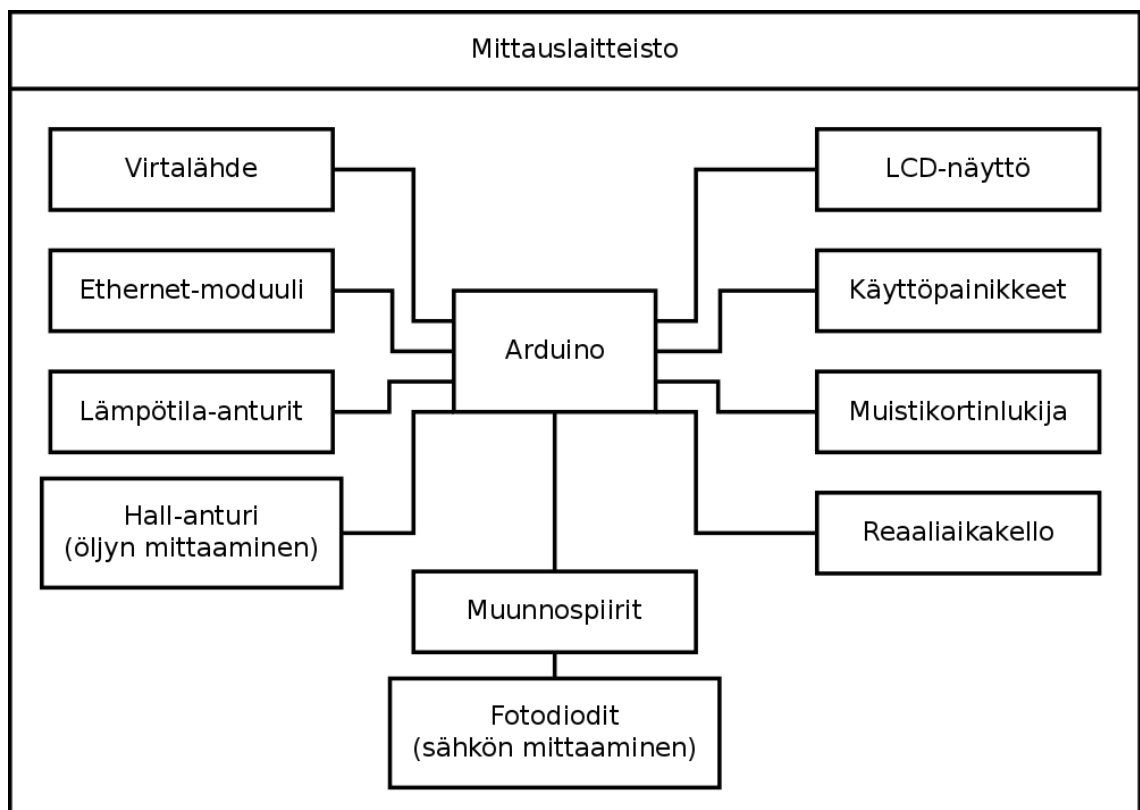
Mittausjärjestelmää lähdettiin suunnittelemaan siten, että sillä pystytään mittaamaan kiinteistön kokonaisenergiankulutusta, eli tässä tapauksessa sähkön- ja öljynkulutusta. Järjestelmällä halutaan mitata myös ulko- ja sisälämpötiloja, jotta niiden vaikutus energiankulutukseen voitaisiin nähdä. Kulutustietojen tulee olla helposti ja monipuolisesti hyödynnettävissä jopa vuosien ajalta, jotta pystytään tekemään kunnollista vertailua. Koska öljysäiliössä ei ole öljyn määrää osoittavaa mittaria, järjestelmän tulee myös pystyä arvioimaan säiliössä jäljellä olevan öljyn määrä. Tämän tiedon avulla tiedetään, kun öljyä on vähissä, ja voidaan tilata lisää öljyä. Taulukkoon 1 on koostettu käyttäjän näkökulmasta ne ominaisuudet, jotka järjestelmästä on löydyttävä.

Taulukko 1. Energianmittausjärjestelmän vaatimusmäärittely Scrum-menetelmän User Stories -syntaksia käyttäen [1].

Ollessani...	haluan...	jotta...
käyttäjä	nähdä reaaliaikaisen sähkökulutuksen laitteiston näytöltä	pystyn helposti seuraamaan eri sähkölaitteiden vaikutusta kulutukseen.
käyttäjä	tietää paljonko öljyä on jäljellä	pystyn tilaamaan lisää öljyä ennen kuin se loppuu.
käyttäjä	vertailla eri vuosien/kuukausien/päivien kulutusta	näen pitkän aikavälin muutokset kulutuksessa.
käyttäjä	nähdä edellisen vuorokauden ja edellisen viikon kulutuksen laitteiston näytöltä	voin seurata kulutusta vaivattomasti käyttämättä tietokonetta.
käyttäjä	tietää mittaushetken lämpötilan	voin verrata lämpötilan vaikutusta kulutukseen.
käyttäjä	järjestelmän olevan turvallinen	kukaan muu ei pääsisi katselemaan kulutustietojani.

Järjestelmä jakaantuu yksinkertaistettuna kahteen eri osaan: mittauslaitteistoon ja internetselaimella käytettävään käyttöliittymään. Laitteisto sijaitsee mittauksen kohteena olevassa kiinteistössä ja käyttöliittymä on palvelimella, jolle on pääsy internetistä. Laitteisto mittaa kulutustietoja ja siirtää tiedot internetin kautta palvelimelle, josta niitä voidaan tarkastella internetselaimella. Palvelimella tiedot on tallennettuna tietokantaan.

Kuviosta 1 nähdään mittauslaitteiston perusosat kytkettynä keskellä olevaan järjestelmän ytimeen, Arduinoon. Laitteiston tulee pystyä suorittamaan seuraavia päätehtäviä: mittaamaan kulutusta, tallentamaan kulutustietoja väliaikaisesti, siirtämään tietoa palvelimelle ja esittämään yksinkertaisia tietoja paikallisesti LCD-näytöllä. Lisäksi laitteiston tulee pystyä mittaamaan lämpötiloja ja tietämään tarkka kellonaika ja päivämäärä.



Kuvio 1. Mittauslaitteiston periaate.

Selaimella käytettävän käyttöliittymän tulisi pystyä esittämään kulutustiedot selkeästi halutulta aikaväliltä halutulla tarkkuudella. Käyttöliittymän kautta tulisi olla

helposti saatavilla vertailukelpoisia tietoja eri vuosien, kuukausien ja päivien kulukselta. Koska käyttöliittymään on pääsy internetistä, sen toteutuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota myös tietoturvaan. Kulutustietojen perusteella riittävät voisivat esimerkiksi päätellä, onko kiinteistö tyhjiään.

3 Tietoperusta

Seuraavissa luvuissa käydään läpi olemassa olevia energianmittausjärjestelmiä sekä perehdytään öljypolttimen toimintaan siinä laajuudessa, kuin se tässä opinnäytetyössä on tarpeen. Kulutuksen mittaamisen ja laskennan periaatteet esitetään, samoin kuin järjestelmässä käytettävät komponentit ja laitteet sekä kerrotaan niiden teknisistä yksityiskohdista.

3.1 Olemassa olevat energiankulutusmittarit

Sähkönkulutuksen mittaamiseen on olemassa muun muassa Fortum Oyj:n myymä laite, Fortum Kotinäyttö. Fortum Kotinäyttö kytketään sähkömittariin ja se näyttää langattomalla näyttölaitteella reaaliaikaisen sähkönkulutuksen. Siihen pystyy asettamaan päiväkulutustavoitteita ja -rajoja. [2.] Lisäksi laitteesta on siirrettävissä pidemmän aikavälin kulutustiedot tietokoneelle [3]. Laite kuitenkin mittaa ainoastaan sähkötalutusta eikä näin ollen sovellu kokonaisenergiankulutuksen mittaamiseen esimerkiksi öljylämmitteisessä kiinteistössä.

Liikekiinteistöjen, teollisuuslaitosten ja suurten taloyhtiöiden käyttöön on olemassa energianmittausjärjestelmiä, kuten Lemminkäinen Talotekniikka Oy:n EMNet-järjestelmä. Järjestelmällä voidaan mitata muun muassa sähkön-, veden- ja lämmitysenergiankulutusta. Järjestelmän avulla voidaan suorittaa automaattinen laskutus kulutuksen mukaan ja se tuottaa kattavat raportit, joita käyttäjä voi tarkastella internetiselaimella kodistansa käsin. [4.] Laajuudesta johtuen järjestelmä on monimutkainen ja selkeästi suunnattu ammattikäyttöön, eikä se näin ollen sovellu esimerkiksi omakotitalon kulutuksen seurantaan.

Öljynkulutuksen mittaaminen on mahdollista öljypolttimeen kytkettävän käyttötuntilaskurin avulla. Käyttötuntilaskurit ovat yksinkertaisia laitteita, joka saavat signaalin öljypolttimen käyttötuntilaskurin liitännästä, mutta ne eivät ilmoita öljynkulutusta, vaan ainoastaan polttimen käyntiajan. Lisäksi niiden liittäminen palvelimeen tai kulutustietojen tarkastelu ajan suhteen on mahdotonta.

Sähkönkulutusta on mahdollista tarkkailla fyysisten mittauslaitteiden lisäksi monien sähköyhtiöiden internetsivuilla. Uudet etäluettavat mittarit mahdollistavat tarkkojen kulutustietojen keräämisen. Kirjoitushetkellä esimerkiksi Fortum Valpas -palvelussa kulutustiedot oli nähtävissä tunnin tarkkuudella. Reaaliaikaista kulutustietoa palvelusta ei saa. [5]

3.2 Öljypolttimen toiminta

Öljypoltin polttaa kevyttä polttoöljyä lämmittääkseen kiinteistössä käytettävän kuumen käyttöveden ja patteriverkostossa kiertävän lämmitysveden. Öljypoltinta ohjaa termostaatti, joka mittaa kattilassa olevan veden lämpötilaa. Tyypillisesti öljypoltin käy muutamia minutteja kerrallaan ja lepää muutamia kymmeniä minutteja käyntijaksojen välissä.

Öljypolttimen käynnistyessä ensimmäinen vaihe on 7–12 sekuntia kestävä esituuletus, jonka aikana polttimessa oleva puhallin työntää tulipesään ilmaa pumpun samalla nostaessa öljynpainetta. Tämän jälkeen magneettiventtiili aukeaa ja öljy alkaa virrata. Palava ilman ja öljyn seos muodostuu 7–15 barin paineeseen pumpatun öljyn kulkiessa suuttimen läpi ja purkautuessa pieniksi pisaroiksi sekoittuen samalla puhaltimen työntämään palamisilmaan. Seos sytytetään sytytyskärkien väliin muodostetun valokaaren avulla, minkä jälkeen palaminen jatkuu niin kauan kuin pumppu ja puhallin käyvät.

Öljypolttimen käydessä sen öljynkulutus aikayksikköä kohden on periaatteessa vakio. Polttimessa olevan suuttimen koko määrää öljynkulutuksen. Pienissä öljypolttimissa käytetään normaalisti suutinta, jonka läpi virtaavan öljyn määrä 7 barin paineessa on 0,5 US gal/h. Käytännössä öljynkulutukseen vaikuttavat

suuttimen koon lisäksi muun muassa öljynpaine, suuttimen kuluneisuus ja öljyn juoksevuus. [6]

3.3 Kulutuksen mittaaminen ja laskeminen

Esimerkkikiinteistössä on Fortumin etäluettava Telvent Echelon -sähkölmittari. Mittari mittaa kiinteistön sähköenergiankulutusta (kulutettua pätöenergiaa) ja ilmoittaa kokonaiskulutuksen kilowattitunteina laitteen näytöllä. Mittarissa on myös loisenergianmittaus, mutta sen määrää ei näytetä laitteen näytöllä eikä sähköyhtiö laskuta kotitalouksia loisenergian käytöstä. Mittarissa on kaksi vilkkuvaa LEDiä, joista toinen antaa 1000 impulssia yhtä käytettyä kilowattituntia (pätöenergia) kohden ja toinen 1000 impulssia kilovarituntia (loisenergia) kohden. LEDien vilkkumistaajuus vaihtuu kulutuksen mukaisesti. Kulutettu sähköenergia saadaan laskettua impulssien määrästä seuraavasti:

$$E = \frac{n_{\text{impulssit}}}{1000 \frac{1}{\text{kWh}}} \quad (1)$$

missä E = sähköenergia (kWh)
 $n_{\text{impulssit}}$ = impulssien määrä

Impulssien välillä kuluneesta ajasta saadaan laskettua hetkellinen teho:

$$P_{\text{hetkellinen}} = \frac{T}{1000 \cdot \frac{1}{\text{kWh} \cdot 3600}} \quad (2)$$

missä $P_{\text{hetkellinen}}$ = hetkellinen pätöteho (kW)
 T = impulssien välillä kulunut aika (s)

Esimerkkikiinteistön öljypolttimessa on 0,5 US gal/h syöttävä suutin. Yksi gallo-
na litroiksi muutettuna on noin 3,79 l. Kulutettu öljymäärä saadaan laskettua
polttimen käyntiajasta seuraavalla kaavalla:

$$V = T \cdot I \cdot 3,79 \text{ l/gal} \cdot 3600 \quad (3)$$

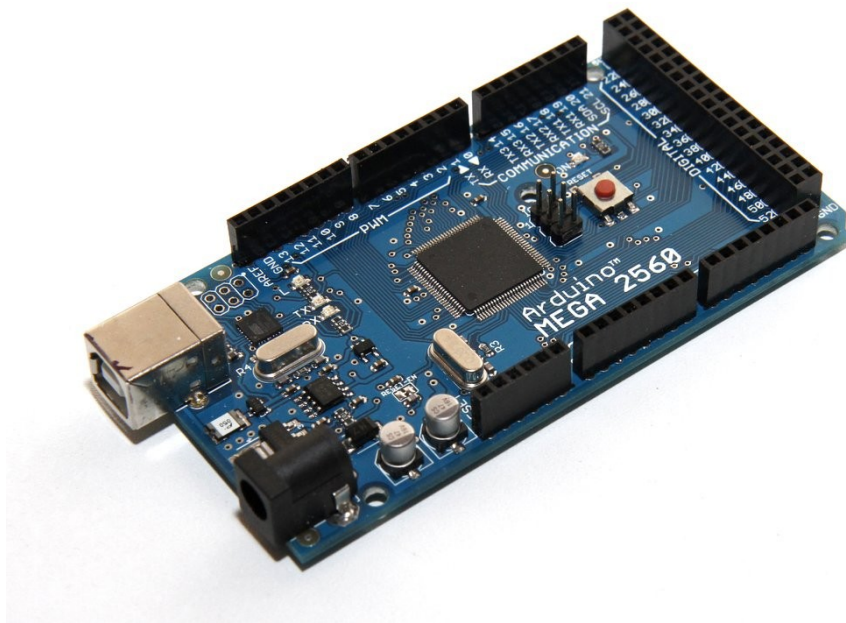
missä V = öljymäärä (l)
 T = polttimen käyntiaika (s)
 I = suuttimen koko (gal/h)

Kevyen polttoöljyn energiasisältö on noin 10 kWh/l, joten kulutetun öljymäärän
voi muuttaa kilowattitunneiksi kertomalla sen kymmenellä.

