

Maalämpöpumpun lokianalysaattori

Timo Karhu



Tekijä(t) Timo Karhu	
Koulutusohjelma Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma	
Opinnäytetyön otsikko Maalämpöpumpun lokianalysointilaite	Sivu- ja liitesivumäärä 58 + 20
Opinnäytetyön otsikko englanniksi Ground source heat pump log analyzer	
<p>Opinnäytetyön päämääränä oli tehdä helppokäyttöinen ohjelma, jolla kyetään lukemaan tiettyjen maalämpöpumppujen lokitiedostoja laitoksen optimoinnin ja yleisen toiminnan tarkkailuun. Saavuttaakseen kohtalaisen käyttöjärjestelmä ja ohjelmistoriippumattomuuden, se toteutettiin Javalla.</p> <p>Nykyajan energiapoliittiset ja ympäristön kuormituksen vähentämiseen pyrkivät ohjelmat tekevät historialliselta perustaltaan vahvan lämpöpumpputekniikan tavalliselle kuluttajalle entistä houkuttelevammaksi pientalon lämmitysmuodoksi. Yhä useammasta uudisrakennuksessa löytyykin tämä uusiutuva aurinkoenergiaa hyödyntävä lämmityslaite.</p> <p>Lämpöpumppujen yleistyminen ja tekniikan kehittyminen toi mukanaan yleisen, muissakin kodinkoneissa havaittavan haasteen, kaikkialla on enemmän ohjelmoitavia tai sähköisesti säädettäviä laitteita. Nykyaikainen maalämpöpumppu ei tee tässä poikkeusta, vaan sen kylmäaine- ja talon lämmitysprosessia ohjaava ohjelmisto on monimutkaisuudessaan haaste jopa alan ammattilaisille.</p> <p>Työn tuloksena valmistui monipuolinen ohjelma, jonka avulla maalämpölaitoksen perusprosessin ymmärtävä käyttäjä kykenee tarkistamaan koneen tasapainoisen käynnin sekä säätämään prosessia oikeaan suuntaan soveltuvin osin. Mittaustiedot voidaan lukea myös muun merkkeistä pumppuista erillisestä tietokannasta. Liitteenä sisällytettiin työn kirjoittajan dokumentaatio erillisen monitorintiohjelmiston asentamisesta lämpöpumpun tietojen jatkuvaan lukemiseen.</p> <p>Ohjelma rajattiin lukemaan Nibe Fighter -sarjan lämpöpumppuja F1145, F1245 ja F1345, jotka kirjoittavat lokitietoja tiedostoon ja sitä kautta mahdollistavat tietojen lukemisen helposti ilman suuria tietoteknisiä ponnistuksia.</p> <p>Työ antoi tekijälleen sekä antaa suurelle yleisölle hyvän ymmärryksen maalämpöpumpusta ja sen käynnistä, tehokkuudesta ja käytösjaksojen määrästä. Kaikki kriittisiä tietoja maalämpölaitoksen kestoajan maksimoinnissa ja sijoituksen kannattavuuden varmistamisessa.</p>	
Asiasanat lokitiedostot, maalämpö, lämmitys, lämpöpumppu, aurinkoenergia	

Author(s) Timo Karhu	
Degree programme Business Information Technology	
Report/thesis title Ground source heat pump log analyser	Number of pages and appendix pages 58 + 20
<p>The aim of this thesis was to produce a simple piece of software capable of reading certain ground source heat pump log files to enable monitoring and optimization of its normal operation. To achieve certain level of operating system and proprietary software independence the program was written in Java.</p> <p>Modern age environmental challenges, energy politics and international agreements to decrease the greenhouse effect in the atmosphere has made the heat pump technology – with its strong historical background – an attractive option for small residential building heating source. An increasing number of new constructions are equipped with heat pumps for renewable solar energy heating.</p> <p>What can be seen as a challenge in all household appliances is the growth of programmable or electrically tunable devices. A modern ground source heat pump is not different in this area. Its mechanisms and programs for refrigerant flow control as well as house heating control are complex and sometimes challenging even for professionals.</p> <p>A versatile piece of software was completed as the result of this thesis. A user who understands the basic refrigerant flow and heat pump running process is able to check the status of the pump and also fine-tune the running parameters where applicable. It is possible to read operating variables from other heat pump brands by using an external database. There are instructions attached for how the author installed an instance of monitoring software to populate the database in a continuous fashion.</p> <p>The program was limited to read only certain models of Nibe Fighter ground source heat pumps. F1145, F1245 and F1345 which produce log text files hence enabling analysing without remarkable IT efforts.</p> <p>This work gave the author proper understanding of ground source heat pump operation, its general level of operational efficiency and average start cycles of the compressor per day. All this is valuable information to maximise the lifespan of the system and safeguard the return on investment.</p>	
Keywords log files, geothermal heating, heating, heat pump, solar energy	

Sisällys

1 Johdanto.....	1
2 Lämpöpumput pientalon lämmityksessä.....	3
2.1 Lämpöpumppujen historiaa.....	3
2.2 Uusiutuvien energialähteiden lisääminen.....	5
2.3 Aurinko- ja geoenergia.....	5
2.4 Lämpöpumppujen toimintaperiaate.....	8
2.5 Kylmäaineet.....	14
2.6 Lämmitysjärjestelmän mitoittaminen.....	14
2.7 Pientalon lämmönjako.....	16
2.8 Lämpöpumpun käynnin seuranta ja optimointi.....	18
2.8.1 Lämmönjako.....	18
2.8.2 Keruupiiri.....	20
2.8.3 Kylmäainepiiri.....	20
2.8.4 Tehon säätö ja lämpökäyrä.....	20
2.8.5 Käyttövesi.....	22
2.8.6 Lämpökerroin.....	22
3 Maalämpöjärjestelmä saneerauskohteessa.....	24
3.1 Talon aiemmat lämmitysjärjestelmät.....	24
3.2 Lämmitysjärjestelmän saneeraus.....	25
4 Lokianalysointi.....	28
4.1 Määrittely.....	29
4.2 Suunnittelu.....	30
4.2.1 Ohjelman toiminta.....	30
4.2.2 Käyttöliittymän ulkoasu.....	31
4.2.3 Lokitiedostojen lukeminen.....	33
4.2.4 Tietojen hakeminen ulkoisesta tietokannasta.....	36
4.2.5 Yhteenvetotiedot.....	37
4.2.6 Paikallinen tallennus.....	38
4.2.7 Käyrät.....	38
4.3 Toteutus.....	39
4.3.1 Käyttöliittymä ja rakenne.....	40
4.3.2 Yhteenvetotietojen laskeminen.....	41
4.3.3 Ulkopuoliset ohjelmointikirjastot.....	43
4.3.4 Konfigurointitiedosto.....	44
4.3.5 Paikallinen tallennus.....	45
4.4 Testaus.....	46
4.5 Dokumentointi.....	47
4.6 Lisensointi.....	47

5 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	48
5.1 Hyödyllisyys ja johtopäätökset.....	49
5.2 Jatkokehitys.....	51
5.3 Oma oppiminen.....	52
Lähteet.....	54
Liitteet.....	59
Liite 1. Testaussuunnitelma.....	59
Liite 2. MLP Logintutkija 1.0 käyttöohje.....	66
Liite 3. Talogger-ohjelmiston asennusohje.....	70

1 Johdanto

Nykyaikainen pientalon lämmitys lähenee jo tietoteknisen systeemin perustamisen monimutkaisuutta ja parametrintia. Lämmitysmuotoja kehitetään kokonaan uusia ja vanhoja tekniikoita parannetaan uusilla innovaatioilla. Öljy-, sähkö-, kaukolämpö-, maakaasu-, puu- ja lämpöpumppulämmitys moninaisine variaatioineen pitää talotekniikan varmasti teknisenä nyt ja ainakin lähitulevaisuudessa.

Lämpöpumppujen osuus uudisrakennusten pääasiallisena lämmitysmuotona on kasvanut merkittävästi ja myös tulevaisuus näyttää merkittävää kasvua niiden käytön osalta. SUL-PU eli Suomen lämpöpumppuyhdistyksen mukaan vuonna 2020 Suomessa olisi miljoona lämpöpumppua ja niiden osuus pientalojen lämmöntuottamisesta on kasvanut merkittävästi aivan viime vuosina. (Vihola & Heljo, 2012. 53.)

Tavallisen omakotiasujan ei kuitenkaan voida olettaa innostuvan lämmitystekniikoista saati niiden optimoinnista. Tässä opinnäytetyössä otetaan kohderyhmäksi tietotekniikasta kiinnostunut asuja. Siis sellainen henkilö, joka haluaa ymmärtää talonsa kulutuskäyttäytymistä ja tarvittavien lämmityslaitteistojen tilaa ja käyntiä. Tarve tälle työlle nousee tavallisen asujan omasta halusta ymmärtää kotinsa lämmityslaitteen toimintaa syvemmin ja pystyä seuraamaan sitä. Kyseessä on maalämpöpumppu, jonka tehtävänä on siirtää maasta lämpöenergiaa taloon. Tässä prosessissa on monta mittauskohtaa, joiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä laitoksen tilasta ja kenties muuttaa joitakin sen käyntiarvoja.

Tämä työ rajataan esittämään anturidataa ihmisen ymmärtämässä muodossa Niben tiettyjen, lokitietoa tekstitiedostoon tallentavista laitteista. Tuotos on henkilökohtaisella tietokoneella ajettava ohjelma, joka auttaa tulkitsemaan maalämpöpumpun toimintaa. Ohjelmalla on tarkoitus palvella tekijäänsä ensinnäkin helpottamaan seuraamaan oman pientalonsa lämmitysjärjestelmän toimintaa, mutta myös mahdollistaa sama muille asiasta kiinnostuneille ihmisille. Nykyaikaisessa maailmassa internetin etäisyyksiä pienentävä ja tiedonhankintaa helpottava vaikutus ulottuu herkästi myös perinteisille alueille kuten talotekniikkaan, joka enenevässä määrin tukeutuu tietoteknisiin ratkaisuihin. Nämä monesti hankalatkin järjestelmät tuottavat käyttäjilleen haasteen, jossa ollaan täysin toimittajan tai huoltoyrityksen ammattitaidon varassa, jos eteen tulee hankaluuksia tai jopa ongelmia. Toimittajan antaessa vikadiagnoosin, ei kuluttajalle jää oikein muuta vaihtoehtoa kuin etsiä asiaan toinen mielipide jostain muualta. Ehkä juuri tähän tarpeeseen internetin vapaaehtoiset ja asiantuntevatkin käyttäjäkunnat ovat keksineet perustaa foorumeita, wikejä ja blogeja, ja-kaakseen ja kysyäkseen tietoa.

Lämpöpumpuille löytyy useampiakin käyttäjäperustaisia tietolähteitä, mutta mainitsen tässä yhteydessä vain pari suomalaista foorumia, jotka ainakin löytyvät Googlen hauissa niin korkealta, että uskoisin useamman askarruttavaan asiaan tietoa hakevan osuvan jompaankumpaan näistä. Ensimmäiseksi mainitsen Lämpöpumput.info:n, joka on kerännyt alun perin ilmalämpöpumpuista kiinnostuneita keskusteluun. Tämä foorumi käsittää myös keskustelua muista lämpöpumppumudoista. Toisena mainitsemisen arvoisena, ja myös tämän opinnäytetyön tuotoksen tulevana sijoituspaikkana toimii Maalämpöfoorumi, maalampofoorumi.fi. Tämä foorumi on keskittynyt enemmän maalämpölaitoksiin kuin edellinen.

Kun tavallisen maalämmöllä lämmittävän kiinteistön huoltajan kiinnostus kasvaa niin merkittävästi, että hän hakee tietoa edellä mainituista foorumeista, on mahdollista että hän haluaa myös ymmärtää omassa maalämpölaitoksessaan pyörivää prosessia. Tähän tarpeeseen voi kysyä apua, tai tehdä omia tulkintoja laitoksen antamista anturitiedoista. Juuri tähän anturitietojen esittämiseen ja tulkinta-apuun kohdennetaan tämän opinnäytetyön tuotoksena syntyvä ohjelma. Foorumilla tapahtuneen kyselyn pohjalta vain yksi maalämpöpumppumerkki tallentaa anturitiedon lokitiedostoon, jota käyttäjä voi itse analysoida. Yleisemmän kattavuuden eri merkkisiin lämpöpumppuihin ja niiden käynnin avainsuureisiin voi vain saada tekemällä ohjelman, joka saa mittaustietonsa erillisillä moduuleilla jossa tuki kyseisen merkin tiedonsiirrolle on toteutettu.

Tutkimusongelmakysymyksenä lausutaan seuraavaa: toimiiko minun maalämpöpumppuni hyvin? Onko laitoksen käynnissä tapahtunut muutoksia verrattuna edelliseen tarkkailujaksoon? Miten saan helposti tiedot kuvattua ilman tietyn valmistajan taulukkolaskentaohjelmaa ja tiettyä käyttöjärjestelmää?

2 Lämpöpumput pientalon lämmityksessä

2.1 Lämpöpumppujen historiaa

Lämpöpumppujen historian alku ajoittuu aina 1800-luvun alkupuolelle saakka, jolloin ensimmäinen tarkempi teoria työn ja lämmön suhteesta kuvattiin paperille Nicolas Carnot'n toimesta vuonna 1824. Myöhemmin lähestyttäessä 1800-luvun loppua fysiikan teorian todennettiin laboratoriossa ja 1870 Carl von Linde luonnosteli pakastimen tarkan toimintaperiaatteen. Käytännön toteutuksien historia alkoi vuodesta 1834 ensimmäisen – ja ainutkertaisen – toimivan höyrystin - puristin -koneen valmistamisesta jään tuottamiseen. 1900-luvun taitteessa kompressorit olivat valtavia ja niiden pääasiallinen käyttövoima tuli höyrykoneista. Käyttökohteet olivat jäähdytyksessä. Jo vuonna 1912 sveitsiläinen Heinrich Zoelly ehdotti sähkökäyttöistä maalämpöpumppua matalalämpöjärjestelmiin. Mutta hän oli hie- man liikaa aikaansa edellä. (Zogg 2008, 1 - 2.)

Suoravetoiset sähkömoottorit valtasivat alaa ja niiden kyky ylläpitää suurempaa kierrosnopeutta pienensi kompressorien kokoa huomattavasti. Toisen maailmansodan aikana ja sen jälkeen Sveitsissä koettiin energiakriisejä hiilen ja muiden fossiilisten energiamuotojen puutteen vuoksi. Tämä kiihdytti innovaatioita ottaa energiaa sieltä, missä sitä luonnostaan oli tai missä sitä hukattiin jätteen muodossa. Zürichissä näitä historiallisia lämpöpumppuja löytyi kaupungintalosta, uimahallista, tehtaasta ja hallintorakennuksesta. Niiden luotettavuudesta kertoo kaupungintalon lämmitysjärjestelmän kompressori, joka 63 vuoden palveluajan jälkeen saatettiin eläkkeelle vuonna 2001 ja edelleenkin sitä käytetään kerran viikossa säilyttääkseen statuksen maailman vanhimpana toimivana kompressorina. Näiden Zürichin kaupungin järjestelmien lämmönlähteenä käytettiin jokea, jätevesiä ja järvivettä. Lähestyttäessä 1950 lukua lämpöpumpuista alkoi tulla varteenotettavia lämmönlähteitä, jopa taloudellisessa mielessä. (Zogg 2008, 3 - 4.)

Synteettiset kloorifluorihiihiyhdisteet eli tuttavallisemmin freonit eli CFC:t tehtiin ensimmäisen kerran Yhdysvalloissa 1928. Nämä olivat kään- teentekeviä keksintöjä, koska ne käytännössä syrjäyttivät myöhemmin ammoniak- kin, rikkidioksidin ja metyylikloridit jotka olivat myrkyllisiä ja sitä kautta ihmisille suoraan vaarallisia. Yhdysvallat johti lämpöpumppujen kehitystä 30-luvulta 50-luvulle eri toimijoiden kehittäessä ja parantaessa kompressoreiden tehokkuutta ja markkinoiden ottaessa kiitollisena vastaan ne kotitalouksien kesäjäähdytykseen sekä talven lämmittämiseen. Innovaatiot kuten kondensaattoriavusteinen käynnistys, täysin hermeettiset pienet kompressorit ja tehokkaampien kylmäaineyhdisteiden keksiminen edesauttoi kuluttajalaitteiden pienentymistä ja edelleen hyväksymistä. (Zogg 2008, 5 - 8.)

Viisikymmentäluvun jälkeen nähty matalan öljyn hinnan aikakausi merkitsi lämpöpumpputeknologian kehityksen hidastumista. Kuitenkin lämpimät maanosat pitivät laitteiden markkinat olemassa, palavalla öljyllä kun oli hankala jäähdyttää helpon lämmittämisen rinnalla. Lämmitystarkoituksiin lämpöpumppujen tuotantokustannukset olivat liian korkeat öljyn matalan hinnan vuoksi kunnes 1973 öljyn kauppasaarto käänsi tilanteen edullisemmaksi. Lämmityssovellukset olivat erikoistapauksia tänäkin aikana. Tietokoneiden mukaantulo auttoi ensiksikin lämpöpumppuprosessien suunnittelussa ja mallinnuksessa mutta myös niiden sovelluksien ohjaamisessa. Öljyn kauppasaarron jälkeen 1974 öljyn hinta oli noussut 300%. Tänä ajanjaksona nähtiin tarpeelliseksi käyttää hyödyksi vaihtoehtoisia energianlähteitä öljyn sijaan. Juuri perustettu International Energy Agency, IEA, tunnusti lämpöpumppujen merkityksen. Toinen öljykriisi 1979 kiihdytti lämpöpumpputeknologian tunnettua entisestään. Tähän markkinarakoon tuli monia lämpöpumpputoimittajia vajavaisella tietotaidolla, joka 80-luvun alun öljyn hinnan laskun ohella johti siihen että lämpöpumppumarkkinat luhistuivat loppuvuosikymmeneksi. Skandinaviassa herättiin lämpöpumpputeknologiaan ja Lundin yliopistossa tehtiin urauurtavaa tutkimusta. Kahdeksankymmentäluvun puolivälissä havaittiin otsonikato ja maailmanlaajuinen sopimus CFC-yhdisteiden käytön lopettamisesta tehtiin Montrealissa 1987. (Zogg 2008. 9-12.)

90-luvulle tultaessa ympäristöhaitat fossiilisten energiamuotojen puolella oli tekijä, joka johti ajatukseen käyttää energiaa lähtökohtaisesti vähemmän. Tämä edesauttoi lämpöpumppujen suosion kasvamista. Höyrypuristusjäähdytyskiertoon perustuva lämpöpumpputeknologia oli kypsynyt ja vakiintunut jo aiempina vuosina ja kansainväliset hankkeet energiansäästöön ja sitä tukevaan lainsäädäntöön lisääntyivät. Teknologisessa mielessä perinteisten kylmäaineiden käytön kieltäminen ja toisaalta rakentamisessa yleistyneet matalalämpöjärjestelmät kuten lattialämpö lisäsivät tekniikan monimutkaisuutta, mutta myös mahdollisuuksia. Tietotekniikka kehittyi edelleen, joka auttoi niin uusien, paremmin optimoitujen prosessien kehittämisessä kuin myös niiden ylläpitämisessä itse lämpöjärjestelmissä. Maankuoren käyttö lämmönlähteenä sai selvän jalansijan 90-luvulla ja johti maa-lämpöpumppujen yleistymiseen Itävallassa, Kanadassa, Saksassa, Ruotsissa ja Yhdysvalloissa. Jatkuvat kehitysaskleet niin suunnittelu- kuin hallintaohjelmistoissa ovat tehneet lämpöpumpuista varteenotettavia ja toimivia sekä tehokkaita lämmityslaitteita. (Zogg 2008. 15-16.)