3.4 Arduino

Arduino on vapaa elektroniikkakehitykseen tarkoitettu järjestelmä, joka pohjau-
tuu joustavaan, helppokäyttöiseen laitteistoon ja ohjelmistoon. Laitteisto voi ot-
taa vastaan tietoja ympäristöstään erilaisten antureiden avulla ja vaikuttaa ym-
päristöönsä moottoreiden, valojen ja muiden toimilaitteiden kautta. Arduinon oh-
jelmointi tapahtuu Wiring-ohjelmointikieleen perustuvalla ohjelmointikielellä. [7]

Arduinoa käyttävien elektroniikkaharrastajien määrä on kasvanut viime vuosina,
ja sille saatavien lisälaitemoduulien ja internetistä löytyvien ohjeiden määrä on
lisääntynyt huimasti. Arduinon helppokäyttöisyys perustuu pääasiassa valmiisiin
kirjastoihin, jotka helpottavat moduulien kanssa toimimista ja tiedonkäsittelyä.
Kirjastojen avulla moduulien käyttö on yksinkertaista, koska kirjasto hoitaa mo-
duuliin liittyvät toiminnot ja kommunikoinnin, jolloin moduulien hyödyntämiseen
riittää yksinkertaiset komennot. Moduulit ovat yleensä suoraan Arduinon kanssa
yhteensopivia, eli niiden käyttöjännite on viisi voltia, kuten Arduinollakin, ja suu-
remmat moduulit voidaan kiinnittää suoraan Arduinon päällä oleviin kytkentäri-
mihin.



Kuva 1. Arduino Mega 2560

Arduinoja on olemassa monia eri malleja, joista suosituimpia lienevät Uno ja Mega 2560 (kuva 1). Tässä työssä käytetään Arduino Mega 2560:aa. Taulukossa 2 on vertailtu näiden mallien ominaisuuksia.

Taulukko 2. Arduino Unon ja Arduino Mega 2560:n ominaisuudet. [8; 9]

	Arduino Uno	Arduino Mega 2560
Mikrokontrolleri	ATmega328	ATmega2560
Käyttöjännite	5 V	5 V
Mikrokontrollerin nopeus	16 MHz	16 MHz
Ohjelmamuisti	32 kt	256 kt
Käyttömuisti	2 kt	8 kt
EEPROM-muisti	1 kt	4 kt
Digitaaliset tulot/lähdöt	14 kpl (joista 6:ssa PWM-mahdollisuus)	54 kpl (joista 15:ssä PWM-mahdollisuus)
Analogiset tulot	6 kpl	16 kpl
Keskeytykset	2 kpl	6 kpl

Arduinossa ajettava ohjelma talletetaan ohjelmamuistiin, eli muistin suuruus määrää, kuinka monimutkainen ohjelma ja kuinka paljon kirjastoja laitteessa voi olla. Ohjelma ja sen käyttämät muuttujat ladataan käyttömuistiin ohjelmaa ajat-

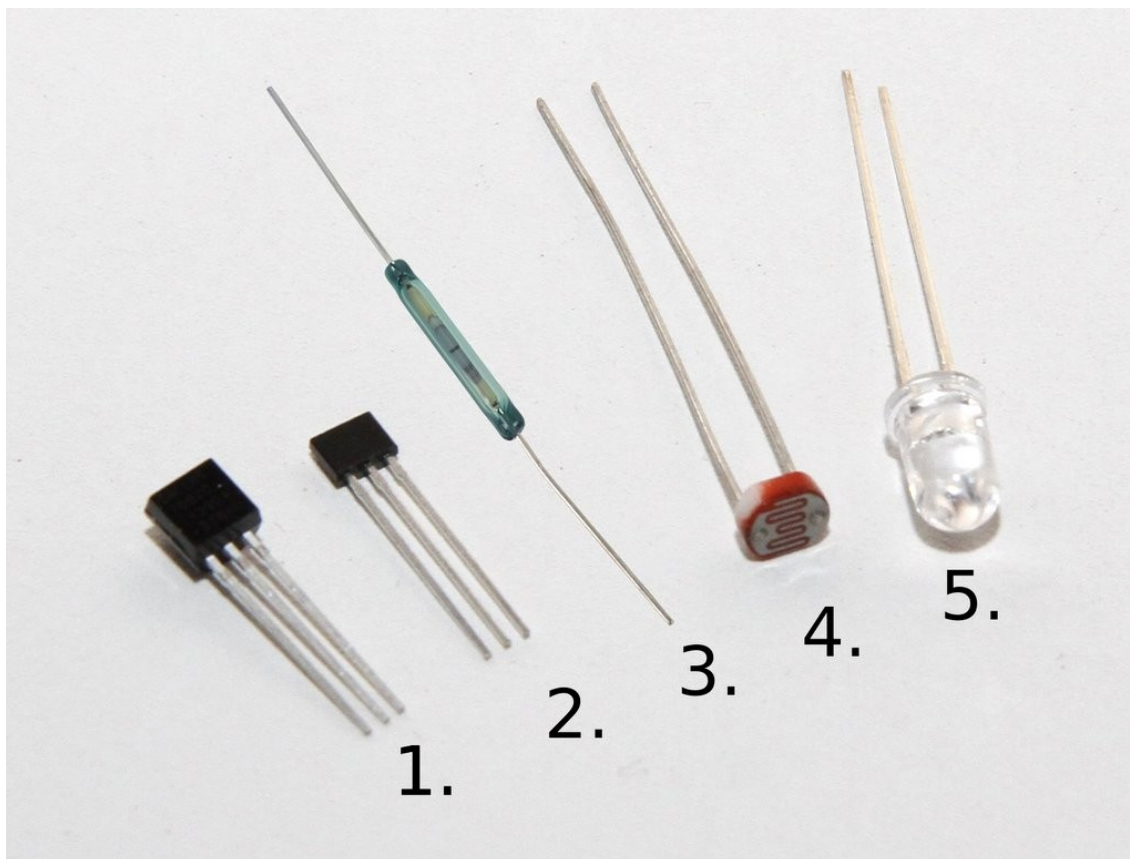
taessa. EEPROM-muistiin ohjelma voi tallentaa tietoa (esimerkiksi laitteen asetuksia), jonka halutaan säilyvän myös virran katkeamisen yli.

Digitaalisten ja analogisten tulojen ja lähtöjen määrä vaikuttaa siihen, kuinka monta anturia tai toimilaitetta Arduinoon voidaan kytkeä. PWM-mahdollisuus tarkoittaa sitä, että digitaalisen lähdön jännitettä voidaan säätää pulssinleveysmodulaatiota käyttäen. PWM-lähdöille ei ole tässä työssä tarvetta.

Keskeytykset mahdollistavat varsinaisen ohjelman keskeyttämisen, kun ennalta määritelty sisäänvalo muuttaa tilaansa ennalta määritellyllä tavalla. Arduino suorittaa keskeytykselle määritellyn ohjelmakoodin ja palaa sen jälkeen suorittamaan varsinaista ohjelmaansa. Energiamittarissa keskeytyksiä tarvitaan, jotta saadaan mitattua sähkönkulutus mahdollisimman tarkasti.

3.5 Anturit

Työssä tarvitaan antureita eri suureiden mittaamiseen. Mitattavia suureita ovat lämpötila, lämmitysenergia sekä sähköenergia. Lämmitysenergiana käytettävän öljyn kulutus saadaan mitattua tarkkailemalla öljypolttimen magneettiventtiilin aiheuttamaa magneettikentän vaihtelua. Sähkönkulutus saadaan mitattua optisesti sähkömittarista. Seuraavissa kappaleissa esitellään mittauksiin käytettävät anturit.



Kuva 2. Energiamittauslaitteistossa käytettävät anturit: 1) lämpötila-anturi DS18B20, 2) Hall-anturi A1302, 3) reed-putki, 4) LDR-vastus, 5) fotodiodi.

Lämpötilan mittaamiseen on olemassa sekä analogisia että digitaalisia antureita. Tässä työssä käytetään digitaalisia Dallasin DS18B20-lämpötila-antureita (kuva 2, anturi 1). Niiden mittausalue on -55 – $+125$ °C ja tarkkuus $\pm 0,5$ °C alueella -10 – $+85$ °C. Anturit käyttävät tiedonsiirtoon Dallasin 1-wire-protokollaa. [10]

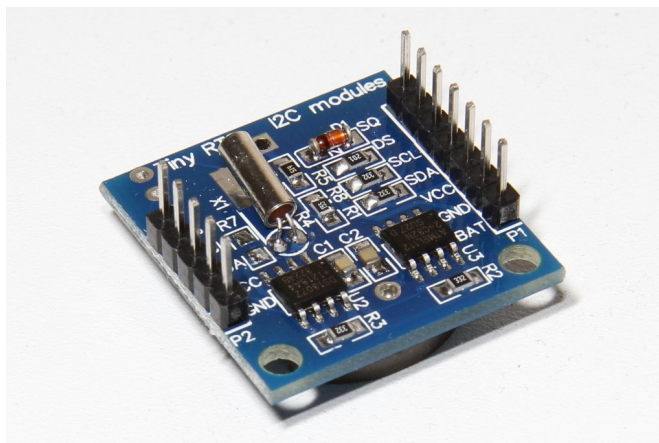
Hall-antureita (kuva 2, anturi 2) käytetään magneettikentän suunnan ja voimakkuuden mittaamiseen. Työssä käytetään Hall-anturia A1302 öljypolttimen magneettiventtiilin toiminnan seuraamiseen. Anturi soveltuu hyvin tarkoitukseen, sillä sen käyttöjännite on $4,5$ – $6,0$ V ja se kestää lämpöä 125 °C:seen saakka. Anturi sisältää elektroniikkaa, joka mittaa magneettikenttää ja muodostaa jännitesignaalin magneettikentän mukaisesti. Jännitesignaali on puolet käyttöjännitteestä, kun anturi ei ole magneettikentän vaikutusalueella. Magneettikentän muuttuessa jännite joko nousee tai laskee magneettikentän suunnasta ja voimakkuudesta riippuen. [11]

Reed-putki (kuva 2, anturi 3) on toinen vaihtoehto magneettikentän mittaamiseksi. Se on yksinkertainen mekaaninen anturi, joka koostuu yleensä noin senttimetrin pituisesta suljetusta lasiputkesta, jonka sisällä on kaksi metallikieltä. NO-tyyppisessä reed-putkessa metallikielet ottavat toisiinsa kiinni kun putki joutuu tarpeeksi voimakkaaseen magneettikenttään. Metallikielten ottaessa toisiinsa kiinni, signaali pääsee kulkemaan reed-putken terminaalista toiseen. [12]

LDR-vastus ja fotodiodeja (kuva 2, anturit 4 ja 5) ovat antureita, joita käytetään valon voimakkuuden mittaamiseen. LDR-vastuksen resistanssi pienenee valon voimakkuuden kasvaessa. Se reagoi valon voimakkuuden muutoksiin hitaasti. [13.] Fotodiodeja on puolijohde, jonka johtavuus estosuunnassa kasvaa, kun valon voimakkuus kasvaa. Yksinkertaistettuna fotodiodeja vastaa toiminnaltaan LDR-vastusta. Kaikista valon voimakkuuden mittaamiseen tarkoitetuista antureista fotodiodeja reagoi nopeasti valon voimakkuuden muutoksiin on pienin. [14.] Työssä LDR-vastuksia ja fotodiodeja käytetään sähkömittarin valojen seuraamiseen.

3.6 Reaaliaikakello DS1307

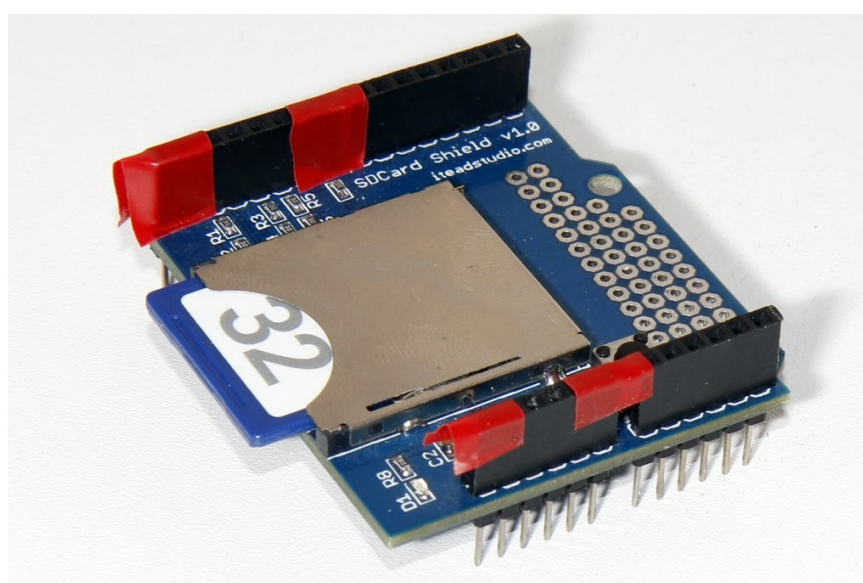
Työssä käytettävä reaaliaikakello DS1307 on erittäin vähän virtaa kuluttava mikropiiri, joka sisältää kello- ja kalenteritoiminnot. Reaaliaikakellon avulla järjestelmä tietää kulloisenkin päivämäärän ja kellonajan. Mikropiiri ilmoittaa ajan sekunnin tarkkuudella ja huomioi automaattisesti esimerkiksi eri pituiset kuukaudet ja karkausvuodet. Piirin virransyöttö on mahdollista varmentaa paristolla, jolloin se pysyy ajassa vaikka käyttöjännite katkeaisikin. Kommunikointi tapahtuu I²C-rajapintaa käyttäen. [15.] Energianmittauslaitteistoa varten ostettiin valmis reaaliaikakellomoduli (kuva 3), joka sisältää piirin vaatimat oheiskomponentit ja on kytkettävissä suoraan Arduinoon.



Kuva 3. Reaaliaikakello DS1307

3.7 SD-muistikortinlukija

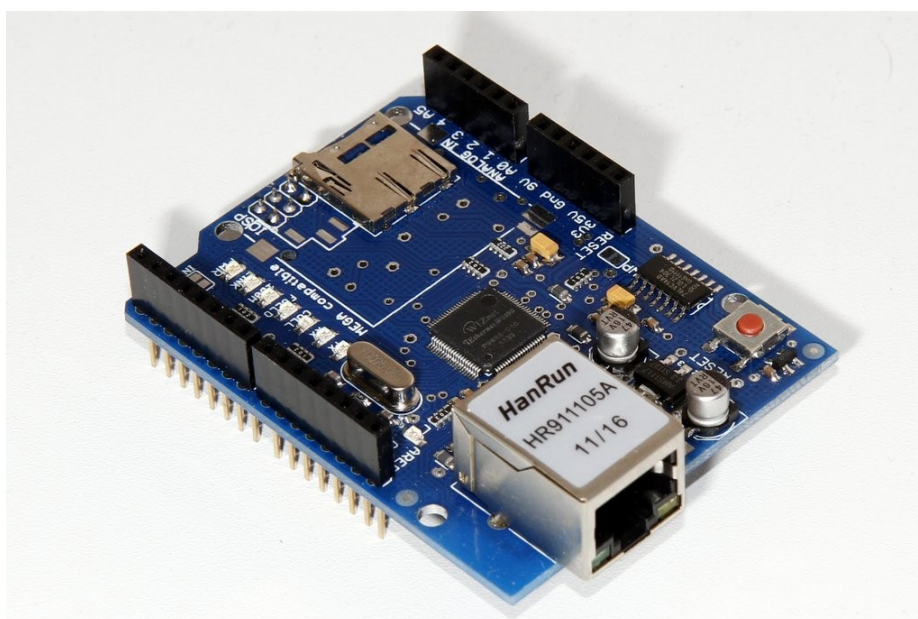
Arduinoon kytkettävä SD-muistikortinlukija (kuva 4) on moduuli, jonka avulla laitteisto voi tallentaa tietoa SD-muistikortille. Moduuli kommunikoi Arduinon kanssa SPI-väylän kautta. Tieto kulkee suoraan Arduinosta muistikorttiin, moduulissa olevat vastukset ainoastaan laskevat jännitetason 3,3 V:iin. Muistikortinlukijan käyttö onnistuu Arduinon ohjelmointiympäristön mukana tulevan kirjaston avulla.



Kuva 4. SD-muistikortinlukijamoduuli.

3.8 Ethernet-moduuli W5100

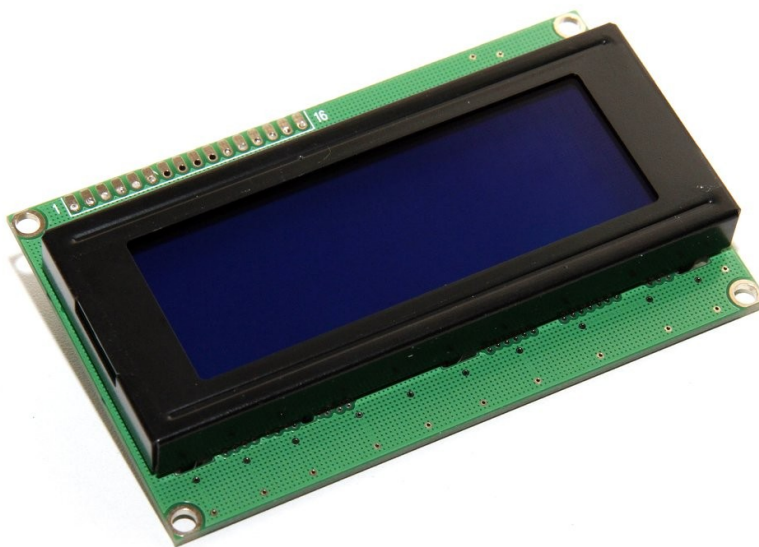
Ethernet-moduuli W5100 (kuva 5) on suoraan Arduinin päälle kytkettävä lisäkortti, jolla saadaan muodostettua yhteys internetiin. Kortti käyttää mikropiiriä Wiznet W5100, joka mahdollistaa enimmillään neljä yhtäaikaista TCP- tai UDP-yhteyttä. Kortissa on standardi RJ45-verkkoliitäntä ja se käyttää SPI-rajapintaa Arduinin kanssa kommunikointiin. [16]



Kuva 5. Ethernet-moduuli W5100

3.9 LCD-näyttö ja sen ohjain

Pienet Hitachi HD44780 -yhteensopivat LCD-näytöt (kuva 6) soveltuvat hyvin yksinkertaisen tiedon esittämiseen. Näyttöjä on olemassa esimerkiksi 2x16- ja 4x20-kokoisina. 4x20-kokoisella näytöllä on neljä riviä, joille kullekin mahtuu 20 merkkiä. Niiden ohjaus Arduinolla tapahtuu kuutta digitaalista ulostuloa käyttäen. LCD-näytöt ovat tyypillisesti taustavalaistuja ja niiden kontrasti on säädettävissä.



Kuva 6. Hitachi HD44780-yhteensopiva LCD-näyttö.

Jotta saadaan säästettyä Arduinon digitaalisia ulostuloja muihin tarpeisiin ja pystytään vähentämään johtojen määrää, LCD-näyttöjen kanssa käytetään usein ohjainkorttia, joka muuntaa näytön rinnakkaismuotoisen liitännän sarjamuotoiseksi. Ohjainkortti kiinnitetään suoraan LCD-näytön pinneihin ja sen avulla näyttö voidaan kytkeä Arduinoon kuuden johdon sijaan kahdella johdolla. Ohjainkortti käyttää I²C-rajapintaa Arduinon kanssa kommunikointiin. Ohjainkortissa on valmiina potentiometri kontrastinsäätöä varten.

4 Toteutus

Mittausjärjestelmän laitteisto toteutettiin rakentamalla ja testaamalla laitteiston eri osat yksitellen ja yhdistämällä niistä toimiva kokonaisuus. Osat testattiin ensin yksitellen Arduino Unossa ennen varsinaiseen mittausjärjestelmään kytkemistä, jotta mahdolliset vikapaikat niin laitteistossa kuin ohjelmistossakin saatiin karsittua mahdollisimman vähiin. Seuraavissa luvuissa kerrotaan eri osien rakentamisesta ja testaamisesta sekä niiden yhdistämisestä kokonaisuudeksi. Lopuksi kerrotaan palvelinympäristön ja selainkäyttöliittymän tekemisestä.

4.1 Arduino ja LCD-näyttö

Mittausjärjestelmän ytimeksi valittiin Arduino Mega 2560. Aluksi harkittiin Arduino Unoa edullisemman hinnan vuoksi, mutta Megan suurempi ohjelmakoodille varattu muistitila ja aiemmat kokemukset Unon muistin täyttymisestä isommissa projekteissa puolsivat Megan valitsemista. Jälkikäteen tarkasteltuna valinta oli oikea, sillä lopullinen ohjelmakoodi kirjastoineen tarvitsee 52 kt tilaa, jota Unossa olisi ollut vain 32 kt.

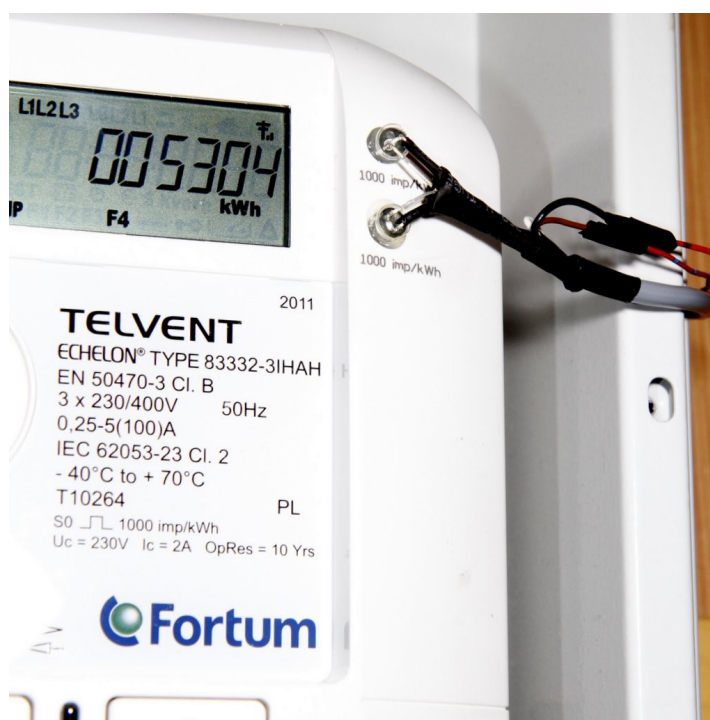
Arduinon muutamista pinneistä vedettiin johdot erilliselle nauhakuparoidulle piirilevylle, johon juotettiin kytkentäräma useamman laitteen kytkemiseksi samoihin pinneihin. Esimerkiksi I²C-väylää käyttäviä moduuleita tulee laitteeseen useita, joten ne olisi hankala kytkeä suoraan Arduinoon. Laitteistolle rakennettiin myös virtalähde samalle piirilevylle. Virtalähde tehtiin viiden voltin jänniteregulaattorista, jonka ympärille kytkettiin muutamia kondensaattoreita jännitettä tasaamaan.

Arduinoon kytkettiin heti LCD-näyttö, jotta vianmääritys moduuleiden lisääntyessä olisi helpompaa. LCD-näytöksi valittiin 4x20-kokoinen sinisellä taustavalolla ja valkoisilla merkeillä varustettu malli. Näyttöön liitettiin ohjainpiiri, jonka avulla se voidaan kytkeä Arduinon I²C-väylään. Väylä on Arduino Megassa eri pinneistä kuin Unossa, jota olin tottunut käyttämään, mikä aiheutti aluksi vääriä kytkentöjä. Lisäksi ohjainpiirille sopivan kirjaston [17] löytäminen oli hankalaa, joten

vianetsintään ja näytön toimintaan saamiseen kului aikaa poikkeuksellisen paljon.

4.2 Antureiden testaus ja kytkentä

Antureiden liittäminen järjestelmään aloitettiin selvittämällä, minkälaiset anturit soveltuvat vaadittujen mittausten suorittamiseen ja rakentamalla tarvittavat muuntopiirit. Antureiden toimintaa tarkkailtiin oskilloskoopilla sekä ylimääräisen Arduino Unon avulla. Arduinoon tehtiin yksinkertainen ohjelma, joka ilmaisi siihen kytketyn LEDin avulla, reagoiko Arduino halutulla tavalla antureiden antamiin signaaleihin.



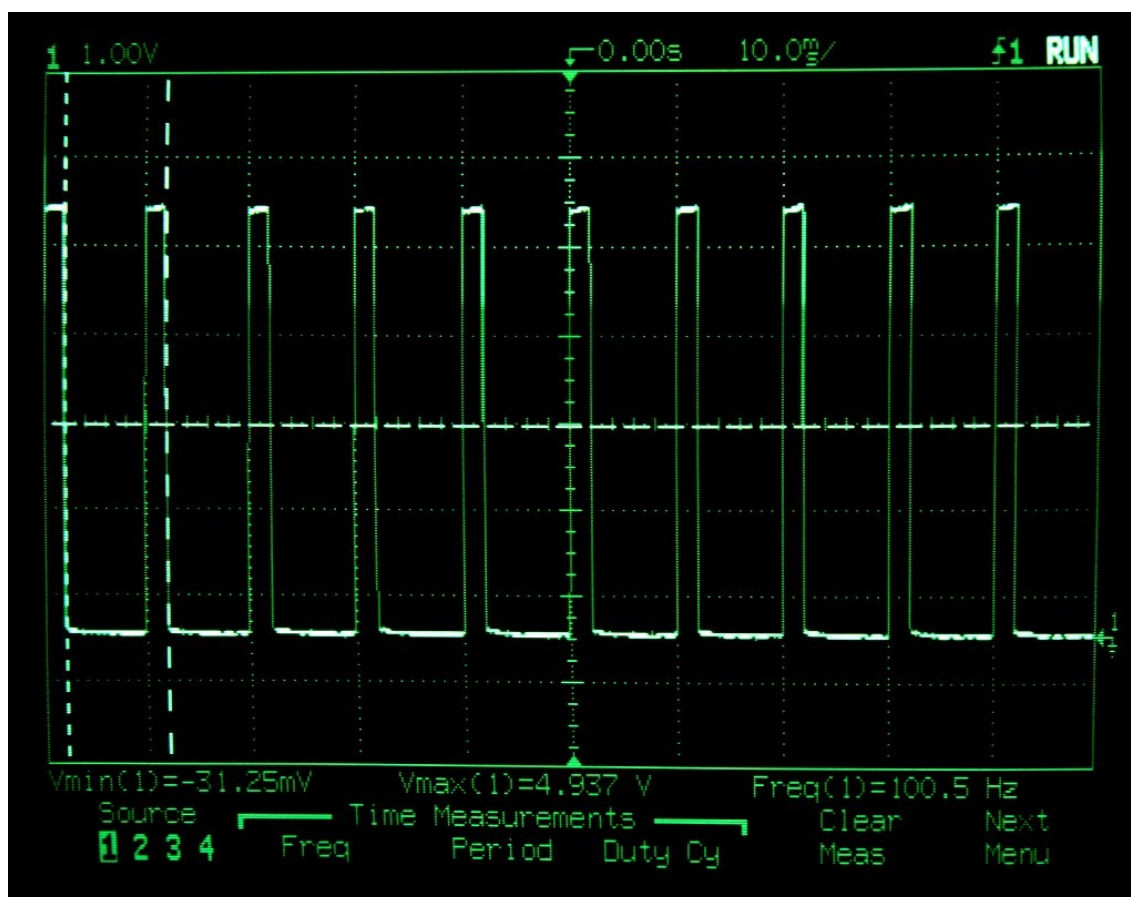
Kuva 7. Fotodiodit sähkömittariin kiinnitettyinä.

Sähköenergian mittaaminen tapahtuu optisesti sähkömittarissa vilkkuvista valoista. Vaihtoehtoina optiseksi antureiksi oli LDR-vastus ja fotodiodi, joista päätettiin käyttää fotodiodeja. Hitaamman reagointiaikansa vuoksi LDR-vastus ei reagoanut sähkömittarissa nopeasti vilkkuviin valoihin. Fotodiodit sopivat myös mekaanisesti hyvin esimerkiksi kiinteistöissä olevan sähkömittarin valojen upotuksiin (kuva 7). Fotodiodit kiinnitettiin sähkömittariin pienellä määrällä kuu-

maliimaa, mikä mahdollistaa myös antureiden vaivattoman ja siistin irrottamisen myöhemmin.