Suomessa lämpöpumput ovat kokeneet tulemisensa yleiseen tietoisuuteen melko hitaasti verrattuna muihin pohjoismaihin. Yhtenä silmiinpistävästä kuriositeettina kirjoittaja muistaa öljyalan melko asenteelliset kirjoitukset esimerkiksi Lämmöllä-lehdessä 2000-luvun puolen välin paikkeilla, jotka olivat omiaan sekoittamaan uuden lämmitysmuodon hankintaa har-kitsevan kuluttajan.

2.2 Uusiutuvien energialähteiden lisääminen

Vuonna 2008 julkaistu EU:n ilmasto- ja energiapaketti tähtää uusiutuvan energian käytön lisäämiseen ja kasvihuonepäästöjen vähentämiseen YK:n ilmastosopimuksen ja Kioton pöytäkirjan mukaisesti ja jopa tiukemmin. Tällä kaikella pyritään hillitsemään ilmastonmuutosta. Tavoitteina on vuoteen 2020 mennessä vähentää kasvihuonepäästöjä 20%:lla, nostaa uusiutuvien energialähteiden osuus 20%:n, lisätä energiatehokkuutta 20% sekä lisätä biopolttoaineiden osuutta liikenteessä. EU:n maakohtaiset tavoitteet ehdottavat Suomelle 38% uusiutuvan energia osuutta tarkoittaen haastavaa lähes kymmenen prosentin lisäystä aikajaksolla 2005 - 2020. Suomi tavoittelee itsenäisesti 20% osuutta biopolttoaineiden käytössä kaikissa liikenteen polttoaineista. Suomen omassa energia- ja ilmastostrategiassa listataan lämpöpumppujen, jätepolttoaineiden, puuperäinen energia, biokaasun ja tuulienergian voimakas lisääminen jotta EU:n tavoitteisiin päästäisiin. (Luomalahti 2012, 5-8.)

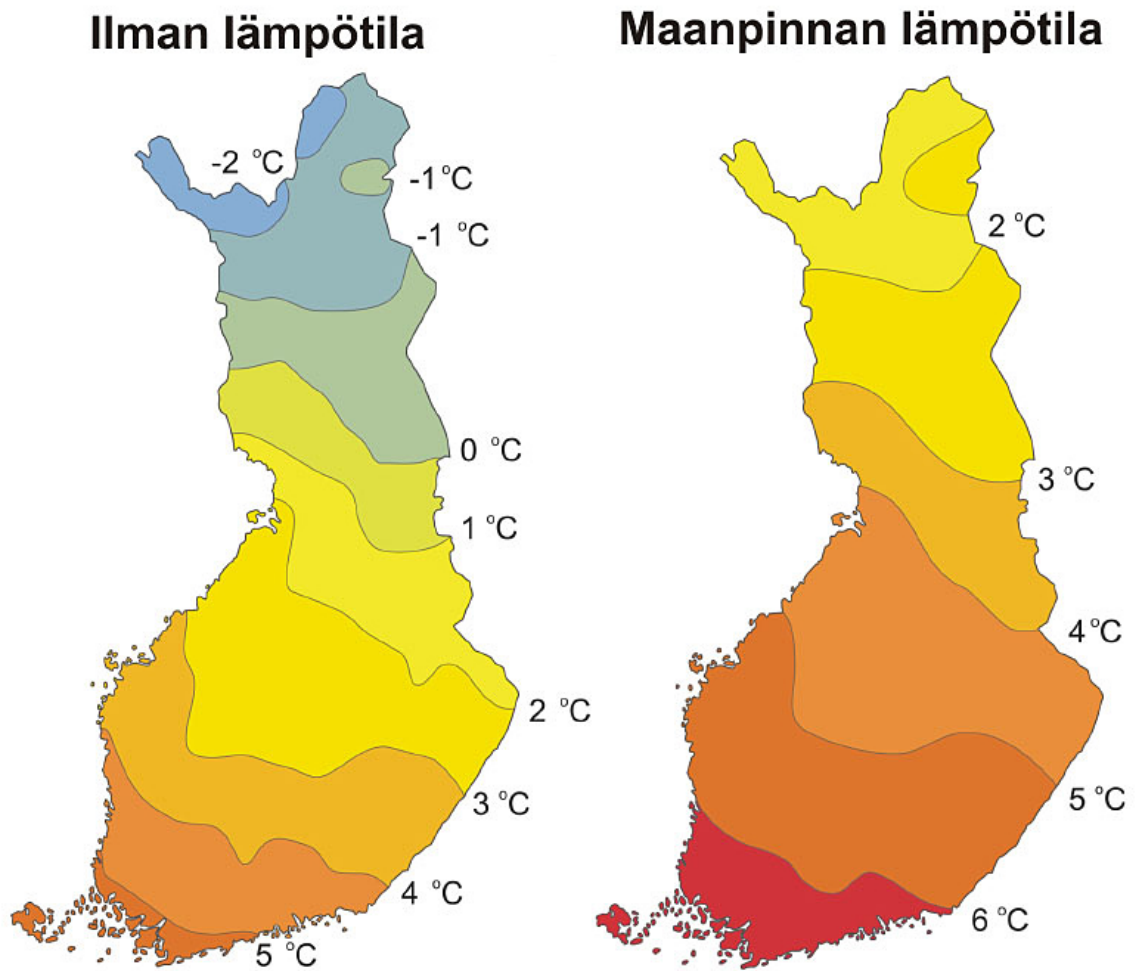
Tavoitteisiin pääsemiseksi EU on perustanut päästökauppajärjestelmän, jonka tarkoituksena on kasvihuoneilmiötä kiihdyttävien hiilidioksidipäästöjen pysyvän tietyissä rajoissa ja ohjata toimenpiteitä vähentää hiilidioksidia kustannustehokkaampaan suuntaan. Päästökauppa ohjaa uusiutuvien energiamuotojen käyttöön, koska ne eivät joudu maksamaan päästöoikeuksista kuten fossiilista polttoainetta maksavien laitosten. Lisäksi uusiutuvia energialähteitä tuetaan monipuolisesti jotta niitä ylipäättään voidaan taloudellisessa mielessä käyttää hyväksi. (Luomalahti 2012, 19.)

2.3 Aurinko- ja geoenergia

Geotermisellä energialla tarkoitetaan maapallon sisällä olevaa varastoitunutta lämpöä, sekä maan sisäisen radioaktiivisen materiaalin hajotessa vapauttamaa lämpöä. Tätä lämpöä pystytään käyttämään suoraan hyödyksi esimerkiksi lämmityksessä, mutta vain harvoissa paikoissa kuten esimerkiksi Islannissa (Hokka 2012, 13). Muualla kalliioon tai maahan varastoitunut lämpö on pääosin peräisin auringosta. Tällöin kallioperän keskimääräinen lämpötila on niin alhainen, että tarvitaan lämpöpumppua siirtämään energia eri lämpötila-alueesta käyttökelpoiselle alueelle rakennusten lämmitystä ajatellen. Suomen maaperän keskilämmöt näkyvät kuvassa 1. Kun mennään syvemmälle alkaa maankamarassa vaikuttamaan nk. geotermien gradientti eli kallion lämpötila nousee syvemmälle mentäessä noin 1 K sataa metriä kohden (Leppäharju 2008. 7).

Kaivon syvyyttä, maakeruupiirin ja vesistöön upotetun piirin pituutta määriteltäessä tulee luottaa vastuulliseen lämpöpumpputoimittajaan, mutta pääsääntöisesti siihen vaikuttavat

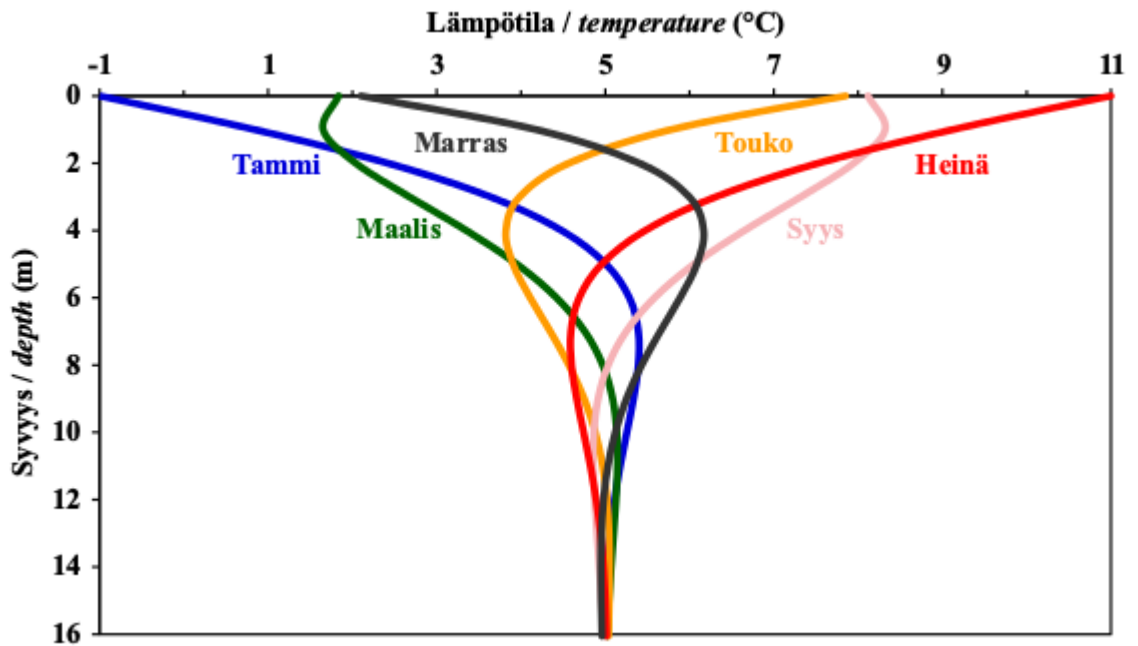
kiinteistön energiankulutus, lämpöpumpun SPF (*seasonal performance factor*), joka on lämpökertoimen vuosikeskiarvo. Energiakaivon mitoitukseen käytetään yleisesti nyrkisääntöä 1m per 100kWh energiaa ja siitä saatavaan kaivon syvyyteen lisätään varmuusvara päälle. (Hokka 2012, 21.)



Kuva 1: Ilman ja maanpinnan keskilämpötilat (Leppäharju 2008. 11.)

Maanpinnan lämpötilan vaihtelu on merkittävää vuodenaikojen suhteen, mutta jo noin 15 metrin syvyydessä lämpötilat tasaantuvat vuotuisten keskiarvojen tasolle kuvan 2 mukaisesti (Leppäharju, 2008. 7).

Suomessa maalämpöön viitataan laajan yleisön parissa yleisesti yhdellä termillä maalämpö, toisin kuin esimerkiksi Ruotsissa, jossa erotellaan kallio- ja maalämpö erikseen. Tämän soisi yleistyvän meilläkin erottelemaan lämmönlähteet selkeästi toisistaan.



Kuva 2: Kallioperän keskilämpötilat eri vuodenaikoina ja syvyyksissä (Leppäharju 2008, 7)

Jäähdytysenergian tarpeeseen kallioperämme tarjoaa siis hyvät mahdollisuudet vapaaseen viilennykseen ilman lämpöpumppua sen melko tasaisen viileyden vuoksi (Pokki ym 2014. 35-36). Jäähdytys maaviileällä onkin hyvä energiakaivon tasapainon vuoksi, eli lämpimänä vuodenaikana kallioon varastoidaan lämpöä ja kylmänä luovutetaan.

Energian keräämiseksi on kolme yleisintä tapaa: edellä mainitut kaivo kalliossa, keruupiiri pintamaassa ja vesistöt. Suomen lämpöpumppuyhdistyksen, SULPU:n, mukaan vesistöön sijoitettu keruupiiri pitää sijoittaa joko rannasta syvään järveen, lampeen tai mereen. Vesistö keräyspiirinä vaatii oman erikoisosaamisensa putken upotuksen, ankkuroinnin ja eristyksen suhteen ettei kerättyä lämpöenergiaa hukata ja ettei vesistön pohjaan laskettu putkisto pääse irtoamaan ja nousemaan pintaan. Kauppilan mukaan vesistön lämpötilan tulee pysyä vähintään +2 °C putken jäätyksen aiheuttaman nosteen vuoksi. Pintamaasta vaakaputkistolla tapahtuva lämmönkeruu vaatii ison alueen, mutta on toisaalta yksinkertaisin asentaa. Vaakaputkisto asennetaan n. metrin syvyyteen ja putket 1,5m välein toisistaan. Karkea mitoitus on 1-2 metriä putkea yhtä rakennuskuutiota kohden. Kauppila arvioi parhaan pintamaan olevan kosteaa ja kiinteää, kuten esimerkiksi savimaa. Kallioon porattavan energiakaivon etuihin lukeutuu tiheästi asutetulla alueella sen pieni pinta-alavaatiuus. Lämpökaivoja on Kauppilan mielestä kahta päätyyppiä, kuivia ja märkiä. Märässä kaivossa lämpö kulkeutuu pohjaveden mukana tasaten kaivon viilentymistä lämmityskäytössä. Täysin kuivan kaivon tapauksessa pitää kaivon asentuttaa pohjaveden sijaan jokin lämmön välittäjäaine, esimerkiksi betoniitti tai kaivon kannettu vesi. Selvänä haittana

voidaan pitää kaivon lämmöntuottokyvyn vaikeaa ennustamista ja siksi tapahtuvaa kaivojen varmuudeksi ylimitoittamista. (Matikka 2009, 5-6.)

2.4 Lämpöpumppujen toimintaperiaate

Kuten lämpöpumppujen historian läpikäynnistä käy ilmi, ovat perusteet olleet tieteellisellä tasolla jo melko kauan aikaa dokumentoituna. Erilaiset poliittiset ja kansainväliset sopimukset ovat vaikuttaneet paljonkin siihen, miten lämpöpumput ovat julkisuudessa ja ammattilaistenkin parissa otettu vastaan. Ei ole yksistään tämän tekniikan monimutkaisuus, joka on pitänyt sen tavalliselle kuluttajalle melko kaukaisena ja vaikeasti ymmärrettävänä. Mutta kuten todettiin, lämpöpumpputekniikka on jo vuosikymmenien ajan koeteltua tekniikkaa ja siihen voidaan luottaa jopa päälämmönlähteenä ja mukavan sekä turvallisen asuminen sydämenä.

Yleisesti kodinkoneista tunnetaan hyvin kaksi kylmälaitetta, jääkaappi ja pakastin. Niiden tarkoitus on siirtää lämpöenergiaa pois ulkopuolisesta tilasta eristetyistä kaapista. Jääkaapin takana on ohuesta putkesta tehty lauhdutin, joka ulkopuolella olevaa ilmaa lämpimämpänä saa ilman liikkumaan ja siirtämään lämpöä huoneeseen. Kaapin sisäpuoli puolestaan kylmenee jäähdyttäen sen sisällön, eli ruokatarvikkeet. Jääkaappi on siis lämpöpumppu, lämpöenergian suunta vain on ulospäin. Lämmitystarkoitukseen suunnitellut lämpöpumput toimivat toki suuremmilla tehoalueilla kuin jääkaapit tai pakastimet, mutta periaate on näissä sama. (Perälä, 2009. 29.)

Lämpöpumppujen pääkomponentit ovat sähkömoottori, kompressori, pumput, paisunta-venttiili ja lämmönvaihtimet sekä kokonaisuutta ohjaavat mikrokontrolleri ohjelmistoinen. Lämpöpumpun, tai tässä tarkemmin maalämpöpumpun, tarkoituksena on siirtää energiaa toisesta paikasta toiseen ja eri lämpötila-alueista toiseen välittäjäaineen avulla. Tätä välittäjäainetta kutsutaan kylmäaineeksi. Muita lämpöpumppuja ovat ilma-, poistoilma- ja Ilma-vesilämpöpumput. Nämä kaikki toimivat kaasun- ja nesteen olomuodon muutokseen perustuvaan prosessiin. Toinen lämpöpumppujen pääasiallinen tyyppi on absorptiopumppu, jonka toiminta perustuu ammoniakkiin imeyttämiseen veteen ja sen kiehuttamiseen. Absorptiopumput ovat suuren mittakaavan laitoksia ja niitä ei tässä yhteydessä enempää käsitellä. (Oikkonen 2009, 2-3.)

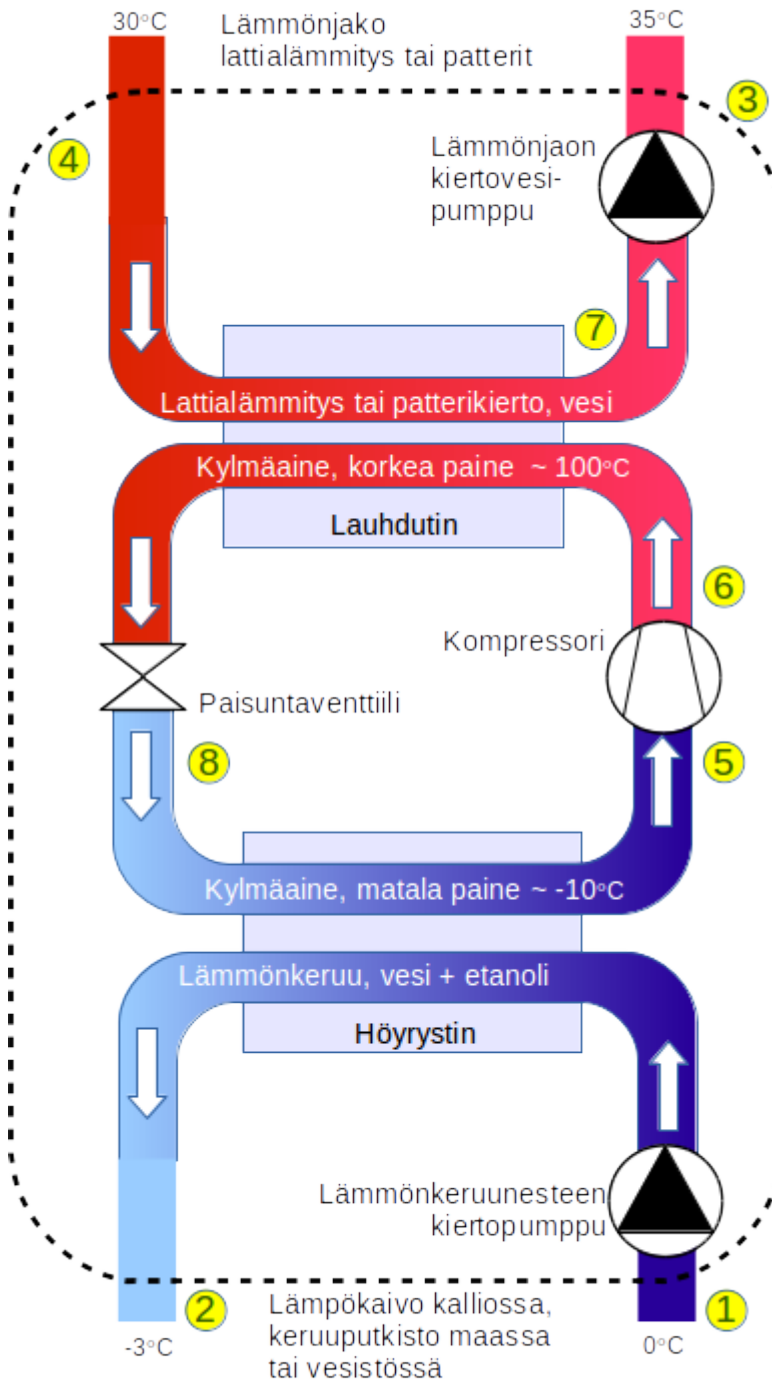
Kompressorit voidaan jakaa avoimiin, hermeettisiin ja puolihhermeettisiin. Avoimessa kompressorissa voima johdetaan moottorilta akselilla kompressoriin, joka vaatii mekaaniselta tekniikalta paljon tiivistyksen osalta. Hermeettisessä kompressorissa moottori ja mäntäkoneisto ovat samassa suljetussa kuoressa ja kylmäaineella hoidetaan moottorin jäähditys. Puolihhermeettinen tarkoittaa avattavaa rakennetta, jolloin päästään tekemään

huoltotoimenpiteitä kompressoriin. Muita kompressorityyppejä ovat kiertomäntäkompressori, kierukka- eli scrollkompressori, ruuvikompressorit sekä turbokompressorit. (Aittomäki ym 2012a, 138-157.)