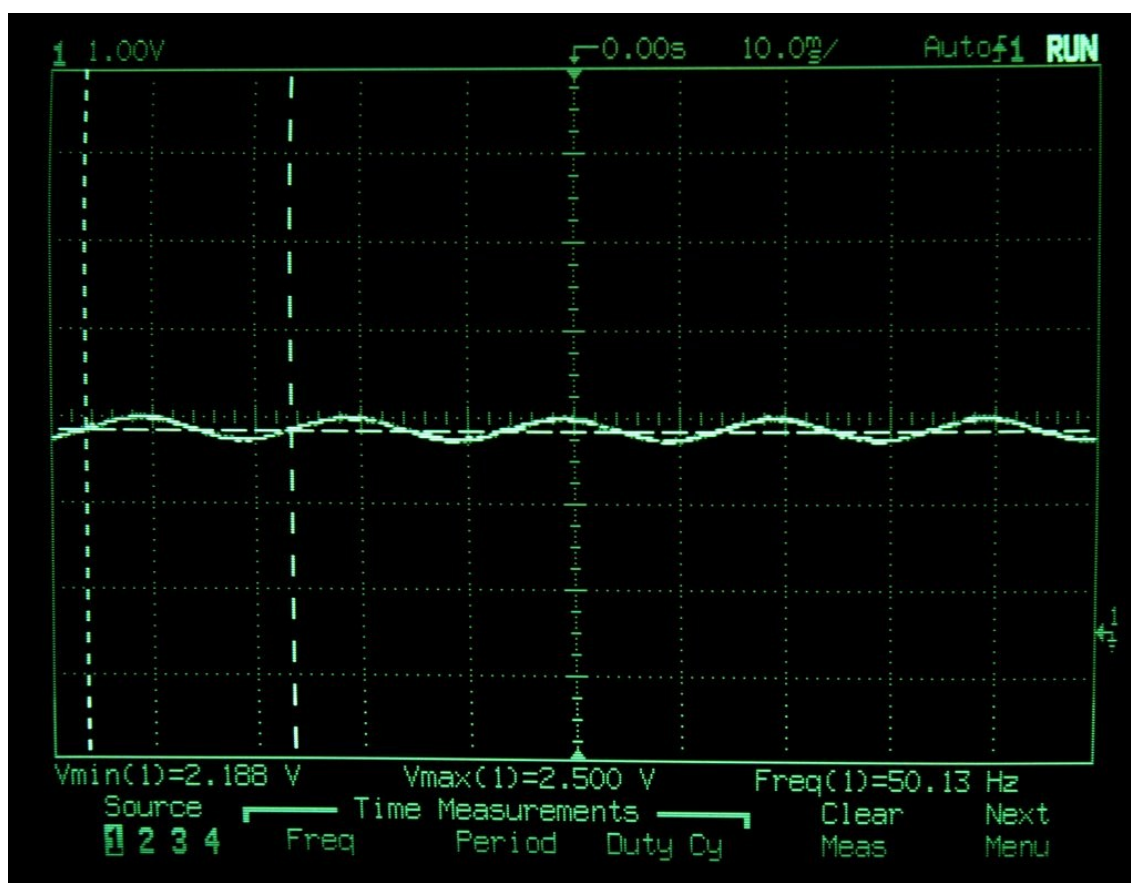
Fotodiodeilta saatava signaali haluttiin siirtää Arduinoon digitaalisesti, jotta Arduinon keskeytyksiä pystyttäisiin hyödyntämään eikä näin ollen yksikään välähdyks jäisi laskematta. Tätä varten rakennettiin muuntopiiri, joka operaatiovahvistimen avulla muuntaa fotodiodeilta tulevan analogisen signaalin digitaalseksi (liite 1). Potentiometrin avulla voidaan säätää muuntopiirin herkkyys. Herkkyys säädettiin sellaiseksi, että muuntopiiri reagoi sähkömittarin valon välähdykseen, mutta ei esimerkiksi huoneen valaistuksen muutoksiin. Muuntopiiri testattiin ensin koekytkentäalustalla, minkä jälkeen se koottiin pysyvästi samalle piirilevyllä virtalähteen kanssa.

Öljypolttimen käyntiajan mittaamiseen on useita eri vaihtoehtoja. Esimerkkikiinteistössä olevasta Oilon Junior Pro -öljypolttimesta on saatavissa 230 V:n signaali, kun poltin on käynnissä. Tätä ei kuitenkaan haluttu hyödyntää, sillä sen kytkeminen mittauslaitteistoon vaatisi sähköpätevyyden eikä mittauslaitteisto olisi enää helposti uusiin ympäristöihin liitettävissä. Lisäksi mittauksen tarkkuus kärsisi, koska polttimesta saatava signaali kytkeytyy jo esituuletuksen aikana ennen varsinaista polttotapahtumaa. Tarkin tieto polttimen käyntiajasta saadaan polttimen magneettiventtiililtä, koska sen auetessa öljy alkaa virrata ja samanaikaisesti palaa.



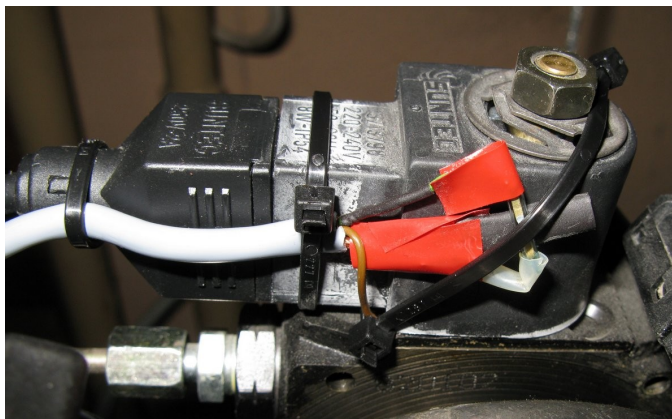
Kuva 8. Reed-putken antama signaali öljypolttimen käydessä.

Magneettiventtiilin vetäessä sen ympärillä oleva magneettikenttä muuttuu. Magneettikentän muutosta kokeiltiin ensin mitata kiinnittämällä magneettiventtiilin kotelon kylkeen mekaaninen reed-putki. Ongelmaksi muodostui kuitenkin se, että vaihtovirralla toimivan magneettiventtiilin ympärillä olevan magneettikentän suunta vaihtuu 50 kertaa sekunnissa. Tämän takia reed-putki kytkee ja irrottaa 100 kertaa sekunnissa (kuva 8), mikä todennäköisesti lyhentää sen elinikää merkittävästi. Reed-putki kytkettiin Arduinon digitaaliseen sisääntuloon ja sille tehtiin ohjelmallisesti viive, joka sallii signaalin katkeamisen 50 kertaa sekunnissa. Reed-putki reagoi täsmällisesti magneettiventtiilin vetäessä, joten siltä saadaan varma tieto polttimen käyntiajasta.



Kuva 9. Hall-anturin antama signaali öljypolttimen käydessä.

Elektroninen ja näin ollen kestävämpi vaihtoehto magneettikentän mittaamiseksi on Hall-anturi. Hall-anturilta saadaan magneettikentän voimakkuuden ja suunnan mukaan vaihteleva jännitesignaali. Hall-anturin antama jännitesignaali on lepotilassa puolet anturin käyttöjännitteestä ja magneettikentän suunnan vaihtuessa se vuorotellen nousee ja laskee (kuva 9). Anturi kytkettiin Arduinon analogiseen sisääntuloon, jolloin sille pystytään ohjelmallisesti määrittelemään jänniterajat, joiden ulkopuolella magneettiventtiilin tiedetään olevan vetäneenä ja öljynpolton olevan käynnissä. Haasteeksi muodostui sopivien jänniterajojen löytäminen, sillä Hall-anturi reagoi polttimen muiden osien aiheuttamaan magneettikenttään jo esituuletuksen aikana antaen häiriösignaalia. Varsinaisen polton alkaessa signaali kuitenkin voimistui sen verran, että polton alkamishetki pystyttiin poimimaan signaalista.



Kuva 10. Hall-anturi ja reed-putki kiinnitettyinä öljypolttimen magneettiventtiin.

Lopulta järjestelmään päädyttiin jättämään molemmat öljypolttimen käyntiaikaa mittaavat anturit (kuva 10), koska reed-putken kestävyyttä jatkuvasti suuntaansa vaihtavassa magneettikentässä halutaan testata. Anturit on kytketty ohjelmallisesti rinnan, eli kumman tahansa anturin antama signaali aloittaa polttimen käyntiajan laskennan.

Lämpötilan mittaus toteutettiin Dallasin DS18B20-antureilla. Niiden tarkkuus on riittävä tähän sovellukseen ja käyttö on helppoa Arduinolle saatavilla olevan kirjaston avulla. Antureita on yhteensä neljä (ulko- ja sisälämpötila sekä lämmitysveden meno- ja paluulämpötila) ja ne on kytketty rinnan samaan kaapeliin. Anturit toimivat niin sanotussa ”parasite power” -tilassa, jolloin niille menee maa-johtimen lisäksi vain datajohdin, jota pitkin anturit saavat myös käyttöjännitteensä. Viiden voltin käyttöjännite syötetään datajohtimeen 4,7 k Ω :n vastuksen kautta. Datajohdin kytkettiin suoraan Arduinon digitaaliseen sisääntuloon.

4.3 Reaaliaikakello ja muistikortinlukija

Reaaliaikakello hankittiin valmiina moduulina, joka sisältää reaaliaikakellopiirin DS1307 sekä siihen liittyvän oheiselektronikan ja paristovarmennuksen. Kello kytkettiin Arduinon I²C-väylään. DS1307-reaaliaikakellon hallintaan on olemassa Arduinolle kirjasto [18], jonka avulla aikatietoja on helppo kirjoittaa ja lukea. Kommunikointi kellon kanssa oli aluksi haasteellista, koska Arduino ei saanut

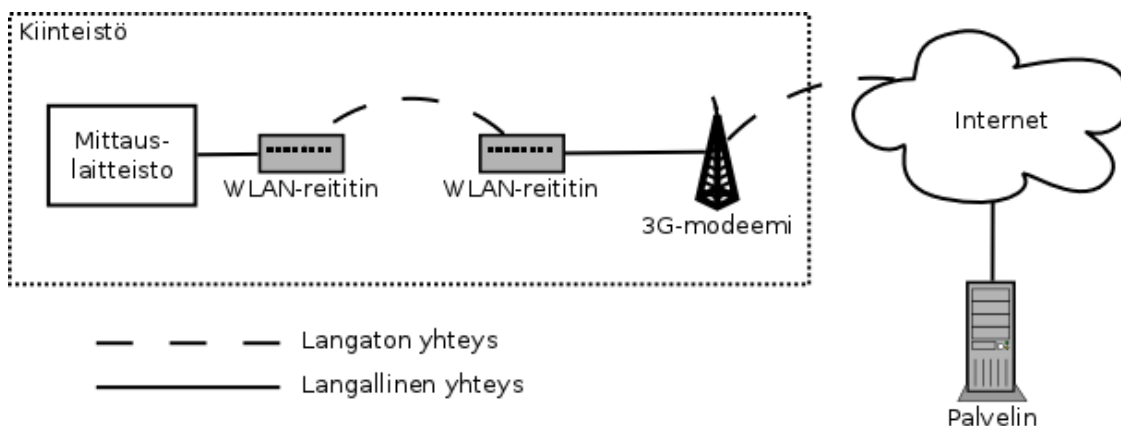
yhteyttä kelloon. Vianetsinnän jälkeen syyksi paljastui kaksi asiaa: reaaliaikakellon aikaa ei ollut asetettu ja varmennusparisto oli tyhjä. Kun viat oli löydetty ja korjattu, ajan asettaminen ja lukeminen sujuivat vaivatta.

SD-muistikortinlukija kytkettiin Arduinon SPI-väylään. SD-kortinlukijaa varten tulee Arduinon ohjelmointiympäristön mukana kirjasto, jonka avulla kaikki tiedostonkäsittelyyn liittyvät perustoiminnot on helppo suorittaa. Kortinlukijan käyttöönotossa oli muutamia ongelmia, joista ensimmäinen oli liian suuri muistikortti. Kirjasto ei tukenut 16 Gt:n muistikorttia, mikä korjattiin ottamalla käyttöön 32 Mt:n kortti. Toinen ongelma oli se, että yhteyttä kortinlukijan ja Arduinon välille ei syntynyt, jos kirjasto yritti muodostaa yhteyden täydellä nopeudella. Kirjasto käyttää oletuksena täyttä nopeutta, ja nopeus täytyy erikseen muuttaa pienemmäksi, jos täysi nopeus ei toimi. Lopulta todettiin, että yhteys saadaan muodostumaan vain neljännesnopeudella kyseisen lukijan, kortin ja kaapeleiden kanssa. Kolmas ongelma kortinlukijan kanssa ilmeni vasta sen jälkeen, kun se oli saatu jollain lailla toimimaan ja tallentamaan määrääjain antureilta saatuja arvoja. SD-kortilla olevat tiedostot korruptoituvat silloin tällöin ja toiminta oli muutenkin epävarmaa. Lopulta, vasta useiden päivien testien ja vianmäärityksen jälkeen, syyksi paljastui kortinlukijan virransaantiongelma. SD-kortti ottaa suhteellisen suuria määriä virtaa pieninä purskeina, kun kortille kirjoitetaan. Ongelma korjaantui, kun kortinlukijaan tulevien virtajohtimien rinnalle kytkettiin 100 μ F:n elektrolyyttikondensaattori tasaamaan virransaantia.

4.4 Ethernet-yhteys

Ethernet-yhteyden avulla laite kytkeytyy internetiin ja sitä kautta palvelimeen, joka tallentaa energiankulutustietoja. Esimerkkikiinteistön internetyhteys muodostetaan langattomasti 3G-tekniikalla. 3G-modeemi on kytkettynä reitittimeen, jossa on langaton WLAN-tukiasema sekä DHCP-palvelin. Mittauslaitteisto sijaitsee noin kymmenen metrin päässä reitittimestä ja Ethernet-kaapelin vetäminen näiden välille olisi ollut hankalaa. Järkevimmäksi vaihtoehdoksi jäi käyttää mittauslaitteiston päässä apuna pientä WLAN-tukiasemaa, joka kytkeytyy langattomasti reitittimeen ja langallisesti mittauslaitteistoon. Näin ollen yhteys mittaus-

laitteistolta internetiin kulkee ensin lyhyen Ethernet-kaapelin kautta WLAN-tukiasemalle, siitä langattomasti noin kymmenen metrin matkan reitittimelle ja 3G-modeemin kautta langattomasti internetiin (kuvio 2).



Kuvio 2. Verkkoyhteys mittauslaitteistolta palvelimelle.

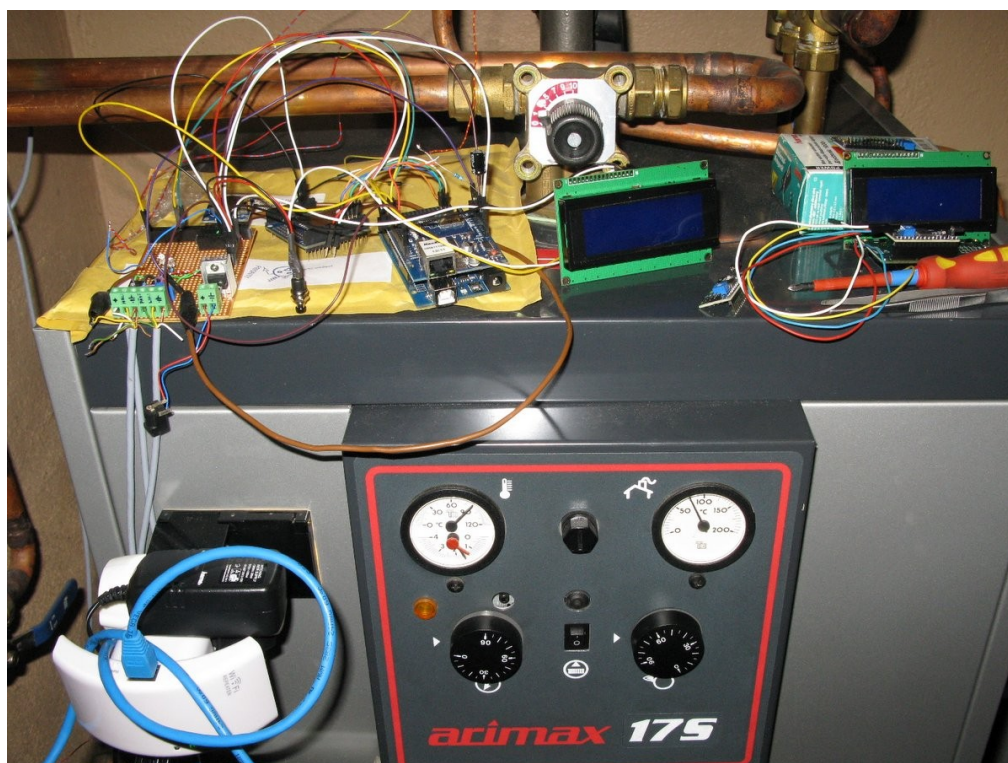
Ethernet-yhteyden muodostamista varten Arduinoon kytkettiin Ethernet-moduuli mallia W5100. Arduinon ohjelmointiympäristön mukana tulee kirjasto, joka tarjoaa perustoiminnot tietoliikenteeseen. Testattaessa moduulia kirjaston esimerkkikoodeja käyttäen internetyhteyden muodostaminen Google-hakukoneen etusivulle toimi hyvin. Internetselaimella käytettävä käyttöliittymä oli tarkoitus tehdä Suomen Hostingpalvelu Oy:n www-palvelimelle, jolle oli valmiiksi olemassa käyttöoikeus ja domain. Yhteyden testaamista varten palvelimelle tehtiin PHP:llä sivu, joka yksinkertaisesti tallentaa sille GET-parametreinä syötetyn datan tekstitiedostoon. Yhteyden muodostaminen ei kuitenkaan onnistunut. Asiaa selvitettiin Arduinon internetfoorumeilta ja ongelma ratkesi siten, että sivupyynnöön lisättiin domain-nimi, johon sivupyynnö kohdistetaan. Vaikka kirjasto muodostaa yhteyden domain-nimen perusteella selvitettyyn IP-osoitteeseen, varsinainen sivupyynnö ei kohdistu oikeaan virtuaalipalvelimeen, ellei domain-nimi ole mainittu myös sivupyynnön alussa.

Kun Ethernet-moduuli kytkettiin varsinaiseen mittauslaitteistoon, alkoivat ongelmat. Ethernet-yhteys alkoi toimia epäluotettavasti ja muistikortille tallennetut tiedostot alkoivat jälleen korruptoitua. Ethernet-moduulin virrankulutuksen pääteltiin olevan melko suuri, koska W5100-piiri lämpenee käytössä kuumaksi. Tästä johtuen myös laitteiston virransyötössä oleva jänniteregulaattori kuumeni huo-

mattavan kuumaksi. Laitteiston virransyöttöön täytyi tehdä muutoksia, jotta kasvanut virrankulutus pystyttiin hallitsemaan. Muuntaja vaihdettiin 12 V:n muuntajasta 7,5 V:n muuntajaksi, jolloin 5 V:n jänniteregulaattori kuumeni vähemmän ja pystyi syöttämään enemmän virtaa. Epävakaas loppui virransaannin parantueksa.

4.5 Laitteiston ohjelmointi

Eri moduulien testaamisen ja yhdistämisen jälkeen alkoi järjestelmän varsinainen ohjelmointi. Koodia oli kertynyt jo tässä vaiheessa melkoisesti kirjastojen ja eri toimintoihin liittyvien apufunktioiden muodossa. Pääperiaatteena on, että laite laskee sähkömittarin valojen välähdyksiä sekä öljypolttimen käyntiaikaa sekunteina ja tallentaa tulokset sekä aikaleiman muistikortille määräajoin. Samalla laskurit nollautuvat ja uusi laskentajakso alkaa. Sopivaksi tallennusväliksi valittiin viisi minuuttia, mutta sitä on mahdollista muuttaa, jos halutaan tarkempia kulutustietoja tai jos pienempi tarkkuus riittää. Laitteisto ottaa yhteyden palvelimeen kymmenen minuutin välein ja siirtää muistikortille tallennetut tiedot tietokantaan. Tarkempi kuvaus ohjelman toiminnasta on liitteessä 2.



Kuva 11. Laitteiston eri osat toisiinsa kytkettyinä testausvaiheessa.

Laitteiston ohjelmointiin liittyi useiden päivien testijaksoja, joiden ajaksi laite jätettiin mittaamaan, tallentamaan ja siirtämään tietoa (kuva 11). Testauksen aikana törmättiin lukuisiin ongelmiin, joiden syiden selvittäminen ja ratkaisujen löytäminen vei paljon aikaa. Ensimmäinen ongelma ilmeni Arduinon jumiutumisenä aina jonkin ajan kuluttua käynnistämisestä. Syy löytyi, kun Arduinon vapaana olevan käyttömuistin määrää tarkkailtiin LCD-näytöltä. Jokainen tiedonsiirto palvelimelle vähensi vapaana olevaa käyttömuistia, kunnes se loppui ja Arduino jumitui. Syynä oli muistivuoto Ethernet-kirjastossa, joka korjattiin päivittämällä kirjasto uusimpaan versioonsa.

Laite hakee IP-osoitteen DHCP:llä joka kerta, kun se muodostaa yhteyden palvelimeen, ellei IP-osoite ole voimassa edellisen yhteyden jäljiltä. Haun aikakatkaistu tapahtuu oletuksena 60 sekunnin kuluttua, ellei IP-osoitetta ole saatu ennen sitä. Näin tapahtuu esimerkiksi silloin, kun verkkokaapeli ei ole kytkettynä tai verkossa on jokin muu häiriö. Haun aikana energiankulutustietojen mittaus ei toimi, vaan Arduino on ikään kuin jumissa. Aikakatkaistu muutettiin Ethernet-kir-

jastoa muokkaamalla 10 sekuntiin, jotta mahdolliset ongelmat verkkoyhteydessä eivät aiheuttaisi turhan pitkää taukoa mittaamiseen.

Erään testijakson aikana laite lopetti tiedonsiirron palvelimelle, mutta Arduino ja verkkoyhteys näyttivät sinällään olevan toiminnassa. Ongelmaa ihmeteltiin pitkään ja kokeiltiin Ethernet-moduulia jopa yksinään Arduino Unoon kytkettynä, mutta ongelma ei poistunut. Vika löytyi sattumalta vasta, kun tietokoneella yritettiin mennä Suomen Hostingpalvelu Oy:n internetsivuille. Tietokonekaan ei saanut yhteyttä Hostingpalveluun, vaikka muut internetsivut toimivat normaalisti. Soitto Hostingpalvelun asiakaspalveluun paljasti, että heidän järjestelmänsä oli estänyt tietoliikenteen kiinteistön käytössä olevasta IP-osoitteesta palvelimelle. Syynä oli se, että laitteisto käytti liian pitkää URL-osoitetta siirtäessään tietoa GET-parametreina. Ilmeisesti verkkoyhteydessä oli aiemmin ollut katkos, minkä takia siirrettävää tietoa oli kertynyt muistikortille tavanomaista enemmän. Tiedonsiirtoa muutettiin siten, että laitteisto lähettää tiedot lyhyissä pätkissä useampaan erään jaettuna, jos siirrettävää tietoa on paljon. Vaihtoehtona mietittiin myös sitä, että mittauslaitteisto ei tekisikään pyyntöjä palvelimelle, vaan olisi itse toiminut palvelimena. Tällöin olisi välttytty tiedonsiirrolta URL-osoitteesta, mutta toisaalta laitteiston olisi pitänyt olla saavutettavissa suoraan internetistä, mikä harvoin on mahdollista. Esimerkkikiinteistön tapauksessa sen esti jo 3G-yhteys, joka on operaattorin NAT:n takana. Paras ratkaisu tiedonsiirtoon olisi käyttää POST-metodia, jolloin URL-osoite ei kasvaisi, vaikka siirrettävää tietoa olisi paljonkin. Tässä tapauksessa päädyttiin kuitenkin käyttämään GET-metodia, koska se oli jo todettu toimivaksi, kunhan URL-osoitteen pituutta tarkkailaan ja tarvittaessa lähetetään tiedot useammassa erässä.

Koska Ethernet-kirjaston mukana tuli valmis esimerkkikoodi internetin NTP- eli aikapalvelinten käyttöön, ominaisuutta päätettiin hyödyntää mittauslaitteistossa. Laitteisto hakee tarkan kellonajan internetistä joka kerta, kun laite käynnistetään, ja tallentaa ajan reaaliaikakelloon. Koska mittausjärjestelmään kuuluva www-palvelin noutaa myös tarkan ajan NTP-palvelimelta, laitteisto ja www-palvelin pysyvät täsmälleen samassa ajassa.

Ajatuksena oli, että laitteeseen tulevilla painikkeilla voisi vaihtaa LCD-näytöllä näkyviä tietoja sekä suorittaa muutamia yksinkertaisia toimenpiteitä, kuten kertoa järjestelmälle, jos öljyä on lisätty öljysäiliöön. Käyttöliittymän toteuttamiseksi testattiin ensin valmiita Arduinolle tehtyjä kirjastoja, joiden avulla voi tehdä painikkeilla selattavia valikoita. Yksikään valmiista kirjastoista ei kuitenkaan sopinut kunnolla tähän tarkoitukseen. Kirjastot olivat joko liian monimutkaisia tai vaikeaselkoisia suhteellisen yksinkertaisen käyttöliittymän toteuttamiseen, joten käyttöliittymä ohjelmoitiin itse.

Laitteiston käyttöliittymän rakenne näkyy liitteessä 3. Se koostuu seitsemästä näyttötilasta, joita vaihdetaan painamalla ylös tai alas. Oikealle painamalla siirytään valikossa seuraavalle tasolle tai hyväksytään valinta ja vasemmalle painamalla voidaan palata takaisin. Lisättävä öljymäärä ja näytön taustavalon viive valitaan kyseisissä valikoissa painamalla ylös tai alas ja hyväksytään painamalla oikealle. Vasemmalle painaminen sen sijaan kumoaa valinnan.

4.6 Palvelin

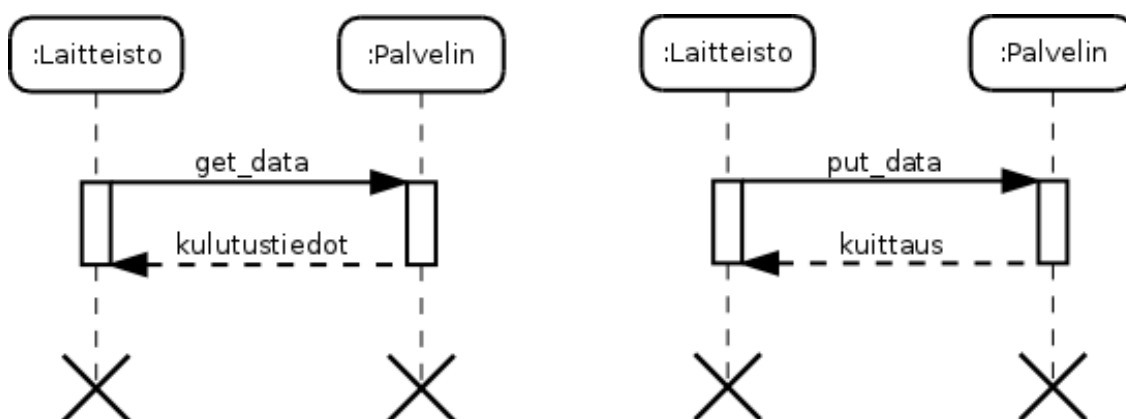
Energianmittausjärjestelmän palvelinympäristö pitää sisällään PHP-tuella varustetun www-palvelimen, johon käyttäjä voi ottaa yhteyden internetselaimella. Www-palvelin vastaa myös tiedonsiirrosta laitteiston ja tietokannan välillä sekä tekee laskennat ja muunnokset, joita tarvitaan tiedon hyödyntämiseksi. Palvelinympäristöön kuuluu myös tietokantapalvelin, johon energiankulutustiedot tallennetaan.

Aluksi palvelinympäristö sijaitsi Suomen Hostingpalvelu Oy:n palvelimella, mutta se päätettiin siirtää omalle palvelimelle vianmäärityksen helpottamiseksi. Palvelinympäristöä varten luotiin virtuaalipalvelin kotonani olevalle tietokoneelle, jolla sijaitsee muitakin palvelimia. Virtuaalipalvelimelle asennettiin CentOS 6.3 -Linux-jakelu, joka on tarkoitettu erityisesti palvelinkäyttöön ja se sisältää valmiiksi Apache-www-palvelimen sekä MySQL-tietokantapalvelimen. Energianmittausjärjestelmää varten varattiin ilmainen domainnimi energiamittari.dy.fi, joka ohjattiin virtuaalipalvelimelle.

Laitteiston ja palvelimen kommunikointia varten ohjelmoitiin rajapinta, joka on käytännössä yksi PHP-tiedosto, johon laitteisto ottaa yhteyden siirtäessään tietoa. Laitteisto ottaa yhteyden rajapintaan osoitteessa <http://energiamittari.dy.fi/em/interface.php>. Pyynnön parametreista (taulukko 3) riippuen rajapinta tietää, onko laitteistolta tulossa tietoa, joka täytyy tallentaa tietokantaan vai haluaako laitteisto noutaa kulutustietoja tietokannasta. Rajapinnan kanssa kommunikoidessaan laitteisto käyttää yksilöllistä tunnistetta, joka muodostuu viidestätoista satunnaisesta merkistä. Tämän avulla on mahdollista tulevaisuudessa yksilöidä eri kiinteistöissä olevat mittauslaitteistot. Kuvio 3 esittää, kuinka tiedonsiirto laitteiston ja palvelimen välillä tapahtuu.