Nesteillä lämpöä siirtävissä lämpöpumpuissa yleisin höyrystimen rakenne on levylämmönsiirrin jossa päällekkäin kasatut levyt muodostavat lämmönkeruunesteen kanaviston ja joka toinen levy muodostaa kylmäaineen virtauskanavan. Samaa rakennetta käytetään myös lauhduttimena. Muista lämmönvaihdintyypeistä mainittakoon koaksiaalilämmönvaihdin jossa suuremman putken sisään on sijoitettu pienempi putki ja tämä kokonaisuus kierretty kerälle. Moniputkilämmönvaihtimessa on rinnan monta putkea kahdessa eri kanavistossa, jolloin lämpö pääsee siirtymään rinnakkaiseen putkeen ja kiertoon. (Aittomäki ym 2012a, 171-177.)

Maalämpöpumpussa on kolme kiertoa kuvan 3 osoittamalla tavalla. Kuvaa katsoessa alhaalta ylöspäin, ensiksi tulee lämmönlähde eli maakierto. Se voi olla maan päällä oleva lenkki tai kallioon porattu kaivo, johon on upotettu muoviputki. Putkessa kiertää yleisimmin vesi-etanoliseos, jotta se ei jäädy. Lämmönkeruun kiertopumppu kierrättää nestettä ja kiertäessään se sitoo lämpöä joko kalliosta, vesistöistä tai maanpinnasta maaputkiston ollessa kyseessä. Lämpöpumppuun sisään tulevan nesteen lämpötila vaihtelee kaivon paikasta, kivilaadusta ja mahdollisista pohjavesien virtaamista riippuen. Maapinnalla olevat keruupiirit ovat tyypillisesti n. 400 metrisiä ja kallioon poratut kaivot 100-200m syviä (piirin kokonaispituus n. 200-400m). Yleisimmin kuvataan, että maasta tuleva keruuneste on noin 0°C. Höyrystimessä keruuneste jäähtyy ja maahan palaava neste on noin luokkaa -3°C. Samaan aikaan kylmäainekierrossa paisuntaventtiililtä tullut kylmäaine on nesteenä lämpötilaltaan n. -10 – -20°C ja se höyrystyy höyrystimessä maasta tulevan lämpöenergian vaikutuksesta. Seuraavaksi kompressori nostaa kaasun paineen ja samalla sen lämpötila nousee korkeaksi. Nyt kaasuna oleva kylmäaine kohtaa lauhduttimessa (joka on siis lämmönvaihdin kuten höyrystinkin) viileämmän lämmityskierron veden ja se nesteytyy samalla luovuttaen kompressorin siihen antaman puristustehon, että maasta maakierrolla kerätyn energian, nk. höyrystymislämmön. Kierros alkaa uudelleen korkeassa paineessa olevan nestemäisen kylmäaineen menettäessään painetta paisuntaventtiilillä ja jäähtyessä samalla jälleen n. -10 °C tasolle. Tällä prosessilla saadaan n. lämpökerroin 3 eli jos kompressoriin syötetään ostettua sähkötehoa 3 kilowattia, saadaan lämmönluovutuskierrossa ulos noin 9 kW eli 3 kW kompressorin puristustyötä lisättynä 6 kW:lla ilmaisenergiaa höyrystimeltä joka siis saa energiansa lämmönlähteestä, esim. kalliosta. Tähän yksinkertaistettuna perustuu lämpöpumpun toiminta ja vaikka tässä kuvattiin maalämpöpumppu, on periaate sama myös muilla kaasu-nestekierron variaatioilla (Ketonen, 2012. 6-15). Esi-

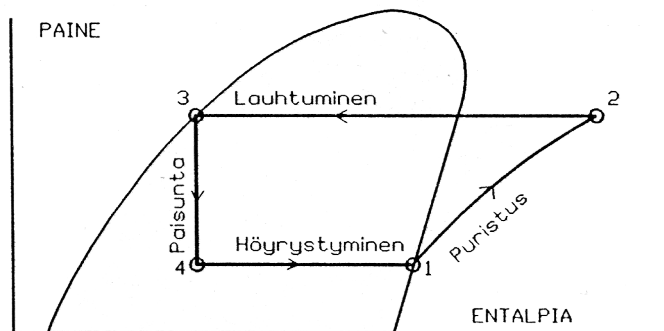
tetyt lämpötilat ovat havainnollistamistarkoituksessa annettuja eivätkä välttämättä vastaa toimivan laitoksen lämpötiloja.



Kuva 3: Maalämpöpumpun toimintaperiaate (mukaillen Räisä, 2013. 3.)

Yksinkertaistettuna kylmäainekierron prosessi voidaan kuvata malliprosessin keinoin. Logaritmisessa paine - entalpia (Log p-h) tilapiirroksessa (kuva 4) kuvataan kylmäaineen tiloja eri olomuodoissa, faaseissa. Entalpia on aineen lämpömäärä (Nydal, 1994. 18). Kuvaajan oikean puolen käyrä on kylläistä höyryä ja sen kokonaan oikealla puolella oleva alue tulistettua höyryä. Tulistuminen tarkoittaa kuumempaa höyryä kuin aineen kyllästy-

mislämpötila. Kuvaajan vasen puoli taas on kylläinen neste. Kuvaajan sisäpuolinen alue on sekoittumisalue, jossa muutos nesteestä höyryksi, tai päinvastoin, tapahtuu. Prosessin pisteiden väli 1 ja 2 kuvaa kompressorin tekemää puristusta jossa höyrynä oleva kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen ja tästä johtuen kaasun lämpötila nousee eli se tulistuu. Kompressorin puristustyö liittyy kokonaisentalpiaan eli se kasvaa. Janalla 2–3 tapahtuu lauhtuminen lauhtuttimessa eli kuumakaasu luovuttaa lämpösisältönsä jäähdytysaineeseen, myös tulistuksen sisältämän lämpömäärän. Pisteiden 3 ja 4 välillä tapahtuu nesteen paineen lasku ja sen johdosta myös kylmäaineen lämpötila laskee. Kierron viimeinen askel on nesteolomuotoisen kylmäaineen höyrystyminen höyrystimessä sitoen lämpöenergiaa lämmönlähteestä. Tasapainossa oleva laitos antaa lauhtuttimelta yhtä paljon energiaa kuin höyrystin ottaa lämmönlähteestä lisättyä kompressorin puristusvaiheessa prosessiin luovuttava energia. (Nydal, 1994. 63-71.)



Kuva 4: Kylmäaineen kierron malliprosessi (Nydal 1994. 64).

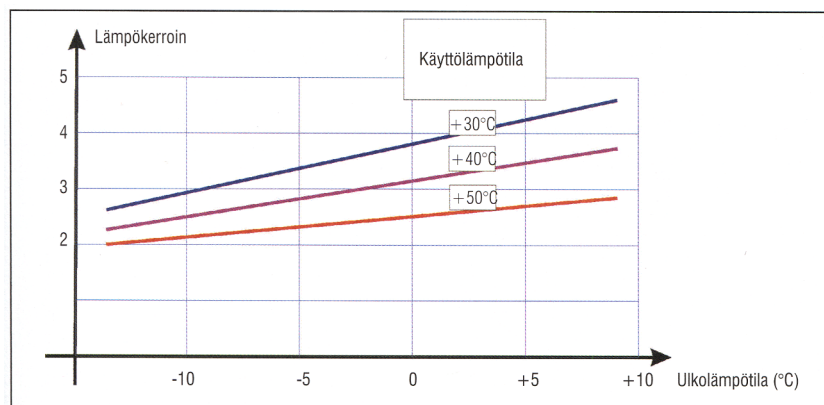
Lämpökerroin on lämpöpumpuissa yleisesti käytettävä suure, joka kertoo kuinka tehokkaasti kylmäaineprosessi toimii. Lämpökerrointa kutsutaan lyhenteellä yleisesti COP:ksi ja se tulee englanninkielien sanoista *Coefficient Of Performance*. Lämpökerroin riippuu lämmönlähteen ja lämmönjaon välisestä lämpötilaerosta siten, että mitä suurempi tuo ero on, sitä huonompi lämpökerroin saadaan. Carnot-lämpökerroin saadaan seuraavan kaavan tuloksena:

$$\text{lämpökerroin} = \frac{T_2}{(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

jossa T_1 on lämmönlähteen lämpötila kelvineinä ja T_2 käyttökohteen eli lämmönjaon lämpötila. Celsiusasteet saa muutettua kelvineiksi lisäämällä luvun 273 (tarkemmin 273,16, mutta tällaisella tarkkuudella ei ole tässä yhteydessä merkitystä). Tämä teoreettinen laskentatapa ei kuitenkaan pidä paikkaansa reaalisovelluksissa, koska kaikki prosessin ylläpitoon tarvittava ohjaus- ja kompressoitien energia jätetään huomioimatta. Tarkemmassa,

huomattavasti monimutkaisemmassa laskennassa pitää edellä mainittujen seikkojen lisäksi ottaa huomioon kylmäaineen lämpötilat heti kompressorin jälkeen (mittauspiste 6 kuvassa 3) tai paisuntaventtiilin jälkeen (mittauspiste 8 kuvassa 3), niiden ollessa huomattavastikin poikkeavia jotta lämpöenergiaa ylipäättään siirtyy. Edellä mainituista syistä lämpökerroin 3 on hyvä. Carnot'n lämpökertoimen kaava on erinomaisen hyvä auttamaan ymmärtämään lämpöpumpputekniikan olevan parhaimmillaan matalalämpölämmitysjärjestelmissä. (Perälä, 2009. 30-31.)

Seuraava kuva havainnollistaa teoreettista lämpökertoimen kaavaa ja lämpökertoimen ominaisuutta heikentyä mitä suurempi lämpötilaero lämmönkeruun ja lämmön käyttökohteen välillä vallitsee.

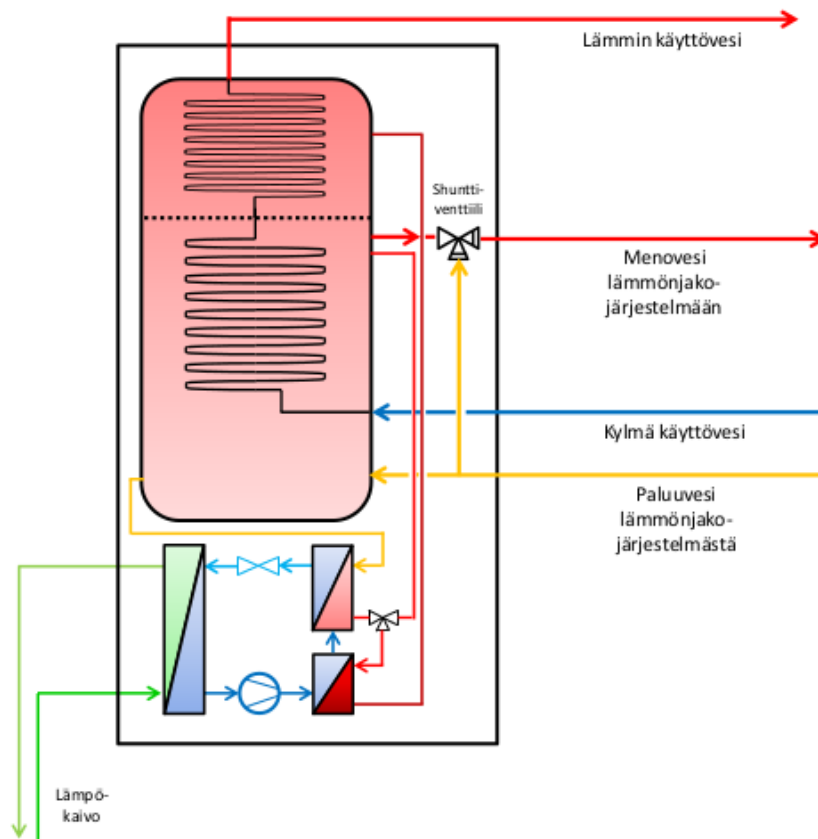


Kuva 5: Lämpökertoimen suhde käyttö- ja ulkolämpötilan eroon (Perälä, 2009, 33).

Lämpöpumppujärjestelmiä kutsutaankin yleisesti matalalämpöjärjestelmiksi siitä syystä, että niiden tehokkuus on parhaimmillaan matalalla lämmönjaon lämpötiloilla ja siksi usein lämmönluovutus tehdään lattialämmitysjärjestelmillä tai puhallinpattereilla. Maalämpöjärjestelmää voidaan käyttää myös tavallisen patteriverkoston kanssa, mutta silloin on huolehdittava riittävän suuresta lämmönluovutusalueesta suhteessa kiinteistön energiankulutukseen. Yli 50 °C kiertoveden lämpötilan tarvitsevaan lämmönjakojärjestelmään maalämpöpumppu ei sovellu hyvin, toki se toimii käyttäen enemmän suoraa sähkötehoa lämpöpumpun siirtämän ilmaisen maalämmön sijaan. (Ketonen, 2012. 17-18.)

Maalämpöpumpuissakin löytyy kaksi eri alalajia, niin kutsuttu tulistuspumppu ja vaihtoventtiilipumppu. Lyhyesti näiden kahden ero on siinä, miten lämmityskäyttöön ja lämpimään käyttöveteen siirretään tarvittava energia. Tulistuspumpussa on enemmän lämpöpumpputekniikkaa ja siten se on myös hieman kalliimpi kuin vaihtoventtiilillä toimiva laitos. Tulistuspumpussa on yhden lauhtuttimen lämmönvaihtimen sijaan kaksi kuten Lämpövinkki Oy:n maalämpöpumpun valintaoppaassa kuvataan kuvassa 6. Ensimmäisestä lämmönvaihtimesta eli tulistimesta saadaan erittäin kuumaa vettä, mutta suhteellisen pieniä

määriä. Toisesta lämmönvaihtimesta, lauhtutimesta, saadaan pääosa energiasta ja se siirretään kaksiosaisen varaajaan alaosan kautta lämmitykseen ja osa siirretään esilämmitettyä tulistimeen, joka edelleen siirretään kaksiosaisen varaajan yläosaan lämpimän käyttöveden tarpeisiin. Vaihtventtiilipumpussa on kuvan 3 mukaisesti vain yksi lauhdutin ja sen jako talon lämmityksen ja lämpimän käyttöveden välillä tapahtuu yksinkertaisella sähkökäyttöisellä vaihtventtiilillä. Vaihtventtiilipumppu on jonkin verran halvempi yksinkertaisemmän rakenteensa ansiosta. (Lehtinen, 2013.)



Kuva 6: Tulistinlämpöpumpun kaaviokuva (Lehtinen 2013, 7)

Lämpöpumpuilla on kaksi lauhtumislämpötilan säätötapaa, vaihtuva lauhdutteinen ja kiinteä lauhdutteinen. Erona näillä kahdella on siinä, että kiinteä lauhdutus vaatii suuren energiavaraajan jonne lämpöpumppu syöttää energiaa ja vasta varaajasta lämpöenergia jaetaan eteenpäin kiinteistön lämmönjakoon. Kiinteässä lauhtutuksessa lämpökerroin jää heikoksi, koska lämpöpumpun lauhtumislämpötila on korkea. Vaihtuvassa lauhtutuksessa lämpöpumpun lauhtumislämpötila seuraa rakennuksen lämmönjaon paluulämpötilaa, jolloin lauhtumislämpötila pysyy matalana ja sitä kautta lämpökerroin hyvänä. (Laine, 2014. 21.)

2.5 Kylmäaineet

Kylmäaineille on annettu kansainvälisen sopimuksen mukaan oma symboli eli nk. R-numero. Tällä symbolilla tiedetään kylmäaineen kemiallinen koostumus. (Nydal, 1994. 215.)

Freonit eli CFC-yhdisteet eli täysin halogenoidut kloorifluorihilivety-yhdisteet ovat olleet kiellettyjä valmistaa ja maahantuoda Suomessa vuodesta 1995 lähtien. Tämä johtuen niiden vaikutuksista otsonikerroksen ohentumiseen atmosfäärissä. Otsoni suojaa maapallon ihmiskuntaa haitalliselta ultravioletisäteilyltä. CFC-yhdisteet myös kiihdyttävät kasvihuoneilmiötä. Verrattuna hiilidioksidiin, freonien haittavaikutus on moninkertainen, 1kg hiilivetyä vastaa useita tonneja hiilidioksidia. (Nydal, 1994. 220.)

Siirtyminen pois ilmastoa haittaavista kylmäaineista on vaatinut kahta polkua, pitkän ja lyhyen aikavälin yhdisteitä korvaaviksi kylmäaineiksi. Lyhyen aikavälin aineet ovat olleet HCFC- eli osittain halogenoituja kloorifluorihilivety-yhdisteitä, esimerkiksi R22 kylmäaine. (Nydal, 1994. 222.)

Vuoden 2015 alusta ei HCFC- yhdisteitä ole enää voinut käyttää missään kylmlaitteiden huoltotoimissa. Uusien HCFC aineiden käyttö on ollut kiellettyä vuoden 2010 alusta lähtien. (Ympäristöhallinto 2015.)

Fluorihilivedyt eli HFC:t ovat tällä hetkellä yleisimmin käytettyjä kylmäaineita. Niiden etuna kiellettyihin freoneihin eli CFC-yhdisteisiin on, että ne eivät aiheuta otsonikatoa, ovat myrkyttömiä sekä biologisesti hajoavia. HFC:tkin ovat kasvihuonekaasuja, joten mistään harmittomasta aineesta ei suinkaan ole kyse. Nykysovelluksissa kylmäaineet R134a ja R407C ovat käytetyimmät. Ammoniakki on lämmitysominaisuuksiltaan edellä mainittuja parempi, mutta sen myrkyllisyys ja suhteellisen matala maksimilämpötila rajaa käyttökohteet isompiin laitoksiin kuin kotitalouksissa käytetään. Hiilidioksidia on nähty nykyaikaisissa laitoksissa erityisesti japanilaisissa käyttövesisovelluksissa, sen korkean veden lämpötilan saavutettavuuden vuoksi. Yleistä kaupallista menestystä hiilidioksidilaitokset eivät vielä ole saavuttaneet ja niiden kehitystyö etenee edelleen. (Matikka, 2009. 10-11.)