Taulukko 3. Rajapinnan <http://energiamittari.dy.fi/em/interface.php> hyväksymät GET-parametrit.

Parametri	Kuvaus
get_data	Ilmaisee, että tietokannasta halutaan noutaa tietoa. Paluuviestinä saadaan edellisen vuorokauden ja edellisen viikon kulutustiedot sekä tieto jäljellä olevan öljyn määrästä.
put_data= BTIME:{aloitus aika}! TIME:{lopetusaika}! A:{pätöteho}! R:{loisteho}! H:{öljypolttimen käyntiaika}! T0:{lämpötila 1}! T1:{lämpötila 2}! T2:{lämpötila 3}! T3:{lämpötila 4}! RAM:{vapaa muisti}! ADDOIL:{öljyn määrä}!	Ilmaisee, että tietokantaan tallennetaan tietoa. Parametrin arvona annetaan siirrettävän tallennusjakson tiedot. Useampi tallennusjakso voidaan siirtää kerralla, kun eri jaksojen tiedot erotetaan toisistaan alaviivalla. Paluuviestinä saadaan kuittaus, jos tallennus on onnistunut.
user={tunniste}	Laitteiston yksilöivä tunniste.



Kuvio 3. Sekvenssikaavio laitteiston ja palvelimen välisestä tiedonsiirrosta.

Laitteiston lähettämät tiedot tallennetaan tietokantaan sellaisenaan, eli tietokannasta löytyy sähkömittarin valon välähdysten lukumäärä, öljypolttimen käyntiaika sekunteina sekä lämpötilat celsiusasteina. Tietokantaan tallennetaan myös aikaväli, jolta kyseiset arvot on mitattu. Raakatiedon tallentamiseen päädyttiin, jotta tieto olisi tulevaisuudessa mahdollisimman monipuolisesti hyödynnettävissä. Jos mittauslaitteisto on ollut poissa toiminnasta ja osa tiedoista puuttuu, palvelin arvioi kulutuksen laskemalla keskiarvon puuttuvia tietoja edeltävältä ajalta. Tämän ansiosta voidaan edelleen vertailla esimerkiksi kuukausikulutuksia keskenään, eikä jonkin kuukauden kulutus jää pienemmäksi sen takia, että laitteisto on ollut pois päältä. Tietokannassa olevien tietojen hyödyntäminen onnistuu helposti käyttäen apufunktioita, jotka muuttavat valittuna aikana tallennetut tiedot kilowattitunneiksi ja öljylitroiksi.

Internetselaimella käytettävän käyttöliittymän teko aloitettiin sivupohjan valmistelulla. Aiemmissa projekteissa käyttämäni sivupohja saatiin muokattua pienellä vaivalla energianmittausjärjestelmään sopivaksi. Sivustolle luotiin vielä uusi ulkoasu, minkä jälkeen alettiin suunnitella kulutustietojen esittämistä sivuilla. Muutamien testien jälkeen tarkoitukseen sopivimmaksi työkaluksi valittiin Google Chart Tools. Se on Googlen ylläpitämä vapaa palvelu, jolla kuvaajien piirtäminen on tehokasta ja yksinkertaista. Sivulle tarvitsee lisätä vain JavaScript-koodi, jolle annetaan kuvaajan arvot, tässä tapauksessa kulutustiedot, ja Googlen palvelin tuottaa arvojen mukaisen kuvaajan sivulla esitettäväksi. Kuvaajan ominaisuudet on muokattavissa monipuolisesti. Kuvaaja sisältää myös interaktiivisia osia, kuten esimerkiksi viemällä hiiren kuvaajan päälle ilmestyy näkyviin kyseisen pisteen tarkat arvot. [19.] Sivulle tehtiin valintakentät, joiden avulla voidaan valita, miltä aikaväliltä, millä tarkkuudella ja mitä tietoja halutaan piirtää kuvaajaan. Aikavälin valintaa helpottamaan käytettiin valmista JavaScript-kirjastoa, joka tekstikentän aktivoituessa avaa kalenterinäköymän [20].

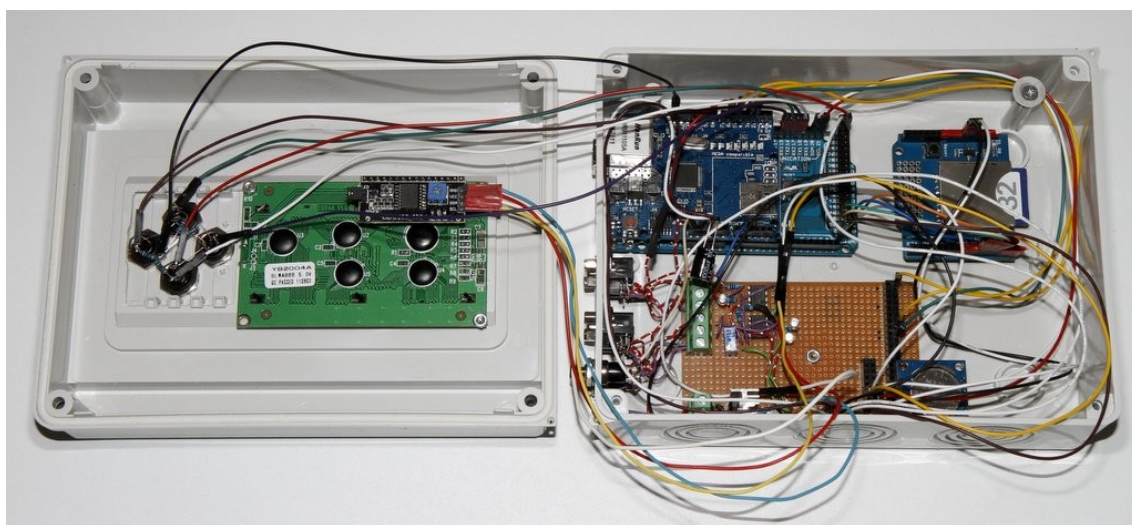
Käyttöliittymä vaatii käyttäjätunnuksen ja salasanan syöttämisen ennen kuin kulutustietoja päästään näkemään. Tietoturvan takia salasanaa ei tallenneta selväkielisenä tietokantaan, vaan siitä luodaan tarkistussumma. Tarkistussummaa laskettaessa on varsinaisen salasanan lisäksi käytetty niin sanottua suolaa,

mikä estää salasanan murtamisen taulukointihyökkäyksellä. Käyttäjän on mahdollista vaihtaa salasana käyttöliittymän kautta.

Selainkäyttöliittymän ja mittauslaitteiston kautta on mahdollista tallentaa tietokantaan tieto siitä, jos öljysäiliöön on lisätty öljyä. Yhdistämällä tämän tiedon kulutustietoihin järjestelmä laskee, paljonko öljysäiliössä on öljyä jäljellä. Järjestelmä yrittää myös karkeasti arvioida, milloin öljyä pitäisi seuraavan kerran lisätä. Arvio perustuu keskilukulutukseen edellisen vuoden ajalta, eikä huomioi esimerkiksi ulkolämpötilan vaikutusta öljynkulutukseen eri vuodenaikoina.

4.7 Kotelointi ja johdotus

Laitteiston kotelointia varten ostettiin pieni kojekotelo. Kotelossa on läpinäkyvä avattava luukku, jonka alla ovat LCD-näyttö ja käyttöpainikkeet. Koteloon tehtiin aukot Arduinin ohjelmointiportille sekä Ethernet-portille. Virransyöttö tapahtuu koteloon asennetun yleisesti käytetyn, sylinterinmallisen DC-liittimen kautta, ja antureiden johdot kytketään koteloon DE-9-liittimillä. Kotelo oli alun perin IP65-luokiteltu, eli täydellisen pölytiivis ja miltä tahansa suunnalta tulevan vesiruiskun kestävä, mutta luokitus ei luonnollisesti päde enää läpivientien tekemisen jälkeen. (Kuva 12)



Kuva 12. Mittauslaitteiston kotelo avattuna.

Antureiden johdotukseen käytettiin viisijohtimista häiriösuojattua asennuskaapelia. Antureiden johdot vedettiin mahdollisimman lyhyttä reittiä huomioiden asennuksen siisteys ja helppous. Sisä- ja ulkolämpötila-anturit johdotettiin käyttäen ohutta kaapeliparia, jotta asennuksesta saatiin huomaamattomampi.

4.8 Testaus

Mittauslaitteiston neljä painiketta ja LCD-näytön sisältävän käyttöliittymän testaus tehtiin kokeilemalla eri painikkeiden toiminta kaikissa mahdollisissa tilanteissa. Koska käyttöliittymä on erittäin yksinkertainen, se oli onnistuttu saamaan virheettömäksi jo ohjelmointivaiheessa. Painikkeet toimivat loogisesti eikä virheitöimintoja löytynyt.

Laitteiston ja tiedonsiirron toimintaan liittyy lukuisia tilanteita, jotka saattavat syntyä esimerkiksi sähkökatkon, tietoliikennevian tai käyttäjän virheen vuoksi. Laitteistolle suoritettiin testejä, joissa testattiin vikatilanteita, joiden katsottiin olevan järjestelmän luotettavan toiminnan kannalta olennaisia. Testatessa tilanteet luotiin keinotekoisesti ja katsottiin, kuinka laite niistä selviytyy. Tarvittaessa laitteistoon tehtiin muutoksia, jotta vikatilanteesta selviäminen tapahtuisi toivotulla tavalla. Testatut vikatilanteet, testaustavat sekä tulokset on nähtävissä liitteessä 4.

Laitteistoa testattiin pisimmillään kaksi viikkoa ilman uudelleenkäynnistystä, eikä toiminnassa havaittu häiriöitä. Laitteiston mittaamia sähkönkulutuslukemia verrattiin Fortum Valpas -internetpalvelusta saatuun kiinteistön todelliseen sähkönkulutukseen. Vertailun perusteella (taulukko 4) voidaan todeta, että laitteiston mittaamat kulutusarvot ovat tarkkoja.

Taulukko 4. Sähkönkulutuksen vertailu Fortum Valpas -palvelun ja energianmittausjärjestelmän välillä.

	Fortum Valpas -palvelu	Energianmittausjärjestelmä
1.4.2013	7,56 kWh	7,52 kWh
2.4.2013	7,25 kWh	7,28 kWh
3.4.2013	14,72 kWh	14,05 kWh
4.4.2013	14,75 kWh	15,43 kWh
5.4.2013	7,86 kWh	7,88 kWh
6.4.2013	16,66 kWh	16,66 kWh
7.4.2013	10,86 kWh	10,88 kWh
8.4.2013	8,37 kWh	8,36 kWh
9.4.2013	8,37 kWh	8,40 kWh
10.4.2013	10,09 kWh	10,09 kWh
11.4.2013	7,73 kWh	7,77 kWh
12.4.2013	7,91 kWh	7,90 kWh
13.4.2013	21,26 kWh	21,26 kWh
14.4.2013	9,32 kWh	9,32 kWh
15.4.2013	7,73 kWh	7,75 kWh
16.4.2013	7,05 kWh	7,06 kWh
17.4.2013	8,71 kWh	8,71 kWh
Yhteensä	176,20 kWh	176,32 kWh

Selainkäyttöliittymä pyrittiin luomaan jo alusta alkaen sellaiseksi, ettei käyttäjä pysty syöttämään sinne virheellisiä arvoja tai tekemään virheellisiä valintoja. Lä-hinnä testattavaksi jäi kulutustietojen aikavälin valintaan, öljyn lisäykseen sekä salasanan vaihtoon käytettävät tekstikentät. Päivämäärien valintaan käytetty JavaScript-kirjasto käsittelee virheelliset päivämäärät tehden niihin korjauksia, jos mahdollista (esimerkiksi 30.2.2013 muuttui muotoon 2.3.2013) tai jos korjaaminen ei ole mahdollista, päivämääräksi vaihtuu 1.1.1970. Öljyn lisäämiseen käytetty tekstikenttä käsitellään PHP:llä siten, että se hyväksyy vain kokonaislukuja väliltä 1-10000. Muunlaiset syötteet aiheuttavat virheilmoituksen. Salasanan vaihtoon käytetty tekstikenttä hyväksyy vain numeroita, kirjaimia ja ennalta määrättyjä erikoismerkkejä. Muunlaiset syötteet aiheuttavat virheilmoituksen. Kaikki GET- ja POST-metodeilla siirretyt tiedot tutkitaan mahdollisten tietokantahyökkäysten varalta poistamalla niistä heitto-, lainaus- ynnä muut haitalliset merkit ennen tietojen käyttöä. Kaikki tekstikentät testattiin erilaisilla syötteillä, eikä ongelmia ilmennyt.

5 Tulokset

Tässä luvussa esitellään niitä tuloksia, joihin energianmittausjärjestelmän eri osa-alueiden toteutus on johtanut. Tuloksena on syntynyt toimiva mittausjärjestelmä, josta käyttäjälle näkyvimät osat ovat mittauslaitteisto ja selainkäyttöliittymä. Järjestelmän taustalla on lisäksi käyttäjälle näkymätön tietokanta sekä tiedonsiirtoyhteys laitteiston ja palvelimen välillä.

Mittauslaitteistosta syntyi sekä toiminnallisesti että ulkonäöllisesti laadukas tuote. Se sisältää järjestelmän perustoiminnan kannalta kaikki olennaiset osat, laitteet ja toiminnot. Laitteisto mittaa sähkön- ja öljynkulutusta, tallentaa tietoja paikallisesti muistikortille ja siirtää tietoja määräajoin palvelimelle internetyhteyden kautta. Kulutustietojen mittaamisen todettiin tapahtuvan riittäväällä tarkkuudella ja luotettavasti. Laitteiston LCD-näytöltä on nähtävissä reaaliaikainen sähkönkulutus, sähkön- ja öljynkulutus viimeisimmän vuorokauden ja viikon ajalta, lämpötilat sekä jäljellä olevan öljyn määrä. Painikkeilla pystyy selaamaan eri näyttötietojen välillä sekä kertomaan järjestelmälle, jos öljyä on lisätty öljysäiliöön.

Laitteiston käyttöliittymä on yksinkertainen ja selkeä, mihin esimerkkikiinteistön omistaja on erityisen tyytyväinen. Erityismaininta tuli myös laitteiston siististä ulkonäöstä (kuvat 13 ja 14) ja huomaamattomasta liittämisestä ympäristöön. Kotelointi ei ole vedenkestävä, mikä ei mittauslaitteiston ympäristö huomioon ottaen ole ongelma. Koska johdot on kytketty laitteistoon pikaliittimillä, sen huolto on helppoa.



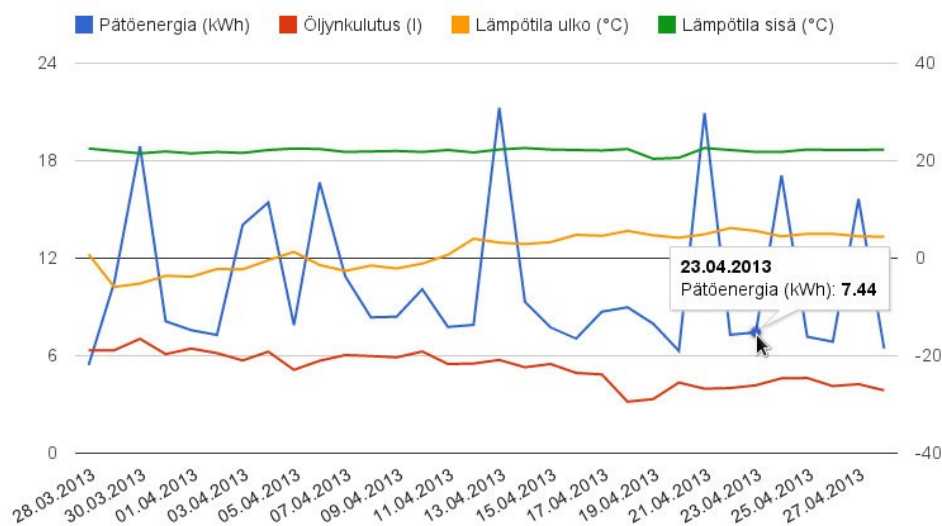
Kuva 13. Mittauslaitteisto koteloituna.



Kuva 14. Mittauslaitteisto paikoillaan lämmityskattilan päällä. Kuvan alalaidassa näkyy WLAN-reititin.

Selainkäyttöliittymä mahdollistaa mittaustietojen laajan hyödyntämisen. Valitusta tiedosta voidaan piirtää kuvaaja halutulla tarkkuudella ja aikavälillä. Kuvaaja voidaan piirtää tunnin, päivän, kuukauden tai vuoden tarkkuudella. Lisäksi voidaan tarkastella keskimääräisiä kulutustietoja viikonpäivittäin tai tunneittain halutulla aikavälillä. Selainkäyttöliittymän käyttöä helpottamaan ja nopeuttamaan tehtiin pikapainikkeet, joiden avulla voidaan tarkastella esimerkiksi edellisen viikon, edellisen kuukauden tai edellisen vuoden kulutustietoja järkevällä tarkkuudella vain yhtä painiketta painamalla. Google Chart Tools -palvelun ansiosta kuvaajat näyttävät tyylikkäiltä ja ovat informatiivisia. (Kuva 15)

Kulutustiedot



Pikavalinnat: [Edellinen vuorokausi](#) | [Edellinen viikko](#) | [Edellinen kuukausi](#) | [Edellinen vuosi](#)

Mistä mihin Päivittäin ▼ Päivitä

- Pätöenergia
- Loisenergia
- Öljynkulutus
- Lämpötila "ulko"
- Lämpötila "sisä"
- Lämpötila "meno"
- Lämpötila "paluu"

Kuva 15. Energianmittausjärjestelmän selainkäyttöliittymä.

Koska selainkäyttöliittymään on pääsy internetistä, sen toteutuksessa on huomioitu myös turvallisuus. Selainkäyttöliittymään pääsy vaatii käyttäjätunnuksen ja salasanan, jotka on tallennettu asianmukaisesti suojattuna tietokantaan. Kaik-

ki käyttäjän syöttämä informaatio tarkastetaan ennen tietokantakutsujen tekoa, jolloin tietokantahyökkäyksen mahdollisuus on pieni.

6 Jatkokehitysmahdollisuudet

Energianmittausjärjestelmä täyttää opinnäytetyön alussa esitetyn vaatimusmäärittelyn ja se sopii sähkön- ja öljynkulutuksen mittaamiseen jo nykyisellään. Kuitenkin, jos sitä alettaisiin kehittää kaupalliseksi tuotteeksi, se vaatisi vielä huomattavan määrän kehittämistä ja testaamista. Järjestelmää tulisi laajentaa, jotta siitä olisi hyötyä suuremmalle käyttäjäryhmälle. Seuraavissa kappaleissa käsitellään järjestelmän jatkokehitysmahdollisuuksia.

Tullakseen kaupallisesti menestyväksi tuotteeksi laitteistolla tulisi pystyä mittaamaan öljyn lisäksi muitakin lämmitysenergiamuotoja, kuten kaukolämpöä ja aurinkoenergiaa. Aurinkokeräimiä käytetään jo melko yleisesti esimerkiksi öljylämmityksen ohessa. Aurinkokeräimien tuottama energia olisi hyödyllistä saada mitattua, ja mittaustieto kiinnostaisi varmasti monia kuluttajia. Mittaamalla voitaisiin todistaa saavutettu säästö, mikä kannustaisi mahdollisesti uusia kuluttajia siirtymään uusiutuvien energiamuotojen käyttäjiksi. Energiankulutuksen lisäksi laitteistolla voisi jatkossa mitata vedenkulutusta.

Kuluttajia kiinnostanee ennen kaikkea energiankulutuksen aiheuttamat kustannukset. Kustannusten seuranta olisi melko yksinkertainen laajennus nykyiseen järjestelmään. Palvelimen voisi ohjelmoida jopa automaattisesti noutamaan ajantasaiset energianhinnat internetistä ja ne voitaisiin esittää laitteiston LCD-näytöllä.

Kulutustietoja voitaisiin hyödyntää lukuisiin muihinkin tarkoituksiin, kuin vain esittää sellaisenaan ja laskea niistä kustannuksia. Tällä hetkellä järjestelmä laskee öljysäiliössä olevan öljyn määrän kulutuksen perusteella. Jatkossa voisi esimerkiksi ennustaa energiankulutusta toteutuneen kulutuksen ja sääennusteen perusteella. Myös lämmitysjärjestelmän ohjaaminen mittaustulosten tai ennus-

teen perusteella olisi mahdollista. Esimerkiksi lämmitysmuotoa voitaisiin vaihtaa kulloisinkin tilanteen kannalta edullisimmaksi, jos käytössä on useita eri energianlähteitä.

Kaupallisen tuotteen tietoturvaa ja tiedonsiirtoa täytyisi kehittää. Tiedonsiirron tietoturvaa voisi parantaa käyttämällä jonkinlaista vaihtuvaa tunnistetta ja salausta. Jos tiedonsiirto laitteiston ja palvelimen välillä lisääntyisi, tiedonsiirtotapoja olisi hyvä miettiä uudelleen. Yksi vaihtoehto voisi olla esimerkiksi ns. REST-teknologia, jonka avulla tiedonsiirto järjestelmän eri osien välillä olisi loogista ja yksinkertaista [21]. Omat haasteensa kaupallisen tuotteen kehittelyyn toisi myös mittauslaitteistojen kasvava määrä ja niiden muodostamien kutsujen käsittely palvelimella.

Järjestelmää rakennettaessa mieleen tuli lukuisia ominaisuuksia, jotka olisi ollut kohtuullisen helppo toteuttaa järjestelmään. Laitteistoon voisi tehdä enemmän käyttäjän muutettavissa olevia asetuksia, kuten tietojen tallennuksen ja tiedonsiirron aikavälien valinnan. Laitteistoon voisi tehdä myös hälytyspiirin, joka ilmaisee valolla ja äänellä, kun öljysäiliö alkaa olla tyhjä. Vastaavasti palvelin voisi lähettää tässä tilanteessa hälytyksen sähköpostilla. Nämä ominaisuudet jäivät toteuttamatta opinnäytetyön laajuuden ja käytettävissä olevan ajan takia, mutta tultaneen toteuttamaan järjestelmään myöhemmin.

Prototyypin rakentamisesta aiheutuneet kustannukset on nähtävissä taulukosta 5. Kustannuksissa ei ole huomioitu palvelimen hankintaa, koska palvelin oli jo ennestään olemassa muita tarkoituksia varten. Yhteen palvelimeen voisi liittää todennäköisesti tuhansia laitteita. Kaapelointeihin käytettiin vanhoista asennuksista purettuja kaapeleita. Kaupallisen tuotteen valmistuskustannukset tippuivat merkittävästi isompien erien johdosta.

Taulukko 5. Energianmittausjärjestelmän prototyypin kustannukset.

Tuote	Hinta, €
Arduino Mega 2560	32
Ethernet-moduuli W5100	29
SD-muistikortinlukija	9
Reaaliaikakello DS1307	7
Sekalaiset komponentit ja tarvikkeet (virtalähde, muunnospöirit)	10
Sisäiset johdotukset dupont-kaapeleilla	10
Anturit (Hall, reed, fotodiodi 2 kpl, DS18B20 4 kpl)	17
LCD-näyttö 4x20 merkkiä	13
LCD-näytön ohjainpiiri	6
Liittimet DB9-pari 2 kpl, DC	5
Painikkeet 4 kpl	4
Kotelo	13
WLAN-reititin	25
Muuntaja 230 V -> 7,5 V	8
Yhteensä	188

7 Pohdinta

Energiankulutuksen mittaaminen ja sen avulla saavutettava säästö ovat ajankohtaisia aiheita, kun maailman energiankulutusta pyritään pienentämään. Sähköyhtiöt ovat siirtymässä etäluettaviin mittareihin, joilla sähkökulutusta voidaan mitata yhä tarkemmin. Käyttäjille tarjotaan internetin kautta käytettäviä käyttöliittymiä, joilla omaa sähkönkulutusta voidaan seurata. Kokonaisenergiankulutuksen mittaaminen pienkiinteistöissä, jonka lämmittämiseen ei käytetä sähköä, vaatii kuitenkin erilaisen mittauslaitteiston, jollaista ei Suomen markkinoilla toistaiseksi ole. Opinnäytetyönä toteutettu mittausjärjestelmän prototyyppi soveltuu juuri tähän tarkoitukseen.

Energianmittausjärjestelmästä on ollut hyötyä järjestelmän käyttäjälle. Käyttäjä on pystynyt seuraamaan öljynkulutuksen pienentymistä kevään edistyessä ja ulkolämpötilan noustessa. Sisälämpötilan muuttamisen on havaittu vaikuttavan merkittävästi öljynkulutukseen. Sähkösaunan lämmittäminen näkyy selainkäyt-

töliittymässä isona piikkinä verrattuna normaalin sähkönkulutukseen, mikä on auttanut käyttäjää hahmottamaan saunomisen osuutta sähkönkulutuksesta. Jäljellä olevan öljyn määrän seuraaminen on myös ollut kiinnostavaa ja hyödyllistä, koska aiemmin sen seuraaminen on ollut hankalaa. Lähiaikoina lämmitysjärjestelmään tullaan asentamaan automaattinen lämpötilansäädin, joka säättää patteriverkostossa kiertävän veden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan. Säätimen vaikutusta veden lämpötilaan ja öljynkulutukseen on mahdollista seurata energianmittausjärjestelmän avulla.

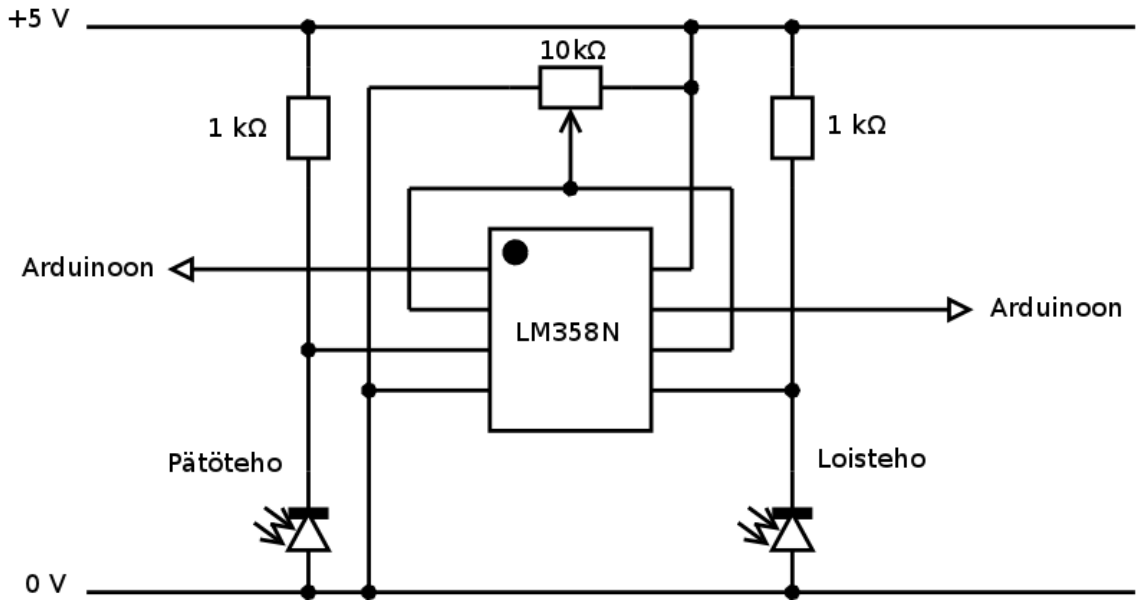
Kaikkiaan järjestelmän rakentaminen oli haasteellinen, mutta erittäin mielenkiintoinen, opettavainen ja palkitseva kokemus. Ympäristönä Arduino oli minulle ennestään tuttu, mutta näin laajan laitteiston toteuttaminen sillä opetti vielä paljon uutta. Koska Arduino on kehityskäyttöön tarkoitettu järjestelmä ja sen kehittäminen perustuu pitkälti vapaaehtoisuuteen, sen moduulit ja toimivuus eivät ole aina hyvin dokumentoituja eivätkä välttämättä toimi odotetulla tavalla. Tämä aiheutti paljon työtä, koska järjestelmiin täytyi usein tutustua itse pintaa syvemältä ja etsiä muiden käyttäjien kokemuksia internetistä. Usein ratkaisu ongelmiin löytyi vasta usean yrityksen ja erehdyksen kautta. Fyysisen maailman, elektroniikan, ohjelmiston, tietoverkkojen ja palvelinympäristön yhteensovittaminen ei liene ikinä ongelmatonta ja vaatii laajaa osaamista ja perehtymistä moneen eri tekniikan alaan. Lopputuloksena syntyvä toimiva järjestelmä eri osaluueineen on kuitenkin erittäin palkitsevaa nähdä hyötykäytössä.