2.6 Lämmitysjärjestelmän mitoittaminen

Ympäristöministeriön laatima D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma määrittelee lakiperusteet rakennusten lämmitysjärjestelmien mitoittamiselle. Kiinteistön suunnitteluvaiheessa LVI-suunnittelija tekee laskelman perustuen määräyskokoelman kulloinkin voimassa olevien vaatimusten mukaan. Laskentamenetelmä on yksinkertaistettu, joka ottaa huomioon oleellimmat Suomen olosuhteissa vaikuttavat tekijät. Pääpiirteissään laskennasta

saadaan rakennuksen energiatase, jossa kuukausittainen rakennukseen sisään tuleva energiamäärä vastaa ulos poistuvaa. Laskennassa huomioidaan lämpöhäviöenergiat, käyttöveden lämmitys, lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt, laitesähkö (kodinkoneet, yms.), lämpökuormat (esim. auringon säteilyenergia, paikkakunnan lämmitystarveluku, jne.), jäähdytys, lämmitys. Näistä saadaan rakennuksen koko energiankulutus ja valitusta lämmitysmuodosta riippuen voidaan laskea ostoenergiakulutus. (Rakennustietosäätiö, 2007. 121-130.)

Rakentamismääräysten muutos energiaa säästävempään suuntaan ajan suhteen näkyy kuvaavasti seuraavassa ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksien energiatehokkuuden parantamiseksi korjausrakentamisessa.

	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,40	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maavarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0

Kuva 7: Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, W/m^2K . (Ympäristöministeriö 2013a)

Lämmönläpäisykertoimien muutos rakennusmääräyksissä vuodesta 1969 vuoteen 2012 on lähes 70% eli suunta vähemmän kuluttavaan rakentamiseen on merkittävä.

Itse lämmitysjärjestelmä mitoitetaan lähes aina ylitehoiseksi. Tämä siksi, että ei voida ennakoida tulevia säätiloja. Maalämpöjärjestelmässä on kaksi mitoituspäätettä, täysi- ja osatehoinen. Osatehoisessa katetaan rakennuksen vuosittainen lämmitysenergiatarve lämpöpumpulla, mutta pelkällä maalämmöllä ei saavuteta mitoittavaa ulkolämpötilaa vastaavaa tehoa kokonaan, vaan kovilla pakkasilla otetaan sähkövastukset mukaan apuun. Tällainen mitoitus on pumpun käytön ja investoinnin kannalta järkevää. Täystehoisella järjestelmällä katetaan koko suunniteltu rakennuksen lämmitykseen vaatima tehoalue. (Lehtinen 2013, 14.) Esimerkiksi puolitehoinen lämpöpumppu pystyy parhaimmillaan kattamaan jopa yli 90% rakennuksen vuosittaisesta lämmöntarpeesta (Aittomäki ym 1999. 4). Erittäin kireät pakkaset ovat päivissä laskettuna kuitenkin melko harvinaisia koko vuoden tarkastelujaksolla, ainakin eteläisimmässä Suomessa.

Maalämpöpumpun lämmönlähteen mitoittaminen riippuu suurimmaksi osaksi rakennuksen energiankulutuksesta, joka saadaan kiinteistön suunnitelmista. Käyttöveden ja rakennuksen jäädytyksen vaikutus otetaan huomioon. Suunnittelusta vastaa aina maalämpöjärjestelmän toimittaja. Energiakaivon tapauksessa merkitsevät metrit syvyydessä ovat nk. teholliset metrit, joka tarkoittaa keruuputkiston vedessä olevaa pituutta. Toimittajat saavat laskennallisen tuloksen lämpöpumppuvalmistajien mitoitusohjelmasta ja tähän laitetaan varmuusvaraa yleensä n. 10-20m. Aittomäen mukaan energiakaivon energiananto on luokkaa 50 kWh/m vuodessa yhdellä keräimellä (Leppäharju 2008, 24). Tosin tätä arvoa on tarkennettu väliin 80-150kWh/m myöhemmin (Aittomäki ym 2012a, 352). Eri energiakaivosta saatava lämpömäärä voi siis vaihdella merkittävästikin. Energiakaivokentän – useampi rinnan kytketty lämpökaivo – ollessa kyseessä, suositellaan tarkempia tutkimuksia geologisten ominaisuuksien kartoittamiseksi ennen energiakaivojen poraamista. Tämä siksi, että esimerkiksi graniitin lämmönjohtavuus on noin 3,4 W/mK kun taas kiilleliuskeen n. 2,0 W/mK, kumpienkin ollen hyvin yleisiä Suomessa tavattavia kivilajeja. (Ympäristöministeriö 2013b, 30.)

Suomessa yleisen pintamaakeruupiirin pääasialliset mitoitustekijät löytyvät piirin pituudesta mutta myös maaperän laadusta. Keruupiiriä tarvitaan n. 3-10 metriä per rakennuksen pinta-alan neliometri. Kosteasta savesta saa enemmän energiaa kuin kuivasta hiekasta. Kuvaa antavia energiansaannon maksimiarvoja ovat esimerkiksi saven etelän 60 kWh/m pohjoisen 35 kWh/m:n. Hiekalla vastaavat: etelä 40 kWh/m ja pohjoinen enää 10 kWh/m. (Leppäharju 2008, 20-21.)

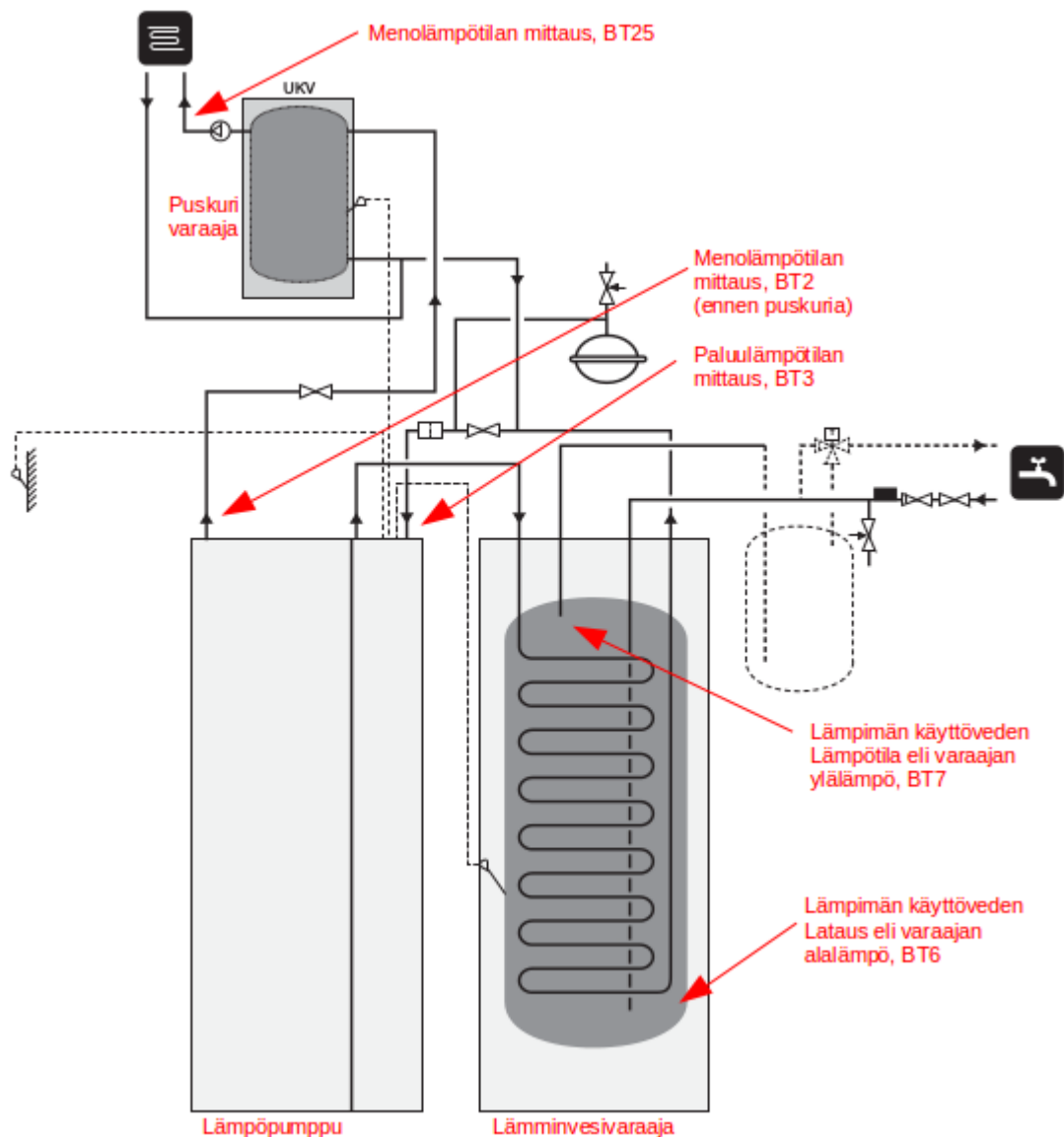
Vesistön tai sen pohjasedimentin ollessa lämmönlähteenä, voidaan energiansaantoa 70-80 kWh/m pitää hyvänä lähtökohtana. Sedimentin hyvä puoli on sen maanpinnan keskilämpötilaa korkeampi keskilämpötila riittävän syvällä, joka johtuu vesistön pohjan isosta lämpötilojen vaihtelusta. (Leppäharju 2008, 21.)

2.7 Pientalon lämmönjako

Lämmönjaon tekniikoita on useita, joista vesikiertoinen lattialämmitys on saavuttanut nykypäivänä suuren suosion, vesikiertoinen lattialämmitys valittiin vuonna 2008 noin 60% uusista pientaloista (Motiva Oy, 2014). Siinä vesiputket valetaan lattiaan ilman liitoksia ja yhdistetään jakotukkiin. Jokainen huone saa oman säädettävän piirin tai useampia. Lattiaa voidaan lämmittää myös sähköllä lattialämmityskaapeleilla ja käyttää lattian varaavaa massaa hyödyksi halvemman yösähkön aikaan. Patterilämmityksessä vesi kierrätetään huoneistossa sijaitsevilla radiaattoreilla joko yksi- tai kaksiputkijärjestelmässä. Kaksiputkijärjestelmässä vedelle on meno ja paluuputki kaikille radiaattoreille erikseen eli ne ovat

rinnankytkettyjä. Yksiputkijärjestelmässä pattereiden kytkentä on sarjaan. Muita lämmönjakomuotoja ovat säteily- ja ilmalämmitys jakautuen lattiapuhallukseen, katto- tai seinäpuhallukseen, ilmakiertoiseen lattialämmitykseen ja kiertoilmalämmitykseen. (Rakennustietosäätiö RTS, 2007. 11-12.)

Lämmönkehittimen, tarkemmin lämpöpumpun tässä tapauksessa, oikean toiminnan takaamiseksi tulisi lämmönjaon vapauttaa energiaa niin, että kylmäaineprosessi toimii optimaalisesti. Pattereiden ollessa kyseessä lämpöpumpusta lähtevän ja tulevan veden lämpötilan erotus kovimmilla pakkasilla tulisi olla noin 10 astetta celsiusta ja lattialämmössä 6-8 astetta celsiusta. (Nibe Energy Systems Oy. 3.)



Kuva 8: Maalämpöjärjestelmän kytkentäesimerkki puskurivaraajalla ja mittauspisteitä havainnekuvasa (Nibe AB Sweden a)

Jos lämmönjaon vesitilavuus on liian pieni lämpöpumpun tehoon nähden, voidaan järjestelmään kytkeä puskurivaraaja (kutsutaan myös työvaraajaksi) kuvan 8 osoittamalla tavalla. Puskurivaraajan voi kytkeä sarjaan lämmönjakoon tai ulkoisella pumpulla nk. hullunkierrolla, jolloin vesi kiertää aina puskurivaraajan kautta, vaikka lämpöpumppu ei tuottaisikaan lämpöä lämmönjakoon. Lämmityksen ajan lämpöpumpun sisäinen pumppu kierrättää vettä puskurivaraajan kautta nostaten sen lämpötilaa eli varaaja varautuu lämmöllä. Puskurivaraajan tilavuuden määrittelyssä ei ole tarkkaa ohjearvoa, mutta 10 litraa per kilowatti käytetään varsin yleisesti. Mitä suurempi puskurivaraaja, sen paremmin lämmönjaon vesimassaan voidaan varastoida energiaa. Puskurivaraajan tiedetään lieventävän teräsputkisissa vesipatterijärjestelmissä esiintyvää lämpölaajenemisesta aiheutuvaa napsuntaa.

2.8 Lämpöpumpun käynnin seuranta ja optimointi

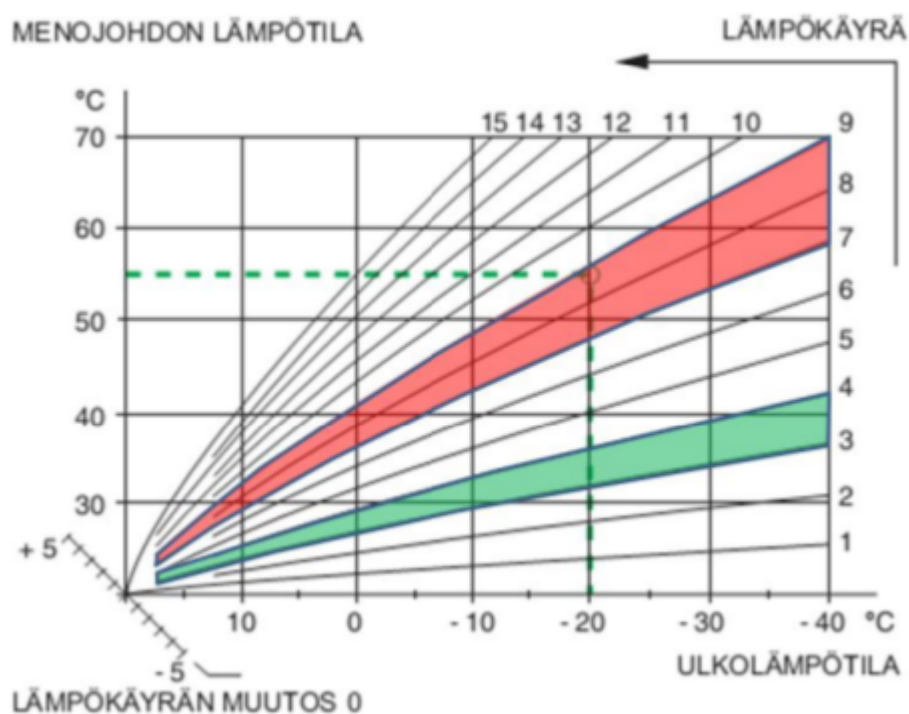
Mitä kiinteistön hallitsija sitten pystyy näin tekniselle laitokselle tekemään? Paljonkin, vaikka laitoksille lähes aina löytyy toimittaja ja vastuullinen huoltaja. Ennen kuin ryhtyy säätämään asetuksia, kannattaa siis ottaa yhteyttä laitoksen asentaneeseen yritykseen. Mutta kuten aiemmin totesimme, tekniikka ja ihminen lähestyvät toisiaan ja tosiasia on, ettei kuluttaja enää voi olla huomioimatta tietojenkäsittelyn hiipivän elämänsä, halusi sitä tai ei – niin myös talotekniikassa ja erityisesti maalämpöpumpuissa. Laitteet suoltavat jo nyt ison määrän anturitietoa ja pääosin lämpöpumpun oma ohjauslogiikka suorittaa varsinaisen kylmäaineprosessin valvonnan ja optimoinninkin hyvin pitkälle. Kuitenkin käyttäjän, laitteen huoltajan tai omistajan kontolle jää ajoittain tarkistaa laitteen antamia arvoja ja yrittää tulkita niiden perusteella onko laite edelleen toiminnassa, niin kuin se siihen tehtävään suunniteltiin. Myös energian säästäminen kallistuvilla energiamarkkinoilla (Tilastokeskus 2015) olettaisi kiinnostavan kuluttajaa. Optimoinnin kannalta käyttäjää kiinnostaa tiedot pumpun käyttömoodista, käyttöajasta, kiertovesipumppujen nopeuksista, jne. Riippuu valmistajasta ja laitteista miten näitä tietoja käyttäjälle välitetään, mutta nykyaikaisissa laitteissa ne näkyvät vähintään laitteen näytölle ilmestyvinä arvoina. Eri lämpöpumppujen ohjaimet tukevat erilaisia yhteyskäytäntöjä tietojen lukemiseen niiden rekistereistä.

2.8.1 Lämmönjako

Kaikkien lämmönluovuttimien toiminta perustuu kahteen fysikaaliseen ilmiöön, säteilyyn ja konvektioon. Konvektio tarkoittaa lämmön siirtymistä ympäröivään ilmaan ja sen aiheuttama ilman liikkumista. Säteilylämpö taas tarkoittaa lämmön siirtymistä suoraan lämpimämmältä pinnalta viileämpään. Patteriverkossa lämmön luovutus tapahtuu radiaattoreilla, joiden lämmönsiirto on mallista riippuen puolet säteilyä ja puolet konvektiota aina 20/80 suhteeseen saakka. (Rettig Lämpö Oy 2014. 19-23.)

Lattialämmityksessä periaate on sama kuin patterilämmönjaossa, lämmönluovutusala vain merkittävästi isompi ja sitä kautta lämpötilajakauma on tasainen koko huoneessa. Pinta-alan ollessa suuri, lattialämmitys sopii erittäin hyvin matalalämpöisille lämmitysjärjestelmille. Lattialämmityksen huonona puolena voi pitää hidasta reagointinopeutta riippuen lattia-materiaalin massasta. Massaltaan isossa betonilattiassa lattialämmitys reagoi hitaasti ulkopuoliseen energialähteeseen, kuten auringon tuottamaan lämpöön. (Leppiniemi 2012. 2-3.)

Patterilämmityksessä käytettävät lämpötilat ovat luokkaa 70 °C ja lattialämmityksessä käytetään alustavasti 35-50 °C mitoituslämpötiloja. (Leppiniemi 2012. 6.) Maalämpöpumpun optimaalisen käynnin kannalta merkitsevät lämpötilat lämmönjaossa ovat meno- ja tulo-lämpötilan erotus eli kuvassa 3 mittauspisteet 3 ja 4. Lauhtumislämpötilat lämpöpumpun tapauksessa ovat noin 35 °C lattialämmitykselle, ilmalämmitykselle 45 °C ja patterille 55 °C (Leppäharju, 2008. 18). Niben lämpöpumppujen tavoitearvot meno-paluu lämpötila-erolle ovat lämpöjohtopuolelle lämmityksessä 5–10 °C, käyttövedelle 8–10 °C ja uima-altaan lämmitykselle n. 15 °C. Näiden arvojen seuraaminen on siis lämpöpumpun optimaalisen käytön kannalta järkevää. (Nibe AB Sweden a. 29-30.)



Kuva 9: Lämmönjaon meno- ja tuloveden erotus lämpökäyrästä katsottuna. Paluuvesi on noin 2 käyrää alempi pattereilla toteutetussa lämmönjaossa ja noin 1 käyrä lattialämmityksessä. Patterit punaisella ja lattialämmityksen esimerkki vihreällä. (Nibe Energy Systems Oy. 3.)

2.8.2 Keruupiiri

Kuva 1 kertoo Suomessa maan keskilämpötilan olevan maksimissaan etelässä n. 6 °C ja geotermisen lämpögradientin nostavan sitä jopa asteella per sata metriä. Kun lämpökai- vosta otetaan energiaa lämmityskaudella, sen ympäristö jäähtyy. Tämä jäähtyminen ta- pahtuu kuitenkin niin, että viimeistään viiden vuoden kohdalla kaivon lämpötila ei enää juurikaan muutu. (Leppäharju, 2008. 25 - 26.) Tämän johdosta Suomessa kalliosta sisään tulevan lämmönkeruunesteen maksimilämpötila on noin 5 °C luokkaa laskien tästä kun lämpöpumppu käy ja ottaa kaivosta energiaa. Maanpinnan keskilämpötila vaihtelee -1 °C ja 11 °C välillä vuodenaikojen mukaan. Maanpinnan keruupiirin lämpötilat vaihtelevat siis huomattavasti enemmän kuin energiakaivon. Maapiirin lämpötilat harvoin kuitenkaan las- kevat merkittävästi pakkaselle faasimuutoksen vapauttaman energian ja lumipeitteen eris- tävän vaikutuksen johdosta. (Leppäharju, 2008. 7-10.) Vesistöistä tapahtuvan lämmönke- ruun lämpötilavaihtelut ovat n. 4-18 °C (Leppäharju, 2008. 23).

Nibe lämpöpumpuille annettu tavoiteltava lämmönkeruupiirin lämpötilaero on 2-5 °C (Nibe AB Sweden a, 29-30). 3 °C lämpötilaeroa pidetään yleisesti tavoiteltavana erona maaläm- pöpumpun lämmönkeruupiirissä.

2.8.3 Kylmäainepiiri

Kylmäainepiiri on tavallisen kiinteistönlämmittäjän kannalta suljettu ja vain ammattilaisten huollettavissa oleva kokonaisuus. Siksi sen säätäminen ei oikeastaan ole mahdollista pumpun käyttäjälle, mutta arvojen seuraaminen kannattaa silti. Isommassa lämpöpump- pumallissa F1345 on mittauspiste matalapaineelle sekä imukaasulle kuvassa 3 kohdassa 5 ja korkeapaineelle ja kuumakaasulle pisteessä 6. Pienemmissä lämpöpumpuissa F1145 ja F1245 on vain imu- ja kuumakaasun lämpötilan mittauspisteet. (Nibe AB Sweden a, 10.)

2.8.4 Tehon säätö ja lämpökäyrä

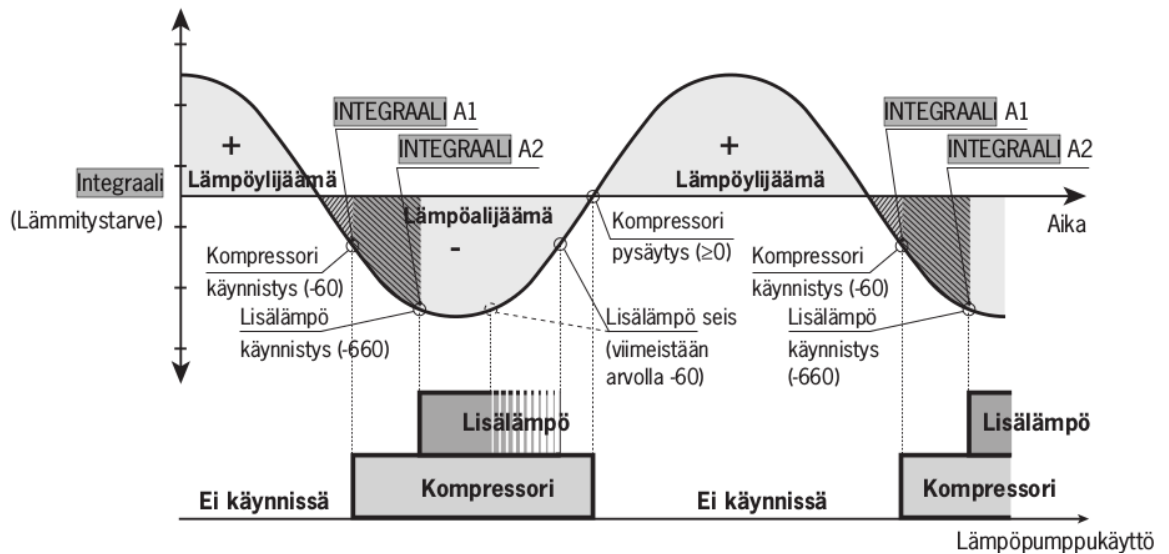
Rakennuksen vaatima lämmitysenergia lasketaan ulkolämpötilan mukaan kuvan 9 mukai- silla lämpökäyrillä. Lämpökäyrä kertoo lämpöpumpusta lämmönjakoon lähtevän veden lämpötilan ulkolämpötilan funktiona. Lämpökäyrä esisäädetään laitteistotoimittajan toimes- ta rakennus ja lämmönjako huomioon ottaen johonkin suositeltuun arvoon. Käyttäjän teh- täväksi jää hakea hienosäätö kohdalleen (tai antaa palaute toimittajalle hienosäätöä var- ten) varsinaisen asumisen kokemusten mukaan. Jos asunnossa on viileämpää pakkasel- la, tulee lämpökäyrää säätää yksi arvo ylöspäin ja vastaavasti jos pakkasella on asunnos- sa liian kuuma, laskea lämpökäyrää. Kun sisälämpötila ei enää juurikaan muutu ulkoläm-

pötilan muuttuessa, on käytössä oikea käyrä. Käyrän rinnakkaissiirtymää ("lämpökäyrän muutos" kuvassa 9) muutetaan isommaksi jos rakennuksessa on liian kylmä koko ulkolämpötila-alueella ja päinvastoin pienennetään jos on liian kuuma. (Nibe Energy Systems Oy. 2.)

Lämpöpumpuissa, jossa on tavallinen päällä-pois tyyppinen kompressorin ohjaus, pitää tehon säätö tapahtua jakamalla käyntiaika osiin ajan suhteen. Tämän mahdollistamiseksi lämpöpumpun ohjaustietokone laskee integraalin lämpökäyrän antamasta menolämpötilasta ja kytkee kompressorin ja pumppujen tekemään työtä kun tietty, ennalta asetettu raja tulee vastaan. Integraalia kutsutaan myös asteminuutiksi. Yksi aste eroa menevän lämpöjohtoon ja lasketun menolämpötilan välillä laskee tai nostaa asteminuuttiarvoa yhdellä yhdessä minuutissa. Integraaliin perustuva ohjaus tarkoittaa myös sitä, että lämmönjaossa kiertävän veden lämpötila vaihtelee merkittävästi kun kompressori on ajoittain päällä ja pois. Patterilämmityksessä patterit ovat siis viileämpiä sen aikaa kun lämpöpumppu ei tee työtä. Lattialämmityksessä tätä ei huomaa betonin ison varaavan massan tasatessa lämpötilanvaihteluja. Asteminuuttiasetus pitää asettaa niin, että sisällä rakennuksessa lämpötilanvaihtelua ei huomaa. Oletuksena tämän työn kohteena olevissa pumpuissa asteminuuttiasetus on -60. Tämä siis tarkoittaa esimerkiksi sitä, että lämmönjakoon on mennyt yksi aste viileämpää vettä kuin pyyntilämpötila, yhden tunnin ajan. Lisäenergia, ensimmäinen sähkövastus, tulee mukaan lämmittämään seuraavan portaan kohdalla (Integraali A2 kuvassa 10), esimerkiksi -660 asteminuuttia, jne. kunnes koko maalämpöpumpun lisäkapasiteetti on käytössä, esimerkiksi 6 kW. Tällöin laitoksen kokonaisteho on 6 kW suorasähkölämmitystä lisättynä kompressorin puristustehoon lisättynä höyrystintehoon. 10 kW nimellistehon lämpöpumpulla kokonaisteho voisi olla siis 16 kW.

Asteminuutit kasvavat positiiviseen suuntaan jos menolämpötila on suurempi kuin pyyntilämpötila. Tällöin rakennusta lämmitetään enemmän kuin mitä pitäisi lasketun menolämpötilan mukaan. Tässä työssä mukana olevat pumput lopettavat kompressorin käynnin arvossa 0 ja asteminuuttien kasvatuksen arvoon 100.

Kompressorin ohjaukselle löytyy myös edistyneempi vaihtoehto eli sähkön taajuuden muuttamiseen perustuva ja sitä kautta kompressorin sähkömoottorin kierrosnopeuteen vaikuttava invertteriohjaus. Invertteriohjatussa lämpöpumpussa kompressori käy aina kun lämmitys- tai jäähdystystarvetta on, mutta säätää tehoa moottorin kierrosluvulla (Kärkkäinen 2014. 23-24). Invertteriohjattujen pumppujen hintaero käyntiaikaohjattuihin pumppuihin verrattuna on pitänyt ne vielä melko harvinaisina.



Kuva 10: Lämpöpumpun käynnistys ja pysäytys integraaliarvon perusteella (Thermia Partners Oy, 17.)

Yksi tärkeä tehon säädöstä tuleva mittari on lämpöpumpun käynnistykset. Käynnistykset rasittavat kompressoria mekaanisesti ja siksi siihen pitää kiinnittää huomiota. Varsinkin pieni asteminuuttiasetus, liian isotehoisen pumpun valinta ja vähäinen lämmitysveden tilavuus saattaa vaikuttaa käynnistykseen kasvattavasti.

2.8.5 Käyttövesi

Käyttöveden lämpötilan seurannassa lämmönjaon lämpötilaero on seurattava suure. Tämä kertoo, paljonko lämpöä siirtyy lämminvesivaraajaan. Niben suositusten mukaan lämpötilaeron tulisi olla 8-10 °C (Nibe AB Sweden a, 30). Lämminvesivaraajan lämpötilan tulisi olla yli 55 °C Suomen rakentamismääräysten mukaan, legionellabakteerien vähentäessä merkittävästi pitkien, yli 46 °C lämpötilassa olevien ajanjaksojen jälkeen (THL 2015). Niben VPB varaajissa on anturitaskut sekä ohjaukselle, että varaajan lämpötilan näytölle. Ohjausanturin tarkoitus on antaa pumpun ohjausohjelmistolle tieto milloin käyttövesituotanto tulee aloittaa ja milloin pysäyttää. Varaajan näyttöanturin tehtävä on lähinnä näyttää käyttäjälle varaajan yläosaan kerrostunut lämpötila, joka on tiheämmän viileän veden ollessa pohjalla muutaman asteen korkeampi.

2.8.6 Lämpökerroin

Merkittävimpiä tekijöitä lämpöpumpun taloudellisen hyödyn mittaamisessa on nk. COP eli lämpökerroin, jonka häviöt huomioon ottamaton Carnot-lämpökerroin esitettiin aiemmin kaavassa (1). Lämpökerroin kertoo lämpöpumpun käyttäjälle lämpöpumpun luvatus suorituskyvyn toteutumisesta suunnitellussa toimintaympäristössä ja jos keskimääräistä lämpökerrointa seurataan pitemmän aikaa, antaa se kuvan mahdollisista muutoksista toiminta-

ympäristössä eli se osaltaan voi kertoa mahdollisesta kehittyvästä vikatilanteesta systeemissä. Todellinen toteutunut lämpökerroin yksittäisessä asennuskohteessa vaatisi virtaus- ja sähkönkulutusmittareiden asennusta, mutta riittävään tarkkuuteen päästään Suomen rakennusmääräyskokoelman lämpöpumppujen energialaskentaoppaan esittämällä laskentamenetelmällä.

$$COP_T = COP_M \left[1 - \frac{\frac{\Delta T_{LM} - \Delta T_{LS}}{2}}{\left\{ T_{HJ} - \frac{\Delta T_{LM}}{2} + \Delta T_L - (T_{LÄH} - \Delta T_H) \right\}} \right] \quad (2)$$

COP_T	lämpötilakorjattu lämpökerroin
COP_M	mitattu lämpökerroin testausolosuhteissa
ΔT_{LM}	meno- ja paluueden lämpötilaerotus testausolosuhteissa, °C
ΔT_{LS}	meno- ja paluueden lämpötilaerotus mitoitusolosuhteissa, °C
ΔT_{HJ}	lämmönjakojärjestelmän menoveden lämpötila, °C
ΔT_L	lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä lauhduttimessa, °C
$\Delta T_{LÄH}$	lämmönlähteen lämpötila, °C
ΔT_H	lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä höyrystimessä, °C

(Eskola, Jokisalo & Siren, 2012. 20.)

Lämpöpumput mitataan testiolosuhteissa standardin SFS-EN 14511-2 mukaan ja nämä arvot on saatavissa lämpöpumppujen valmistajien dokumentaatiosta, jolloin lämpötilakorjattu lämpökerroin on mahdollista laskea jos mitoitusolosuhteen arvot tiedetään. (Eskola ym, 2012. 20.)

3 Maalämpöjärjestelmä saneerauskohteessa

Työn käytännön pohjana toimii kirjoittajan oma koti, joka on vuonna 1958 rakennettu rinta-mamiestalo Etelä-Suomessa. Talon myynyt taho oli tehnyt peruskorjauksen aikavälillä 1987 - 1990 ja siihen kuului mm. rakenteiden sisäpuolisen eristyksen lisääminen, sähköjärjestelmän uusiminen, sähköisen lattialämmityksen asennus osaan tiloista, talon ulko-verhoilun uusiminen jne. Eri remonttikohteet olivat seuranneet toisiaan seuraavat vuodet eli toisin sanoen taloa oli pidetty hyvässä kunnossa.

Talossa on kerrosalaa 254 m², josta asuinpinta-alaa 139 m². Yläkerroksessa on kaksi makuuhuonetta, asuinkerroksessa keittiö, olohuone sekä kuisti. Neliön muotoiseen pohjakuvaan on 1970-luvulla lisätty rakennuksen kylkeen saunatila, joka 1990 saneerauksessa muutettiin tavalliseksi huoneeksi, saunan ja suihkutilojen sijaitessa kellarikerroksessa.

3.1 Talon aiemmat lämmitysjärjestelmät

Talossa on aikojen saatossa ollut monta eri lämmönlähdettä, osaltaan kuvastaen eri energiamuotojen kustannustasoa ja valottaen hieman myös ajankuvaa. Alun perin rakennuksen lämmityksestä ovat huolehtineet pönttöuunit, kaksi kappaletta asuinkerroksessa. Tämä oli mahdollista, koska yläkerros ei ollut asuttu vaan toimi vinttitilana. Asuinkerroksen kaksi huonetta pystyttiin pitämään lämpiminä näiden avulla.

Suullinen perimätieto kertoo vesikiertoisen keskuslämmityksen asennuksesta noin seitsemänkymmentäluvun puolella välissä. Tällöin lämmönlähteenä toimi puu- ja koksikäyttöinen kattila. Puulla toimiva lämmitys kesti talossa aina 2000-luvulle saakka kunnes talon 90-luvun peruskorjaajan ja omistajan motivoituneisuus päivittäiseen ennakkointiin puulämmityksen kanssa alkoi hiipua. Puulämmityksen ajoitusongelmaa tasoittavana hankkeena talon kellarissa sijainneen kodinhoituhuoneen tarkoitus muutettiin energiavarastoksi asentamalla sinne 3000 litran vesisäiliö. Tällä mahdollistettiin energian tallentaminen varaajaan työpäivän tai esimerkiksi yön ajaksi vähentäen puun poltosta aiheutuvia työvuoroja. Varaajaan asennettiin samalla 3 x 6 kW sähkövastukset mahdollisten puulämmityksen häiriötilanteiden varalle. Puu oli kuitenkin pääasiallinen lämmönlähde.

2000-luvun puolella välissä aika oli kypsä luopumaan puulämmityksen työllistävästä vaikutuksesta. Päivittäinen rutiini lämmityksen ja säännöllinen työrupeama puuenergian hankinnan kanssa oli ikääntyvälle pariskunnalle liikaa. Kattila poistettiin ja talon lämmityksestä vastasi nyt pelkästään sähkö ja kustannusoptimointi tehtiin sähkön yöaikatariffilla sähkönjakelijan verkkokäskyohjauksella. Kahden aikuisen vakituisen asukkaan vuosittainen säh-

köenergian käyttö oli myyjän arvion mukaan noin 23 kWh yö sähköä ja 7 kWh muun ajan sähköä.

3.2 Lämmitysjärjestelmän saneeraus

Loppuvuonna 2011 kirjoittaja teki kaupat talosta ja toisena perusvaatimuksena keittiön remontin lisäksi oli rakennuksen lämmönlähteen vaihtaminen sähköstä – mahdollisuuksien mukaan – maalämpöön. Kirjoittajan rivitalo-osakkeeseensa vuonna 2006 asennuttama ilmalämpöpumppu oli tutustuttanut hänet runsaaseen ja rikkaaseen keskusteluun lämpöpumpuista. Ilmalämpöpumpun tuoma energiansäästö rivitaloaluoneiston suoran sähkölämmityksen rinnalla, sekä lämpöpumpputekniikan hieman yllättäväkin maturiteetti olivat rohkaisevat tekijät harkita vakavasti lämpöpumppua uuden kodin päälämmitysjärjestelmäksi.

Rintamamiestalon myyjän arvio 30 kWh vuotuisesta energiantarpeesta vaikutti jo lähtökohtaisesti optimoidulta. Olihan vakituisia asujiakin vain kaksi aikuista ja talon sisälämpötila pidettiin kohtuullisen matalalla, 19 - 20 °C. Ostettavan talon tontti oli kaupunkiolosuhteiden vuoksi liian pieni maanpinnalle tai kaukana vesistöön asennettavan keruuputkiston asentamiseksi, joten energiakaivo jäi ainoaksi järkeväksi vaihtoehdoksi. Keskustelufoorumeilta kerätty tieto maalämpöjärjestelmän omajohtoisesta hankinnasta verrattuna avaimet käteen -lähestymisestä lupasi parhaimmillaan jopa kymmenien prosenttien säästöä hankintahinnassa. Hankkeessa olisi kolme isompaa kokonaisuutta; kaivon poraus, maalämpöpumpun hankinta ja asennus- sekä putkitöiden hankinta. Mitä omajohtoisessa lähestymisessä menettää, on yhden kontaktipisteen etu ongelma- ja vikatilanteissa sekä asennusaikaisen projektin koordinoimisen. Työn vastuullinen tekijä on hankkeen rahoittaja itse, joten ensimmäinen ongelmanselvitys pitää tapahtua omatoimisesti. Sen jälkeen jokaisella kolmella pääalueella on omat takuu- ja toimitusehdot eli tälläkään lähestymisellä ei kiinteistön huoltaja jää yksin. Hänellä pitää vain olla sen verran ymmärrystä kokonaisjärjestelmästä, että pystyy tekemään alustavan vika-analyysin itse ja koordinoimaan mahdollista huoltoa näiden kolmen alueen kesken.

Lämmitysjärjestelmän saneerausprojekti käynnistyi vuoden 2012 alussa välittömästi toimenpidehakemuksella kaupungin rakennusvalvontaan. Kirjoittajan asuinalueen ehdoissa energiakaivon sijainnin minimimatkat ovat: 3 m rakennukseen, 7,5 m tontin rajasta, 15 m toiseen energiakaivoon ja 20 m tavalliseen rengaskaivoon ja 40 m porakaivoon käytövedelle (Järvenpää). Nämä täyttyivät tässä tapauksessa lähes sentilleen. Lämpöpumppu hankittiin verkkokaupasta kriteerinä yleisyys keskustelufoorumien keskustelijoiden parissa ja sitä kautta saatu palaute laitteiston toimintavarmuudesta ja yleisestä käyttäjien tyytyväisyydestä. Vaihtoventtiilipumpun ja tulistinpumpun välillä tehty valinta tehtiin pelkätään saman sosiaalisen median joukkotiedon ja eri toteutustekniikoiden hintavaikutuksen

varassa. Hankintaan valikoitui 10 kW nimellistehoinen Nibe Fighter F1145 maalämpöpumppu. F1145:ssa ei ole integroitua lämminvesivaraajaa, vaan se hankittiin erikseen, Nibe VPB200. Tällä helpotettiin asennusta 2 metriä korkeaan kellaritilaan integroidun lämpöpumpun ja varaajan ollessa lähes 2 m korkeudeltaan. Lisäksi hankittiin lämmönjaon puskurivaraaja UKV100 vähentämään patteriverkon napsumisilmiötä. Kytkenä on kuvassa 8 olevan esimerkkikytkennän mukainen, paitsi että puskurivaraaja on kytketty neljällä liitännällä. Putki- ja sähkömies otettiin tuntiperusteisella laskutuksella tekemään liitostyöt.