Lähteet

1. Szalvay, L. Scrum User Stories. CollabNet. 2012. [Viitattu 19.4.2013]. Saatavissa: <http://scrummethodology.com/scrum-user-stories/>.
2. Fortum Oyj. Fortum Kotinäyttö - avuksesi sähkön säästämässä. 2013. [Viitattu 11.1.2013]. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/kauppa/fortum-kotinaytto/pages/default.aspx>.
3. Fortum Oyj. Usein kysyttyä. 2013. [Viitattu 11.1.2013]. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/asiakaspalvelu-ja-ohjeet/usein-kysyttya/pages/default.aspx>.
4. Lemminkäinen Talotekniikka Oy. Automaatio. 2013. [Viitattu 10.4.2013]. Saatavissa: <http://www.lemminkainentalotekniikka.fi/fi/Palvelut/Urakointi/Automaatio>.
5. Fortum Oyj. Fortum valpas: seuraa energiankulutustasi ja säästä. 2013. [Viitattu 18.4.2013]. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/asiakaspalvelu-ja-ohjeet/asiointi-fortum.fissa/valpas-info/pages/default.aspx>.
6. Niskala, J. Öljylämmitys kuntoon. Porvoo. 1985. 190 s. ISBN 951-676-321-9
7. Arduino. Arduino. 2013. [Viitattu 2.4.2013]. Saatavissa: <http://www.arduino.cc>.
8. Arduino. Arduino Uno. 2013. [Viitattu 15.4.2013]. Saatavissa: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.
9. Arduino. Arduino Mega 2560. 2013. [Viitattu 15.4.2013]. Saatavissa: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>.
10. Maxim Integrated. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. 2011. [Viitattu 14.4.2013]. Saatavissa: <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/2812>.
11. Allegro MicroSystems, LLC. A1301 and A1302 Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensor ICs. 2013. [Viitattu 14.4.2013]. Saatavissa: <http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/A1301-2-Datasheet.ashx>.
12. Johnston, J. Reed Switches. Electronics in Meccano. 2002. [Viitattu 21.4.2013]. Saatavissa: <http://www.eleinmec.com/article.asp?23>.
13. Volotinen, V. & Lesch, K. & Haaksikari, J. Elektroniikka. Porvoo. 1989. 285 s. ISBN 951-0-15259-5
14. Cox, J. Fundamentals of Linear Electronics Integrated and Discrete. Albany, NY. 2002. 885 s. ISBN 0-7668-3018-7
15. Maxim Integrated. DS1307 64 x 8, Serial, I²C Real-Time Clock. 2011. [Viitattu 13.4.2013]. Saatavissa: <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/2688>.
16. Arduino. Arduino Ethernet Shield. 2013. [Viitattu 13.4.2013]. Saatavissa: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>.
17. ArduinoInfo.Info Wiki. LCD Display (Blue and YELLOW) with I2C/TWI Interface. 2013. [Viitattu 2.2.2013]. Saatavissa: <http://arduino-info.wikispaces.com/LCD-Blue-I2C>.

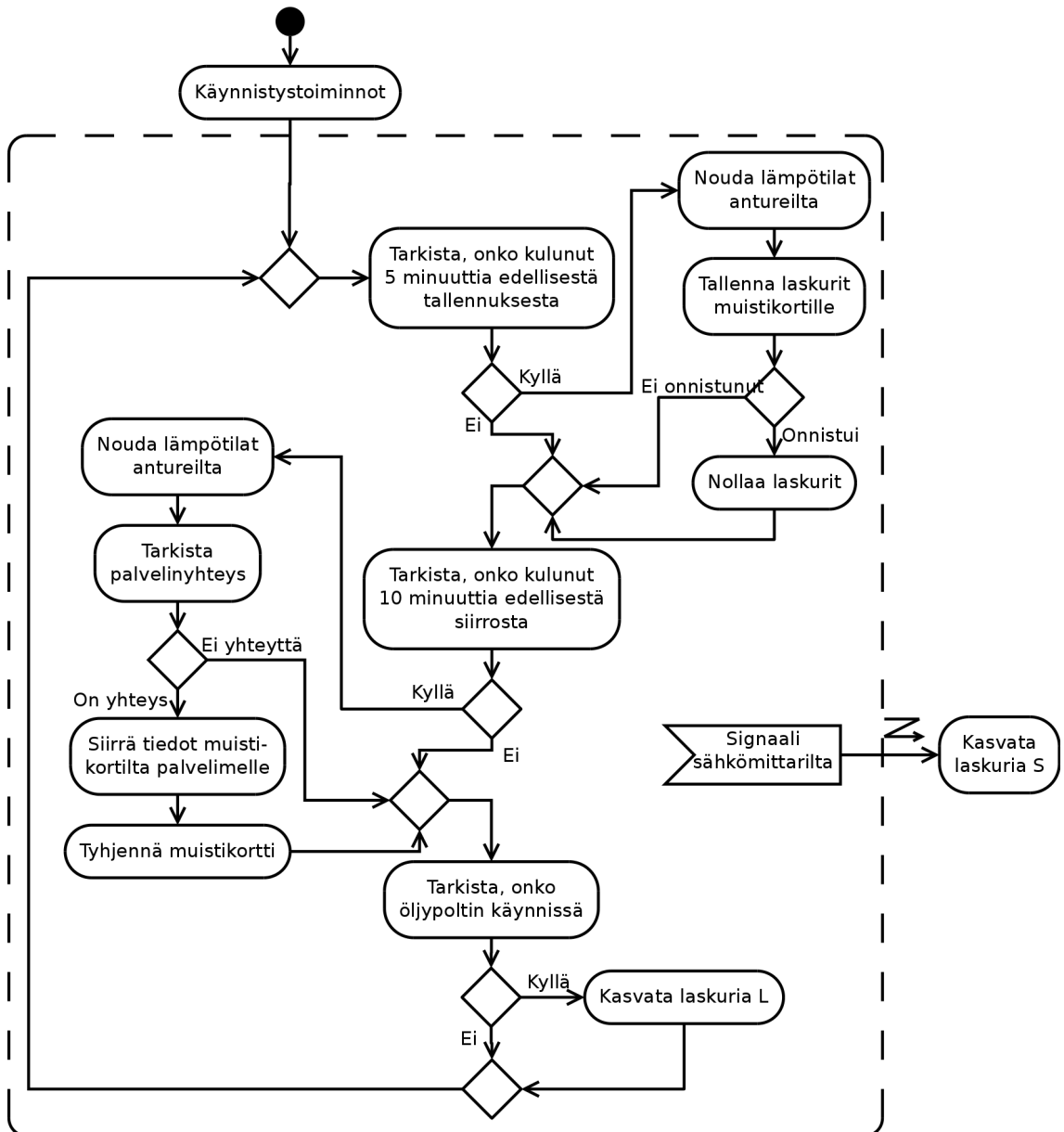
18. Adafruit. Arduino Library. 2013. [Viitattu 15.1.2013]. Saatavissa: <http://learn.adafruit.com/ds1307-real-time-clock-breakout-board-kit/arduino-library>.
19. Google Inc. Google Chart Tools. 2012. [Viitattu 14.3.2013]. Saatavissa: <https://developers.google.com/chart/>.
20. The jQuery Foundation. Datepicker. 2013. [Viitattu 15.3.2013]. Saatavissa: <http://jqueryui.com/datepicker/>.
21. Fielding, R. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. University of California. 2000. [Viitattu 29.4.2013]. Saatavissa: <http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>.

Muunnospiiri fotodiodeille

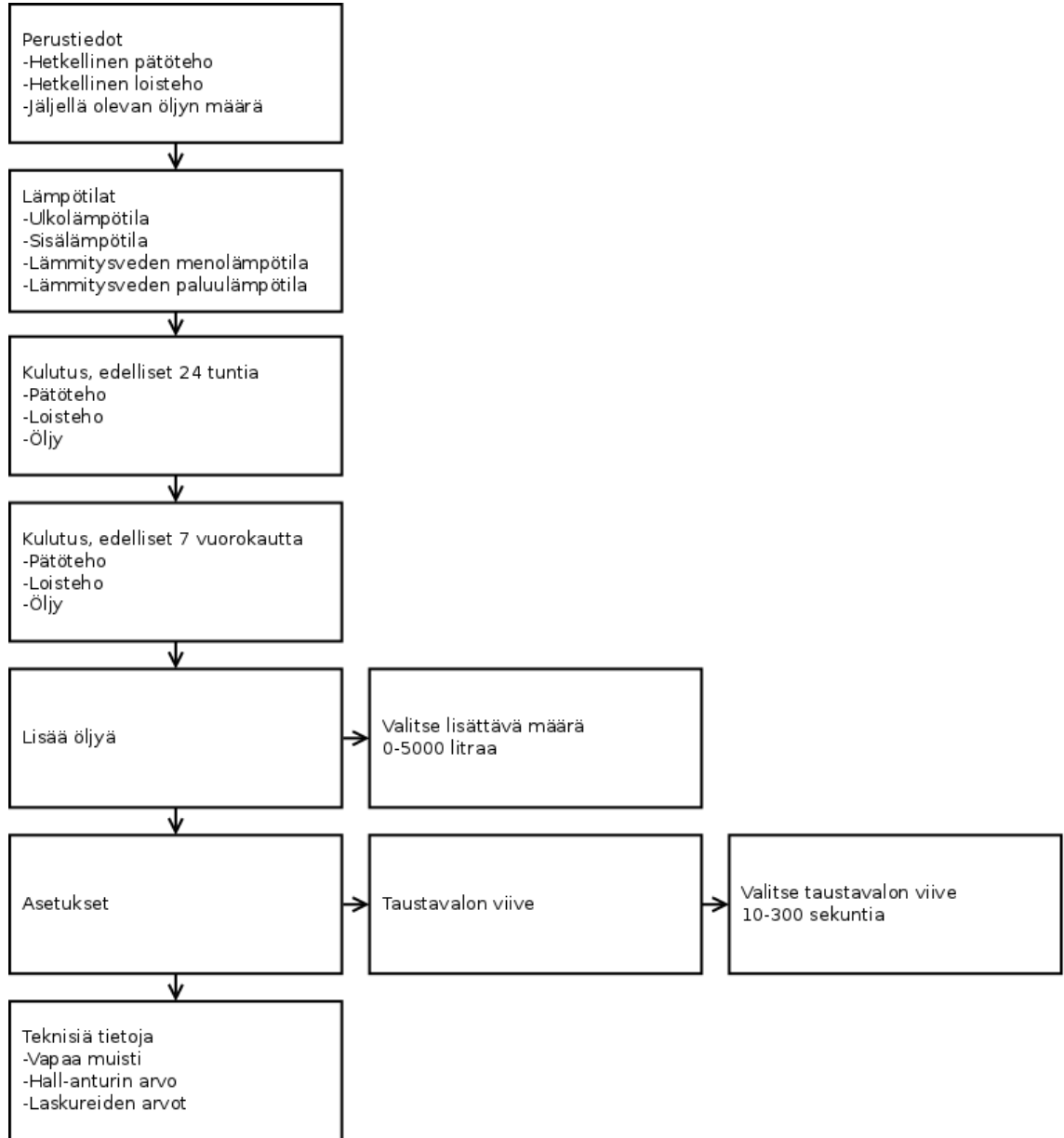


Energianmittauslaitteiston ohjelmiston aktiviteettikaavio

Kuvassa on yksinkertaistettu aktiviteettikaavio mittauslaitteiston ohjelmiston toiminnasta. Käyttöliittymän käsittely on jätetty pois. Sähkömittarilta tuleva signaali aiheuttaa ohjelman ajossa keskeytyksen. Keskeytyskoodin suorittamisen jälkeen ohjelma jatkuu siitä kohdasta, jossa keskeytys tapahtui.



Käyttöliittymä energianmittauslaitteiston LCD-näytöllä



Energianmittauslaitteistolle tehdyt testit

Vikatilanne	Testi	Tulokset	Muutokset
Käyttöjännite katkeaa.	Katkaistiin käyttöjännite viisi kertaa laitteen ollessa perustilassa (mittaus käynnissä).	Laitteisto käynnistyy virran palautumisen jälkeen normaalisti. Mittaustiedot menetetään enintään viiden minuutin ajalta.	Ei muutoksia.
Käyttöjännite katkeaa tallennuksen aikana.	Katkaistiin käyttöjännite viisi kertaa tallennuksen eri vaiheissa.	Muistikortilla olevat tiedostot korruptoituvat. Joissain tapauksissa kortti täytyi alustaa ennen kuin järjestelmä alkoi jälleen toimia. Virran katkeaminen tallennuksen aikana on epätodennäköistä, koska tallennus kestää noin sekunnin.	Ei muutoksia. Kaupallisessa versiossa tämä tulisi kuitenkin huomioida.
Käyttöjännite katkeaa tiedonsiirron aikana.	Katkaistiin käyttöjännite viisi kertaa siirron eri vaiheissa.	Siirto alkaa alusta, kun virta palaa. Ei tiedon katoamista.	Ei muutoksia.
Ei Ethernet-yhteyttä.	Irrotettiin Ethernet-kaapeli ja odotettiin, että laite aloittaa tiedonsiirron.	Laite yrittää siirtoa hetken aikaa, kunnes palaa perustilaan. Yhteyden palattua toimii normaalisti.	Ei muutoksia.
Ei internetyhteyttä.	Irrotettiin 3G-modeemi reitittimestä ja odotettiin, että laite aloittaa tiedonsiirron.	Laite yrittää siirtoa hetken aikaa, kunnes palaa perustilaan. Yhteyden palattua toimii normaalisti.	Ei muutoksia.
Palvelinta ei löydy.	Irrotettiin palvelin internetistä ja odotettiin, että laite aloittaa tiedonsiirron.	Laite yrittää siirtoa hetken aikaa, kunnes palaa perustilaan. Yhteyden palattua toimii normaalisti.	Ei muutoksia.
Muistikortti täynnä.	Siirrettiin muistikortille tiedostoja tietokoneella ja kytkettiin muistikortti laitteeseen.	Tapahtuu virhe muistikortille kirjoitettaessa. Tiedot eivät tallennu kortille, mutta säilyvät muuttujissa niin kauan kuin laite saa sähköä.	Ei muutoksia. Epätodennäköinen tilanne, sillä muistikortin kapasiteetti riittää useiden vuosien tietomäärälle ja se tyhjennetään joka kerta, kun tiedot siirretään palvelimelle.
Yhteys antureihin katkeaa.	Irrotettiin eri antureita laitteistosta ennen käynnistystä ja laitteen ollessa jo päällä.	Kaikki lämpötilat alkavat näyttää samaa. Hall-anturin signaali alkaa heilua holtittomasti.	Ei muutoksia. Kaupalliseen versioon voisi laittaa Hall-anturin sisäänantuloon alusvetovastuksen.