Vertailukohdan saamiseksi pyydettiin avaimet käteen -tarjoukset kolmelta toimittajalta. Hinnassa ero toimittajien ja omatoimiprojektin välillä ei ollut odotusten mukainen, vain noin 10% luokkaa, mutta selkeimmin ero näkyi energiakaivon mitoituksessa. Toimittajien arviot rakennuksen energian tarpeesta muutettuna energiakaivometreihin vaihtelivat 130 ja 160 metrin välillä. 10% hintasäästöllä pyydettiin porausyritystä tähtäämään 180 metrin aktiivisyvyyteen. Kirjoittajan tapauksessa energiakaivosta tuli hieman viileä, joka todennäköisesti johtuu pohjaveden virtaamattomuudesta kaivossa. Kaivo täyttyi muutaman päivän jälkeen porauksesta pinnan jäädessä 3 m maan pinnasta eli tehollisia kaivometrejä on siis 177 m. Kaivosta tulevan veden lämpötila ei ole kuitenkaan laskenut merkittävästi alle 0 °C eli kaivo toimii.

Talon radiaattoriverkosto oli alun perin rakennettu vapaakiertoiseksi ja sen vuoksi käytetty putkikoko on nykykäytäntöön verrattuna isohko yksi tuuma eli 25 mm. Tämä on hyvä lähtökohta lämpöpumppupohjaisille järjestelmille, koska isompi vesimassa tasaa kuvassa 10 kuvattua integraaliin perustuvaa säätöä. Itse F1145 lämpöpumppu toimii aina täydellä teholla kun se on päällä ja sen käyntiajalla säädetään energiantuottoa. Tämä tarkoittaa suurta lämpötilanvaihtelua patteriverkoston menolämpötilassa, jota siis mahdollisimman suuri vesimassa tasaa. Verkostossa on 17 radiaattoria kolmessa kerroksessa ja kaikista on poistettu termostaatit, koska lämpöpumppu ohjaa integraalinsa ja sisälämpöanturinsa pohjalta toteutuvaa lämpötilaa. Termostaatit vaihtuva lauhdutteisessa järjestelmässä joutaisi vain liian korkeaan menolämpötilaan joka taas vaikuttaisi heikentävästi lämpöpumpun lämpökertoimeen. Maalämpösaneerauksen yhteydessä omatoimiprojektissa säästelyillä varoilla vaihdettiin myös muutama yksilevyinen radiaattori Purmon C22 tyyppisiin, joissa kahden radiaattorilevyn lisäksi on lisätty kahdet konvektorivat tehostamaan lämmönsiirtoa. Näissä lämpösäteilyn osuus on noin 20% ja konvektion osuus on noin 80% verrattuna edellisten yksilevyisten 50-50 suhteeseen. Uudet radiaattorit siis siirtävät matalammassa tuloveden lämpötilassa saman määrän energiaa huonetilaan kuin vanhat.

Näillä toimenpiteillä rakennuksen lämmönsiirtoverkoston menolämpötila on 3 talven havainnointijaksoilla ollut maksimissaan 42 °C. Tämä on merkittävä tekijä hyvän lämpöker-

toimen ja kokonaistaloudellisuuden saavuttamisessa. Talon vuotuinen kokonaisenergiankulutus näyttää asettuvan noin 16 MWh suuruusluokkaan maalämmön asentamisen jälkeen. Karkean maalämpöjärjestelmän investoinnin takaisinmaksuajan saa käyttämällä sähkön hintaa 15 c/kWh (sis. energia, siirto ja verot) ja vuosittaista 14 MWh säästöä. Tästä tuleva noin 2100 € säästö jaettuna 17500 € investoinnilla tuottaa takaisinmaksuajaksi noin 9 vuotta.

4 Lokianalysointori

Kuten jo aiemmin todettiin, liittyy tavalliseen maalämpöpumppuun melkoinen määrä suureita joista voi päätellä laitoksen toimintakyvyn ja optimaalisen käynnin. Laitteita, joista näitä suureita voi tallentaa johonkin tallennusmediaan, on rajallinen määrä joten kuvattava ratkaisu ei voi olla yleinen apu kaikille maalämpöpumppumerkeille. Jäljempänä kuvataan kuitenkin mahdollisuus analysoida tietoja myös muista lämpöpumppumerkeistä ulkoisen Talogger-ohjelmiston tukemien laitteiden osalta.

Lokitietojen luennan haasteeksi muodostuu osittainen runsaudenpula ja ymmärryksen koostaminen, mikä suure on merkityksellinen millekin asialle. Suureiden sisältöä ja merkitystä on paljon pohdittu aiemmin mainituilla foorumeilla sekä laitteiden valmistajien omassa dokumentaatioissa ja käyttäjän harteille jää niiden esittäminen. Myös esittämiseen on helpohko ratkaisu taulukkolaskennan ja sen graafisten esitysmallien myötä sekä valmistajien omien maksullisten lisäpalveluiden muodossa. Varsinainen ongelma ilmaantuu lokitietojen määrän kasvaessa, taulukkolaskennalla on omat rajansa. Monesti tämä reitti sisältää myös hankaluuksia tiedonsiirron suhteen erotinmerkkien ja muiden yhteensopivuustekijöiden vuoksi puhumattakaan eri käyttöjärjestelmien ja ohjelmistojen ristiin toimimisesta.

Yllä mainittujen tekijöiden vuoksi tämän työn tekijä näki tarvetta sovellukselle, joka tekee käyttäjän puolesta suurimman osan tiedonsiirron välivaiheista sekä kertoo yhteenvetotyyppisesti maalämpöpumpun toiminnasta kuvaavia suureita ja niiden keskiarvoja annetulta ajanjaksolta. Nibe F1145, F1245 ja F1345 tuottavat oletuksena kuvan 11 mukaista lokiinformaatiota. Se on rivimuotoista, jossa yksi rivi vastaa kokonaista tietuetta ja sarakkeet ovat tietyn mittaussuureen eri arvoja.

1	Divisors	1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
2	Date	Time	version	BT1	BT2	EB100-EP14-BT3	BT6	BT7	EB100-EP14-BT10	EB100-EP14-BT11	EB100-EP14-E		
3	2013-01-31	20:56:51	3105	7	310	286	452	541	92	61	308	312	260
4	2013-01-31	20:57:51	3105	6	308	284	452	541	94	62	307	311	259
5	2013-01-31	20:58:51	3105	6	307	283	452	540	95	62	305	310	259
6	2013-01-31	20:59:51	3105	6	305	281	452	540	96	63	304	309	258
7	2013-01-31	21:00:51	3105	6	304	280	451	540	98	63	303	307	257
8	2013-01-31	21:01:51	3105	7	302	278	451	540	99	65	301	306	256
9	2013-01-31	21:02:51	3105	6	301	277	451	540	100	65	300	305	256

Kuva 11: Esimerkki Nibe maalämpöpumpun lokista

Vaikka tämän tekstitiedoston sarakkeet ovatkin kohtuullisesti dokumentoitu ja nykyaikaisen taulukkolaskentaohjelmistojen avulla melko helposti luettavissa ja graafisesti esiteltävissä, niin aivan kaikkia käyttäjiä tämä työ ei juuri kiinnosta vain muutaman kerran tapahtuvan maalämpöpumpun toimintaa esittävän lokiluennan vuoksi. Ja vaikka tämän prosessin voikin kohtuullisella vaivalla ohjeistaa muiden maalämmittäjien iloksi, niin viimeistään

eri toimistosovelluspaketit eri käyttöjärjestelmillä ja niiden versioerot tuovat mukanaan jonkin tavallisen käyttäjän lannistavan haasteen.

Tavoitteeksi määritellään mahdollisimman käyttöjärjestelmäriippumaton Nibe-maalämpöpumppujen lokimuotoa lukeva, ja niiden tiedoista yhteenvedon tekevä graafinen sovellus, jonka kuka tahansa PC tietokoneen peruskäyttötaidot omaava henkilö pystyy ajamaan.

Riittävän alusta- tai käyttöjärjestelmäriippumattomuuden varmistamiseksi ohjelma tehdään Javalla. Javan ajonaikainen komponentti eli *Java Runtime Environment*, JRE löytyy kolmelle tärkeimmälle PC käyttöjärjestelmälle eli Mac OS:lle, Linux:lle ja Windowsille. Tällä tavoitetaan tarpeeksi suuri joukko sovelluksen yleishyödyllisemmän päämäärän kohteita eli ihmisiä yrittämässä ymmärtää maalämpöpumppuansa. Kehitysympäristöksi soveltuu hyvin *Eclipse IDE (integrated development environment)* ohjelmointiympäristö, jota myös ohjelmoinnin kurssilla Haaga-Heliassa käytetään.

4.1 Määrittely

Vaatimuksina ohjelmiston toiminnallisuudelle luetellaan seuraavat asiat:

- ohjelman tulee toimia graafisessa työpöytäympäristössä, tällä haetaan yleisempää hyväksyntää muiden lämpöpumppulämmittäjien keskuudessa
- sen tulee osata lukea peräkkäisiä lokeja käyttöjärjestelmän näyttämältä tallennusmedialta
- sen tulee vähintään lukea Nibe F1145, F1245 ja F1345 lämpöpumppujen lokeja. Muiden merkkisten ja mallisten pumppujen lokiformaatteja voidaan – ja olisi jopa suotavaa lukea – mutta niitä ei opinnäytetyösuunnitelman palauttamiseen mennessä oltu saatu kuin mainituista laitteista
- sen tulee osata näyttää yhteenvetotiedot annetuista lokeista
- sen tulee osata näyttää suureiden arvot graafisena käyrinä ajan funktiona
- sen tulee osata tallentaa annettu tieto paikallisesti ohjelman omaan tietovarastoon
- lokitietojen sisään luku tietokannasta. Tämä mahdollistaa myös muun merkkisten lämpöpumppujen analysoinnin, ainakin teoriassa
 - koska tietokannan taulurakenne voi olla käyttäjän valitsema, pitää luettavat taulut olla konfiguroitavissa
 - dokumentoidaan erillinen lämpöpumpun Modbus väylästä tapahtuva tietojen luenta liitteenä
- ei-toiminnallisena vaatimuksena on ohjelman kyky lukea maksimissaan yhden kuukauden lokitiedot ja esittää ne

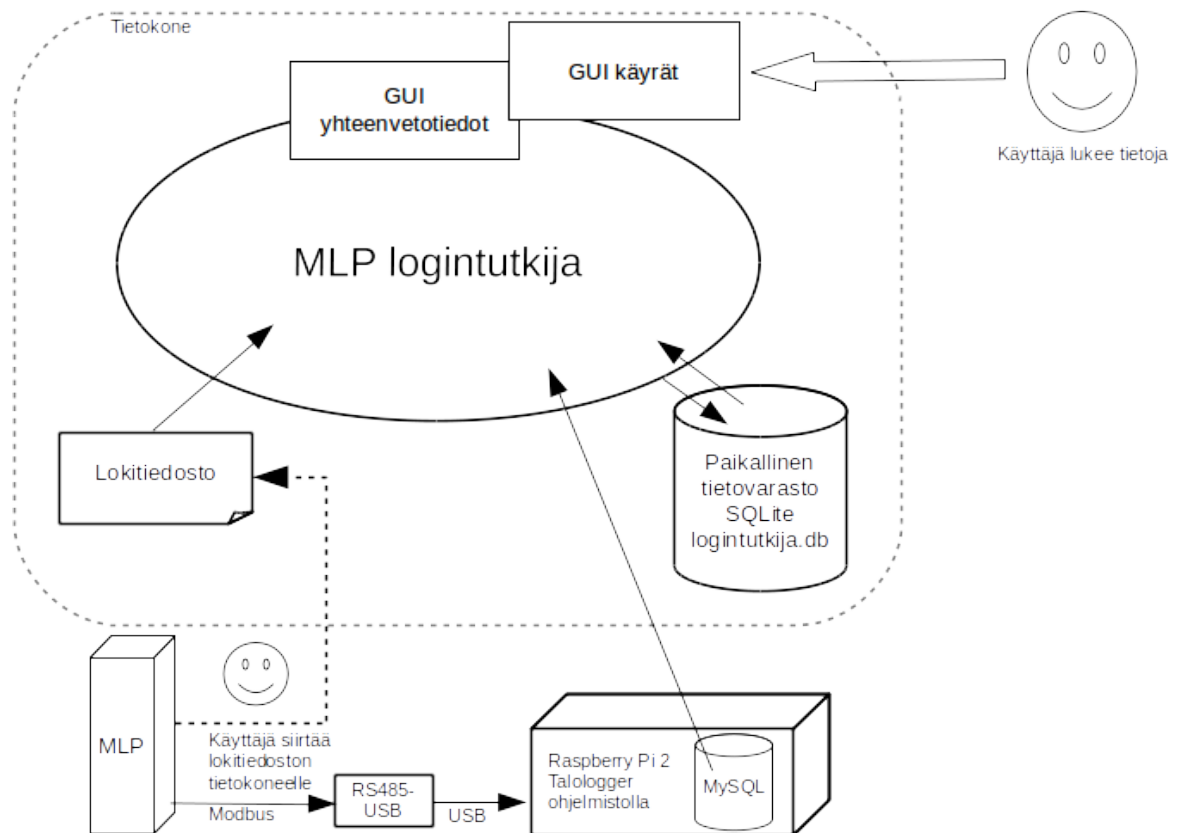
Osana tätä työtä asennetaan kirjoittajan Raspberry Pi 2 yhden piirilevyn tietokone Nibe F1145 lämpöpumpun yhteyteen. Tällä pienellä tietokoneella on suunniteltu tekevän maa-lämpöpumpun suureiden arvojen luenta Modbus väylän yli tallentaen tiedot luentaväleitäin erilliseen tietokantaan. Modbus on vuonna 1979 julkistettu sarjaliikenneprotokolla tarkoituksenaan olla avoin, yksinkertainen, valmistajariippumaton ja lisenssimaksuton (Tikkanen 2013, 5).

4.2 Suunnittelu

Suunnittelun yleisperiaate on ohjelman suoraviivaisuus ja mutkaton toiminta. Toimintojen määrä pyritään pitämään niin minimissä kuin vain on mahdollista ja yhteenvetotiedot halutaan näkyvän välittömästi. Yhtenä suunnitteluongelmana mainitaan käyttäjän neuvominen saatujen loki-arvojen perusteella. Pitkällisen pohdinnan jälkeen päätös on jättää johtopäätöksien tekeminen käyttäjälle. Luotettavien johtopäätösten ja toimintaehdotusten tekeminen vaatii myös pitemmän ajan ja monista eri käyttöpaikoista ja -ympäristöistä saatavilla olevia lokitietoja.

4.2.1 Ohjelman toiminta

MLP logintutkijan toimintaa kuvataan kontekstikaaviossa kuvassa 12.



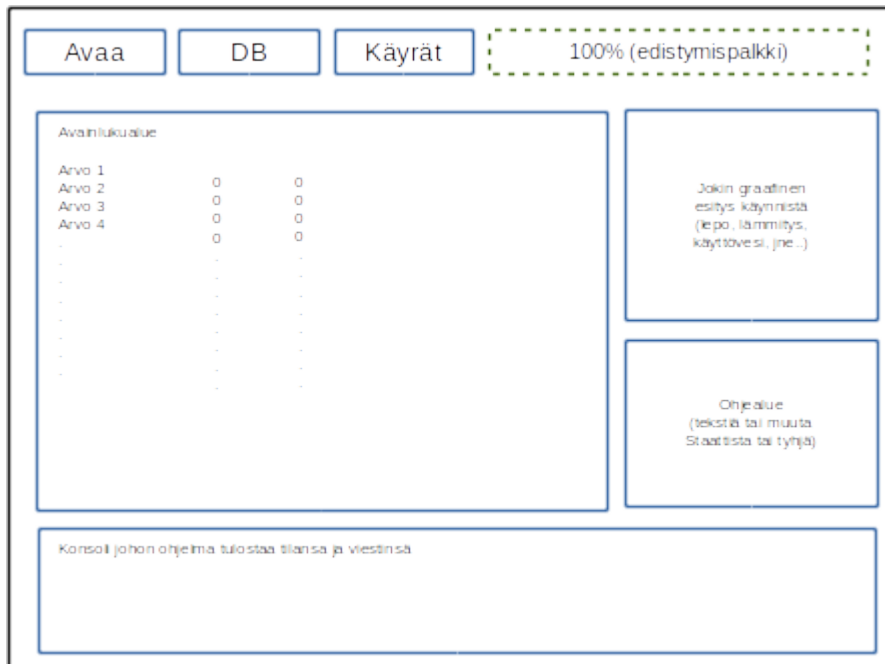
Kuva 12: MLP logintutkijan kontekstikaavio

Ohjelma lukee käyttäjän maalämpöpumpulta USB muistitikulla siirtämiä lokitiedostoja tietokoneen tiedostojärjestelmästä. Onnistuneen lukemisen jälkeen tiedot analysoidaan ja näytetään yhteenveto- ja käyrät-näkymässä. Jos tietolähteenä on ollut lokitiedostot, kirjoitetaan arvot paikalliseen tallennusvarastoon SQLite-tietokantaan myöhempää tarkastelua varten. Käyttäjä voi lukea analysointiin tarvittavat tiedot ulkoisesta MySQL-tietokannasta, johon päivitetään käyntiarvoja maalämpöpumpusta sen tukemaa Modbus väylää hyväksi käyttäen. Tämän kanavan hyvänä puolena voidaan pitää automaattisuutta ja jatkuvaa valvontaa, koska Raspberry-tietokoneella ajettava Talogger-ohjelmisto on jatkuvasti päällä ja käyttäjä voi halutessaan ajaa analyysin MLP logintutkijalla.

Koska kaikilla käyttäjillä ei ole mahdollisuutta tietojen Modbus etäluentaan, voi vanhoihin lokitietoihin palata tekemällä tietokantakyselyn paikalliseen SQLite-tietokantaan. Luonnollisesti se sisältää vain tiedot lokitiedostoista luetuista tiedoista eli tieto ei ole jatkuvaa.

4.2.2 Käyttöliittymän ulkoasu

Ohjelman graafinen rakenne halutaan säilyttää mahdollisimman yksinkertaisena. Siinä tulee olla yksi paneeli yhtä viestittävää asiakokonaisuutta kohden. Ohjelman määrittelyistä poimittuna sillä on kaksi pääasiaa, mitä se viestii: yhteenveto ja arvoista tehdyt käyrät ajan funktiona. Tämän vuoksi ohjelmassa tulee olla kaksi paneelia, joissa lokeista luetut asiat esitetään havainnollisemmassa muodossa. Varsinaista toimintomenua ei tarvita – ainakaan ohjelman ensimmäisissä versioissa – koska toimintoja on ytimekkäät kolme. Lokitiedostojen luku, tietokantahaku ja käyrät-ikkunan avaava painike. Ohjelman mahdollisissa jatkoversioissa voi toimintojen määrä lisääntyä jolloin tätä suunnitteluperiaatetta pitänee arvioida uudelleen.

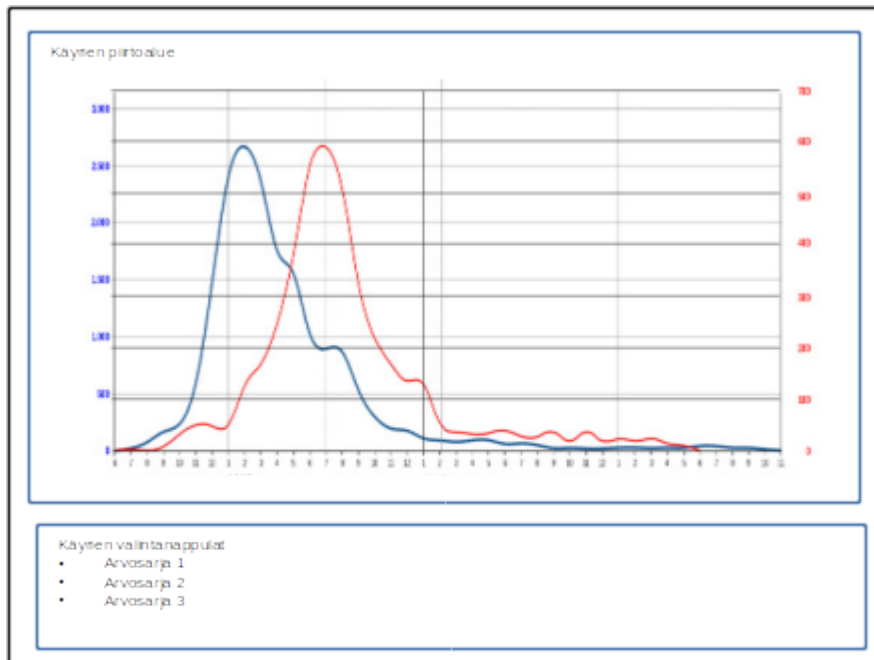


Kuva 13: Ohjelman päänäköymä ja elementtien sijoittelu

Kuvassa 13 hahmotellaan eri elementtien paikat ohjelmassa. Varsinaisten toimintojen ollessa seuraavat:

- Avaa, tässä avataan valintadialogi hakemistolle joka sisältää tekstitiedostossa olevia lokitiedostoja maalämpöpumpulta
- DB, avaa dialogin, jossa voidaan antaa tietokantayhteyden tiedot (tietokanta-ajuri, osoite, käyttäjä, salasana ja haettavan datan aikarajat (alku ja loppu))
- Käyrät, avaa toisen ikkunan, jossa arvot ovat esitetty ajan funktiona

Jos luetaan pitkiä lokeja, on jonkinasteinen lukutapahtuman edistymistä kuvaava elementti hyvä olla ja sen virkaa edustaa etenemispalkki eli nk. *progress bar*. Kuva 14 visualisoi Käyrät -ikkunan, jossa on kaksi aluetta, itse käyrien piirtoalue ja sitten ikkunan alaosassa alue missä valintanappuloilla tapahtuva käyrien sisällyttäminen käyrästään.



Kuva 14: Käyrät-ikkuna

Graafisessa toteutuksessa noudatetaan hillintää ja kaikki elementit pyritään pitämään kooltaan isoina ja luettavina sekä värimaailma mahdollisimman selkeänä.

4.2.3 Lokitiedostojen lukeminen

Vaikka suunnittelussa pyritään merkki riippumattomuuteen lämpöpumppujen seurannassa, muita merkkejä kuin määrittelyssä mainittu Nibe ei ole ilmaantunut pyynnössä saada esimerkkilokeja ohjelman kehitystä varten. Niben kohdalla lokien kirjoitus tapahtuu tallentamalla tekstitiedosto USB tikulla olevalle tiedostojärjestelmälle. Nibe-maalämpöpumpussa voidaan tietojen kirjaaminen asettaa päälle helposti käsikirjan ohjeita noudattaen laittamalla USB tikku koneen etupaneelin liittimeen ja aktivoimalla valikosta 7.2 tietojen kirjaaminen (Nibe AB Sweden a. 66). Sopivan mittausajan päätyttyä kirjaus lopetetaan samasta valikosta ja tuloksena tikulle tulee kuvan 4 mukainen tekstitiedosto. Tiedosto on nimetty VVKKPP-<n>.LOG jossa <n> on järjestysnumero jos saman vuorokauden ajalta on useampi kirjauskerta. Jos kirjausajanjakso on pitempi kuin yksi vuorokausi, tekee pumppu uuden kirjaustiedoston tarkalleen 24h kohdalla. Tämän vuoksi ohjelman tulisi lukea hakemisto kerrallaan ja ottaa mukaan kaikki siitä löytyvät LOG-päätteiset tiedostot.

Avaa-painikkeen painamisen jälkeen valitaan hakemisto, johon käyttäjä on tuonut lokitiedostonsa ja ohjelma tekee niistä yhteenvedon. Eri pumppumalleilla saattaa olla eri suuria lokitiedostossa, jonka vuoksi luennan pitää mukautua tähän. Mallien F1145 tai F1245 ja F1135 tiedetyt suureet ovat listattu taulukkoon 1. Kaikkia suureita ei välttämättä käytetä hyödyksi. Lokitietueen kentän nimissä on seuraava logiikka:

- <lämpöpumppu>-<kompressori>-<mittauspiste>
- esimerkiksi lokisarakkeessa (tai tietueen kentässä) "EB100-EP14-BT10"
 - EB100 tarkoittaa isäntälämpöpumppua, useamman lämpöpumpun kokonaisuudessa orjapumppu saa arvon EB101 ja seuraava EB102, jne.
 - EP14 merkitsee lämpöpumppuun kuuluvaa jäähdytysmoduulia eli tuttavallisemmin kompressoria. Merkityksellinen kun lämpöpumpussa on useampi kompressorimoduuli.
 - BT10 kuvaa itse mittauspistettä joita on useita per kompressori.

(Nibe F1345. 20.)

Taulukossa ilmaistaan punaisella värillä suureet joita ei käytetä analysointiin.

Nimi	Merkitys
BT1	Ulkolämpötila, tarvitaan pumpun lämmitysenergian säätelyyn
BT2	Lämpöpumpusta lähtevän, lämmönjakoon menevän kierto-veden lämpötila. Arvoa ei ole F1345 lämpöpumpussa. (Kuva 8: Maalämpöjärjestelmän kytkentäesimerkki puskurivaraajalla ja mittauspisteitä havainnekuvassa (Nibe AB Sweden a))
BT6	Lämminvesivaraajan alaosan lämpötila. Tämän arvon perusteella lämpöpumppu aloittaa käyttöveden teon. (Kuva 8: Maalämpöjärjestelmän kytkentäesimerkki puskurivaraajalla ja mittauspisteitä havainnekuvassa (Nibe AB Sweden a))
BT7	Lämminvesivaraajan yläosan lämpötila. Tätä arvoa käytetään vain näyttämään lämpimän käyttöveden lämpötilaa, ei vaikuta laitteen ohjaukseen. (Kuva 8: Maalämpöjärjestelmän kytkentäesimerkki puskurivaraajalla ja mittauspisteitä havainnekuvassa (Nibe AB Sweden a).)
EB100-EP14-BTnn	Ensimmäisen eli isäntälämpöpumpun ensimmäisen jäähdytysyksikköön (kompressoriin) kuuluva suure.
EB100-EP14-BT3	Kuvassa Kuva 3: Maalämpöpumpun toimintaperiaate (muokailen Räisä, 2013. 3.) mittauspiste 4 eli lauhduttimelle paalaavan nesteen lämpötila.
EB100-EP14-BT10	Kalliosta, maasta tai vesistöstä sisään tulevan lämmönke-ruunesteen lämpötila.
EB100-EP14-BT11	Jäähdytysyksiköltä lähtevä eli kallioon, maahan tai vesistöön menevän nesteen lämpötila.

EB100-EP14-BT12	Kuvassa "Kuva 3: Maalämpöpumpun toimintaperiaate (mu- kaillen Räisä, 2013. 3.)" mittauspiste 7 eli lauhduttimelta lähtevän nesteen lämpötila.
EB100-EP14-BT14	Kuvassa "Kuva 3: Maalämpöpumpun toimintaperiaate (mu- kaillen Räisä, 2013. 3.)" mittauspiste 6 eli kompressorilta lähtevän kuumakaasun lämpötila.
EB100-EP14-BT17	Kuvassa "Kuva 3: Maalämpöpumpun toimintaperiaate (mu- kaillen Räisä, 2013. 3.)" mittauspiste 5 eli kompressorille imettävän kaasun lämpötila.
EB100-EP15-BTnn	Ensimmäisen eli isäntälämpöpumpun toiseen jäähdytysyk- sikköön (kompressorin) kuuluva suure.
EB100-EP15-BT10 - BT17	Kts. EB100-EP14 selitteet yllä.
BT25	Puskurivaraajalla varustetussa kytkennässä varaajasta läh- tevän ja lämmönjakoon menevän kiertoveden lämpötila. (Kuva 8: Maalämpöjärjestelmän kytkentäesimerkki puskuri- varaajalla ja mittauspisteitä havainnekuvassa (Nibe AB Sweden a))
BT50	Rakennuksen sisälämpötila.
EB100-EP14-BP8	Matalapaineanturi F1345 ensimmäinen kompressori, ei käytetä tässä yhteydessä.
EB100-EP15-BP8	Matalapaineanturi F1345 toinen kompressori, ei käytetä tässä yhteydessä.
Add.Step	Lisäenergian käyttö.
Alarm number	Lämpöpumpun hälytykset.
Calc. Supply	Lämpöpumpun laskema menolämpötila.
Degree Minutes	Asteminuutit. Lämpöpumpun laskema suhdeluku lämmitet- tävän rakennuksen lämmöntarpeesta. Yhden asteen ero lasketun lämpötilan (Calc. Supply) ja menevän lämpötilan (BT25, BT2 tai BT12 riippuen kokoonpanosta) välillä yhdes- sä minuutissa tarkoittaa yhtä asteminuuttia.
BT1 Average	Ulkokeskilämpötila.

Relays PCA-Base	Lämpöpumpun käyttötila ensimmäisen jäähdytysyksikön osalta. Neljän bitin kenttä joka saa seuraavia arvoja (viimeisellä rivillä lihavoituna). 0-arvo tarkoittaa lepotilaa.						
	Bitti	de-sim.	kohde	Läm-mitys	Käyttö-vesi	KV säh-köllä	Sähkölämmitys tai pelkkä kiertovesi
	1	1	kompressori päällä	1	1	0	0
	2	2	kiertovesipumpu päällä	2	2	2	2
	3	4	keruupiiri pumpu päällä	4	4	0	0
	4	8	vaihtventtiili käyttövesiasennossa	0	8	8	0
			Lämpöpumpun käyttötilan arvo	7	15	10	2
Prio	Saa arvon käyttötilan priorisoinnin suhteesta kun on tarvetta sekä lämmitykselle että lämpimän käyttöveden tuotannolle samaan aikaan. Käyttäjän säädettävissä oleva painotus.						
EB100-EP15 Prio	Kertoo toisen jäähdytysyksikön käyttötilan (0= lepo, 1=lämmitys, 2=käyttövesi).						
EB100-EP14 Prio	Kertoo ensimmäisen jäähdytysyksikön käyttötilan (0= lepo, 1=lämmitys, 2=käyttövesi).						

Taulukko 1: Nibe maalämpöpumpun lokitietojen oletussuureet (lähde: Nibe Modbus Manager ja Nibe Asentajan Käsikirja F1345)

Taulukko 1 listaa siis kaikki Nibe F1345 lämpöpumpusta oletuksena tulevat lokitietueen kentät. Lämpöpumpumalleissa F1145 ja F1245 kenttiä on vähemmän. Nibe Modbus Manager -ohjelma listaa kaiken kaikkiaan n. 500 eri rekisteriä joita voidaan kirjoittaa lokitiedostoon tai lukea Modbus protokollan yli. Nämä löytyvät taloLogger-ohjelman Nibe modulista, tarkemmat ohjeet Liite 3. Talogger-ohjelmiston asennusohje.

4.2.4 Tietojen hakeminen ulkoisesta tietokannasta

Tietokannasta tapahtuva tietojen luku periaatteessa poistaa rajoitteen lukea tietoja vain Nibe lämpöpumpuista. Tietokannasta lukua varten luodaan konfigurointitiedosto (4.3.4 Konfigurointitiedosto), jolla voidaan määritellä kannassa olevat kenttien nimet ja yhdistää ne ohjelman vaatimiin suureisiin. Tällöin on periaatteessa sama minkä mallinen ja merkkinen lämpöpumppu on tiedot kantaan kirjoittanut ja samat yhteenvetotiedot voidaan tehdä. Luettavat suureet tulee olla samat kuin mitä lokitiedostoistakin saadaan luettua. Taulukko 1 listaa tarvittavat kentät. Tiedonkeruujärjestelmällä ei periaatteessa ole merkitystä kunnan listatut tiedot ovat kerättävissä.

4.2.5 Yhteenvetotiedot

Yhteenvedon tarkoitus on kertoa maalämpöpumpun käynnistä tärkeimmät sen toimintaa kuvaavat arvot. Nämä suureet ja järjestys ovat kerätty maalämpöfoorumilta ja varsinkin siellä julkaistusta, taulukkolaskentapohjasta, nk. "Bruno-taulukosta". Koska tämän soveluksen tarkoituksena on tuoda lokianalysointiin lähinnä nopeutta ja käyttöjärjestelmä- ja toimisto-ohjelmistoriippumattomuutta, ei hyväksi havaittuun rakenteeseen kannattanut tehdä merkittäviä muutoksia.

Yhteenvedon tiedot ovat seuraavat:

- Käyntiajat, käytetty aika
 - lämmitykseen
 - lämpimän käyttöveden tekoon
 - yhteensä
 - lepoaika
 - käyttövesi lisäsähköllä
 - lämmitys sähkövastusavusteisesti
 - mittausjakson pituus
- kompressorin käynnistyksiä
- kompressorin käyntiaika keskimäärin
- lepojaksen pituus keskimäärin
- Lämpöeroin sekä lämmitysprosessille, että käyttövedelle
- Lämpötiloja
 - huonelämpötila
 - ulkolämpötila
 - lämmitysveden pyyntölämpötila
 - käyttöveden lämpötila (käyttövesivaraajan ylä- tai alaosan mittaus)
 - lämmitysveden lämpötilaero lämmityksessä (lämmitysverkkoon menevän ja tulevan erotus)
 - lämmitysveden lämpötilaero lämpimän käyttöveden teossa (lämmittää käyttövesivaraajaa)
 - lämmönkeruupiiristä tulevan ja sinne menevän nesteen lämpötilaero
 - lämmönkeruupiirin tulevan nesteen lämpötila-alueista
 - lämmönkeruupiiriin menevän nesteen lämpötila

Näistä suureista pyritään näyttämään maksimi, minimi ja keskiarvo sekä käyntiajoille ajat, ajat per vuorokausi sekä prosenttiosuudet. Lisäksi prosenttiluvuista tehdään mahdollisuuksien mukaan grafiikalla havainnollinen esitys käyntiaikojen suhteesta.

4.2.6 Paikallinen tallennus

Yksi tarvittava maalämpöjärjestelmän hienosäätömuutoksien suuntaa ja hyötyä vertaileva toiminnallisuus on verrata nykyisiä ajoarvoja aiempiin, jotta lämpöpumpun ajoparametrien muutoksen vaikutus voidaan todentaa. Tämä siis tarkoittaa lokitiedostoista tapahtuvaa tietojen lukemista ja niiden automaattista tallennusta paikalliseen ohjelman käyttämään relaatiotietokantaan. Itse tieto on sama kuin lämpöpumpusta saatava lokitieto, mutta tiedon haku on paljon helpompaa relaatiotietokannasta, varsinkin jos lokitiedostojen määrä kasvaa ajan myötä suureksi. Tallennuksella on myös ohjelman jatkokehityksen kannalta oleellinen merkitys, jolloin voidaan kenties tutkia pidemmän aikavälin muutoksia esimerkiksi lämmönkeruun lämpötiloissa.

4.2.7 Käyrät

Jotta maalämpöpumpun toiminnasta saa yhteenvedon antamaa tarkemman kuvan, on tiedot hyvä kuvata käyrinä ajan funktiona. Tämä on erityisen havainnollista etsittäessä syytä tai ajankohtaa jollekin vikatilanteelle tai lämpöpumpun käynnin muutokselle. Tärkeimmät suureet ovat lämpöpumpun toimintaperiaatteet kuvaavan kuvan 3 mittauspisteet. Kuitenkin tällaisen ohjelman voima on nimenomaan mahdollisuudessa ja kyvyssä näyttää kaikki saatavilla oleva tieto. Graafisessa esittämisessä voi esteeksi tulla liian monen suureen esittäminen samassa näkymässä. Käyrien suunnittelussa pyritään selkeyteen, mutta kuitenkin helppoon tapaan nähdä kaikki lämpöpumpun tarjoama tieto. Oletuksena näkyviksi suureiksi määritellään

- Ulkoilman lämpötila
- Sisäilman lämpötila
- Lämmönjaon menolämpötila
- Puskurivaraajalta lähtevä menolämpötila
- Lämmönjaon tulolämpötila
- Lämmönkeruulta tuleva lämpötila
- Lämpöpumpulta lämmönkeruulle lähtevän nesteen lämpötila

Kaikki muut suureet luetaan ja näytetään käyrästä jos käyttäjä niin haluaa eli oletuksena pois mutta valittavissa.

4.3 Toteutus

Toteutus on ketterä, jo senkin vuoksi että varsinaisia ohjelmoijia on vain yksi. Jokaisen lisättävän toiminnallisuuden jälkeen se testataan ja dokumentoidaan, ennen kuin siirrytään seuraavaan. Tämä lähestyminen sopii erityisen hyvin aloittelijalle. (Silander, Ollikainen & Peltomäki 2012, 20.) Ohjelman pääkehitysversiot jaotellaan lisättävien toiminnallisuuksien mukaan. Ne ovat samalla koko kehitysprojektin virstanpylväitä ja pääasiallisia työn tarkistuspisteitä. Tällä lähestymisellä voidaan seurata työn edistymistä ja arvioida lisäosien tai -toiminnallisuuksien tarvitseman ajan sisällyttämistä toteutukseen.

Ver-sio	Toiminnallisuus	Dokumentoitu	Käy-tetty aika	Projektoitu toteutuminen (toteutunut ellei projek-toitu)
0.1	Graafinen ympäristö, ohjelma avaa paneelin ja osa tai kaikki elementit sijoiteltu suunnitelman mukaan.	4.2.2 Käyttöliittymän ulkoasu	17 h	2.3.2015
0.2	Lokitiedostojen lukeminen tiedostojärjestelmästä	4.2.3 Lokitiedostojen lukeminen	26 h	6.3.2015
0.3	Yhteenvetotietojen laskeminen ja näyttö	4.2.5 Yhteenvetotiedot	20 h	13.3.2015 (15.3.2015)
0.4	Käyrien näyttö	4.2.7 Käyrät	12 h	20.3.2015
0.5	F1345 pumpun lokien luku ja analysointi	4.2.3 Lokitiedostojen lukeminen	19 h	27.3.2015
0.51	Lokitietojen Modbus -väylästä luenta ja tallennus tietokantaan Talogger ohjelmistolla. Asennuksen dokumentointi.	Liite 3. Talogger-ohjelmiston asennusohje	15 h	30.3.2015
0.6	Tietokannasta luettavat tiedot	4.2.4 Tietojen hakeminen ulkoisesta tietokannasta	7 h	30.3.2015 (6.4.2015)
0.7	konfigurointitietojen lukeminen konfiguraatitiedostosta	4.3.4 Konfigurointitiedosto	7 h	21.4.2015
0.8	Seminaariversio, ei uusia toiminnallisuuksia, testaus	5 Yhteenveto ja johtopäätökset	4 h	26.4.2015
0.81	Lisäykset yhteenvetotietoihin seminaarista (lämpöker-	4.3.2 Yhteenvetotietojen laske-	14 h	2.5.2015

	roin)			
0.9	Paikallinen tietovarasto	4.3.5 Paikallinen tallennus	16 h	3.5.2015
0.95	Julkaisuehdokas ja testaus-versio, ei uusia toiminnallisuuksia, testaus	4.4 Testaus	7 h	10.5.2015
	Dokumentointi	4.5 Dokumentointi	17 h	14.5.2015
1.0	Julkaisu	5 Yhteenveto ja johtopäätökset		15.5.2015
			181 h	

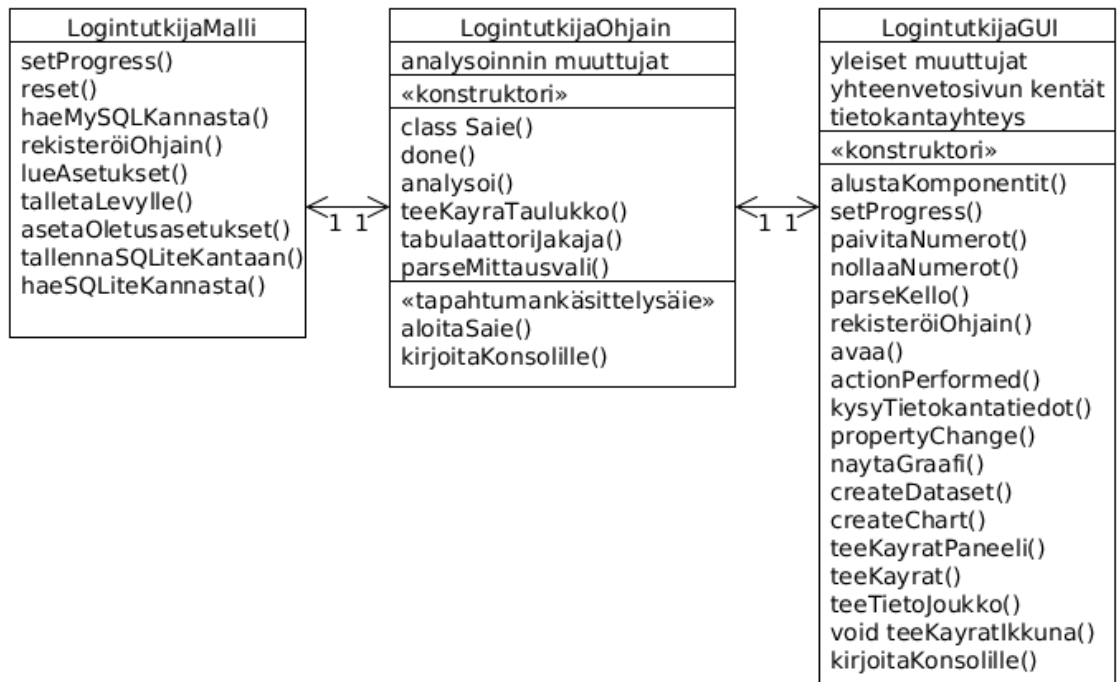
Taulukko 2: MLP logintutkijan projektisuunnitelman virstanpylväät

4.3.1 Käyttöliittymä ja rakenne

Käyttöliittymän ohjelmointi tapahtuu Javan sovellusrajapintaan kuuluvalla Swing-kirjastolla. Graafinen käyttöliittymä on aina tapahtumaohjattu, jossa jonkin elementin napsautus taikka valinta käynnistää jonkin tapahtumankäsittelymetodin, jossa taasen käsitellään se, mitä painikkeella tai valinnalla kerrotaan tehtävän. (Silander, ym 2010, 202.)

Ohjelma, jossa on graafinen käyttöliittymä, käsittää kaksi toisistaan erillistä osaa: sovelluslogiikan ja käyttöliittymän. Jotta ohjelma olisi jatkossa mahdollisimman helposti muokattavissa tai jatkokehitettävissä, voidaan käyttää suunnittelumalleja kuten MVC. Tässä mallissa ohjelma pilkotaan kolmeksi toisistaan mahdollisimman erillisiksi kokonaisuuksiksi, malliksi (**m**odel), näkymäksi (**v**iew) ja ohjaimeksi (**c**ontroller). (Silander ym 2010, 205-208.)

Ohjelman main-metodi pidetään omassa Logintutkija luokassaan. MVC:n mukaiset luokat ovat LogintutkijaMalli, LogintutkijaOhjain ja LogintutkijaGUI kuten luokkamallista voi nähdä kuvassa 15. Ohjainluokka yhdistää malliluokan ja GUI luokan tarpeellisilta osiltaan ja toimii näiden kahden välissä eristäen mallin ja käyttöliittymän toisistaan.



Kuva 15: MLP logintutkijan luokkamalli

Olioita hyödynnetään käyriä näyttävässä ikkunassa, jolloin on mahdollista vertailla useampia ajanjaksoja rinnakkaisissa ikkunoissa. Tämä on hyödyllistä jos käyttäjä on tehnyt muutoksia lämpöpumpun käyntiparametreihin ja haluaa tarkistaa, mihin suuntaan muutos on vaikuttanut.

4.3.2 Yhteenvetotietojen laskeminen

Yhteenvetotiedoissa lasketaan yleisesti keskiarvo, minimiarvo ja huippuarvo. Tiedot nollataan eri hakujen välillä.

Otsikko	Mittauspisteet	Yhtälö/selite	Huomioita
<i>Mittausväli</i>	aika	Lämpöpumppuun asetettu aikaväli jolloin mittausarvot kirjataan lokiin.	
<i>Versio</i>	staattinen lämpöpumpun ohjelmistoversio		Kirjattavien lokitietojen määrä tai järjestys saattaa muuttua versioiden yli
<i>S-teho</i>		Asennusaikaan kytetty sähköteho.	Vaikuttaa lisäenergian laskemiseen yhteenvedossa.

Prosessiin käytetty aika, lasketaan vuorokausissa, per vrk ja prosenttiosuus			
<i>Lämmitysprosessi</i>	Relays PCA-Base ja EB100-EP15 Prio	Aika lämmitysprosessista	
<i>Käyttövesiprosessi</i>	Relays PCA-Base ja EB100-EP15 Prio	Aika käyttövesiprosessista	
<i>Käynti yhteensä</i>	Relays PCA-Base ja EB100-EP15 Prio	Lämmitys- ja käyttövesiprosessin käytetty aika yhteensä	
<i>Lepo</i>	Relays PCA-Base ja EB100-EP15 Prio	Aika yhteensä jolloin kompressor ei käy	
<i>KV sähköllä</i>	Relays PCA-Base, EB100-EP15 Prio ja Add.Step	Aika, käyttöveden teko lisäenergialla	Käyttövesituotanto lisäenergian avustamana. Lasketaan käytetty lisäenergia yhteen.
<i>Lämmitys lisäsähköllä</i>	Relays PCA-Base, EB100-EP15 Prio ja Add.Step	Aika, lämmitys lisäenergialla	Lasketaan käytetty lisäenergia yhteen.
<i>Mittausjakso</i>	aika	koko aika yhteensä	
<i>Kompressorin käynnistyksiä</i>	Relays PCA-Base, EB100-EP15 Prio	lisätään 1 kun arvo muuttuu edellisestä lepotilasta (0)	Pienempi parempi. Liian tiheät käynnistykset rasittavat kompressorია.
<i>Kompressorin käynti keskimäärin</i>	Relays PCA-Base, EB100-EP15 Prio	keskimääräinen ajallinen pituus kompressor käynnissä	Riippuu rakennuksen lämmityksestä ja veden kulutuksesta.
<i>Kompressorin lepo keskimäärin</i>	Relays PCA-Base, EB100-EP15 Prio	keskimääräinen ajallinen pituus kompressor levossa	Kertoo asteminuutti-asetuksesta ja yleisesti tasapainotilasta käyntiaikasuhteessa.
Lämpökerroin			
<i>COP (lämpökerroin) lämmityksessä</i>	BT12, BT3, BT14, BT17, BT10 ja SFS-EN 14511-2:n mukaiset COP _{0/35} ja COP _{0/45}	Kappaleen 2.8.6 Lämpökerroin kaavan (2) mukaan. Ekstrapoloitu kahdesta tunnetusta lämpökertoimesta.	Standardissa SFS-EN 14511-2 lämmönjaon lämpötilaero on 5 °C. Lämpöpumppu lämmitysprosessissa.
<i>COP käyttövesi</i>	Sama kuin yllä.	Sama kuin yllä.	Lämpöpumppu käyttövesiprosessissa.

Lämpötiloja			
<i>Huonelämpö</i>	BT50	Arvosarjasta laskettu keski-, minimi ja huippuarvo.	
<i>Ulkolämpö</i>	BT1	Sama kuin yllä.	
<i>lämmitysveden pyyntö</i>	Calc. Supply	Sama kuin yllä.	Lämpöpumpun lämpökäyrästä laskema talon lämmityksen tarve.
<i>käyttöveden lämpö</i>	BT7 tai BT6	Sama kuin yllä.	Jos kytketty, näytetään varaajan yläosan (BT7) lämpö. muutoin alaosan (BT6).
<i>Lämpötilaero, lämmitysvesituotanto</i>	BT2 ja BT3	BT2 - BT3. Arvosarjasta laskettu keski-, minimi ja huippuarvo.	Optimointiin, 5-10 °C lämpötilaero on hyvä.
<i>Lämpötilaero, käyttövesituotanto</i>	BT2 ja BT3	Sama kuin yllä.	Optimointiin, 8-10 °C lämpötilaero on hyvä.
<i>Lämpötilaero, keruupiiri</i>	BT10 ja BT11	BT10 - BT11. Arvosarjasta laskettu keski-, minimi ja huippuarvo.	Optimointiin, 3 °C lämpötilaero on hyvä.
<i>Keruu tulo</i>	BT10	Arvosarjasta laskettu minimi ja huippuarvo.	Antaa kuvaa keruun tilasta mittausjaksolla. Lämpimämpi parempi.
<i>Keruu meno</i>	BT11	Arvosarjasta laskettu minimi ja huippuarvo.	Antaa kuvaa keruun tilasta mittausjaksolla

Taulukko 3: Yhteenvetotietojen laskukaavat ja perustelut

4.3.3 Ulkopuoliset ohjelmointikirjastot

MLP logintutkijassa käytetään ulkopuolisia kirjastoja graafien luomiseen, erotinmerkkieroteltujen lokitiedostojen lukemiseen ja tietokantayhteyteen sekä paikalliseen tietovarastoon. Graafisissa esityksissä käytetään avoimen koodin JFreeChart kirjastoa, joka on erittäin hyvin dokumentoitu ja siitä löytyy kattavat esimerkit. Yhteenvetosivun käyttöaikasuhde tehdään kolmiulotteisesti ympyrägraafiikalla eli 3DPieChart:a (Gilbert, D., 2009. 44). Käy-

rien toteutukseen ajan funktiona käytetään *Time Series Chart*ia (Gilbert, D., 2009. 62). JFreeChart on osoittautunut erittäin helppokäyttöiseksi ja nopeaksi tavaksi tehdä Java ohjelmaan graafisia esityksiä numeerisesta tiedosta. Sen sisäänrakennetut ominaisuudet lähentää näkymää ja liikkua aikasarjassa ovat juuri sopivia lokin tarkempaan tutkimisen käyttötarkoitukseen. JFreeChart on *GNU Lesser General Public License*n alainen, joka tarkoittaa että sitä voidaan käyttää vapaasti myös suljetun lähdekoodin tuotoksissa (Gilbert, D., 2009. 834).

Opencsv-projekti on yksinkertainen Javalla kehitetty kirjasto joka auttaa lukemaan merkkieroteltuja tietueita. Kirjaston lisenssi on *Apache 2.0* joka mahdollistaa sen sisällyttämisen jopa kaupallisiin projekteihin. (OpenCSV 3.3 2015.)

Tietokantayhteyttä varten tarvittava MySQL-ajuri tai -asiakasohjelman kirjasto on *Free and Open Source Software*, FOSS-lisenssin alainen, joka mahdollistaa sen sisällyttämisen muihin avoimen lähdekoodin ohjelmistoihin. (MySQL 2012.)

Paikallista tallennusmekanismia varten yleisin ja soveltuvin vaihtoehto Java sovelluskehitykseen on SQLite. Sen käyttötarkoitus on juurikin paikalliset, yhden käyttäjän tarpeeseen vastaavat tiedon tallennustarpeet. (SQLite.) SQLiten JDBC ajurin lisenssi sallii sen vapaan käytön Apache License 2.0 ehdoin ja sisällyttämisen toiseen sovellukseen kunhan siinä säilytetään SQLite ajurin lisenssi sekä mainitaan kyseinen toiminnallisuus tekijöidenä ansioksi (Xerial 2014).

4.3.4 Konfigurointitiedosto

Ohjelman tarvitsemat asetustiedot kirjataan tiedostoon. Jos tiedostoa ei ole olemassa, ohjelma luo sen käynnistyessään ohjelman sisäisillä oletusarvoilla. Tämä helpottaa mahdollisten uusien käyttäjien asetusten muuttamista. Konfigurointitiedostossa kerrotaan oletustunnukset tietokantayhteydelle, tietokannan tietueiden nimet yhdistettynä ohjelman vaatimiin kenttiin sekä paikallisen tallennuskannan sijainti. Tiedoston muodon ja lokianalysointorin yksinkertaisen rakenteen johdosta tähän ei tarvita ulkopuolista kirjastoa vaan käytettiin hyödyksi `java.util.Properties` luokkaa, joka sopii asetusten lukemiseen ja tallentamiseen hyvin. Ohjelman sammuttamisen yhteydessä muutetut asetustiedot kirjoitetaan takaisin asetustiedostoon. Tällä saavutetaan ohjelman käynnistysten yli tallentuvat asetukset. Tiedoston nimi on *logintutkija.asetukset* ja luodaan käyttäjän kotihakemistoon.

Asetustiedostolla on tärkeä rooli tietojen automaattisen luennan mahdollistavan Talogger-ohjelman integroinnissa. Talogger tallentaa oletuksena tietonsa kahteen tauluun, jossa arvot ovat toisessa ja suureiden nimet toisessa. Tässä on hyvänä puolena käyttäjän

mahdollisuus tallentaa muita tietoja kuin MLP logintutkijan käyttämiä, ilman että lukumekanismi tästä häiriintyy. Tämän rakenteen vuoksi ohjelman asetustiedostossa on avainsanat jokaiselle luettavalle tiedolle erikseen kuten seuraavassa esimerkissä:

```
"tietokanta_arvo_BT3=ep14lauhdutinpaluu"
```

Vasemmalla puolella on ohjelman sisäisesti käyttämän muuttujan nimi ja oikealla on tietokannasta löytyvän suureen nimi. Tällä mahdollistetaan käyttäjän asettamien arvosarjojen nimeäminen. Kaikki asetustiedoston tukemat muuttujat ovat listattu liitteessä Liite 2. MLP Logintutkija 1.0 käyttöohje.

4.3.5 Paikallinen tallennus

Paikallisen tallennuksen tarpeisiin käytetään SQLite-tietokantaa ja sen Java-asiakasohjelmaa eli SQLite JDBC (Java Database Connectivity) -ajuria. Tallennus toteutetaan siten, että konfiguraatitiedoston avainsanalla määritellään, tallennetaanko luetut lokitiedot paikalliseen tietokantaan vai ei. Oletuksena kaikki luettu tieto tallennetaan myöhempää käyttöä varten. Tallennettuja tietoja voidaan tutkia käyttämällä ohjelman tietokantakyselyä ja valitsemalla SQLite ajuri jolloin tiedot haetaan paikallisesta tietovarastosta.

Itse tietokantatiedosto luodaan ohjelmassa (oletuksena logintutkija.db, käyttäjän kotihakemistossa), jos sitä ei ole jo olemassa. Tämä tapahtuu SQLiten JDBC ajurin toimesta automaattisesti. Myös tietokannassa oleva taulu ja kentät luodaan jos sitä ei entuudestaan ole olemassa. Tässä hyödynnetään SQLiten SQL-syntaksin *if exists* valintaa, jolloin ajuri tarkistaa taulun olemassaolon ja luo sen vain taulun puuttuessa. Lokitietueen ainutkertaisuuden (*unique*) määrittelevä kenttä on aika (*time*), samaa aikaa ei lokissa voi olla useampaan kertaan.

Kuvassa 16 listataan kaikkien tämän työn piirissä olevien Niben maalämpöpumppujen lokitiedostoissa oletuksena löytyvät suureet. MLP logintutkijan lukiessa lokitietoja tiedostosta, tallennetaan ne ensin muistinvaraiseen taulukkoon ja ohjelman suorituksen päättyessä taulukosta luetaan jokainen tietue ja *insert* komennolla tallennetaan ne SQLite-tietokantaan. Useampikertaisten samojen lokitietueiden tallennusten suhteen ohjelma sieppaa ainutkertaisuuden rajoitteesta (*unique constraint*) tulevat virheilmoitukset ja niitä ei näytetä käyttäjälle virheinä. Tämä siksi, että on ohjelman kannalta nopeampaa tehdä tallennus ja saada siitä SQL-virhe, kuin ensin tarkistaa haululla (*select*) tietueen olemassaolo. Koska ohjelman tietokantahaun ainoana hakuehtona tietokantaan on pelkästään aika, on *time* sarake indeksoitu nopean toiminnan varmistamiseksi kannan kasvaessa.

Name	Object	Type
logit	table	
id	field	INTEGER PRIMARY KEY
time	field	TIMESTAMP
version	field	INTEGER
rversion	field	INTEGER
bt1	field	INTEGER
bt2	field	INTEGER
bt3	field	INTEGER
bt67	field	INTEGER
bt25	field	INTEGER
bt10	field	INTEGER
bt11	field	INTEGER
bt12	field	INTEGER
bt14	field	INTEGER
bt17	field	INTEGER
degreeminutes	field	INTEGER
calcsupply	field	INTEGER
RelaysPCABase	field	INTEGER
ep15_bt3	field	INTEGER
ep15_bt10	field	INTEGER
ep15_bt11	field	INTEGER
ep15_bt12	field	INTEGER
ep15_bt14	field	INTEGER
ep15_bt17	field	INTEGER
ep15_prio	field	INTEGER
sqlite_autoindex_logit_1	index	
time_idx	index	

Kuva 16: MLP logintutkijan paikallisen SQLite-tietovaraston rakenne

Käyttäjä voi siis hakea vanhempia jo tallennettuja lokitietoja vertaillakseen lämpöpumpunsa pidemmän ajanjakson muutoksia. Tämä tapahtuu tekemällä kysely ohjelman DB painikkeella, joka välittää metodille valitun tietokanta-ajurin ja aikajakson. Metodi palauttaa haun tuottamat tietueet taulukossa ohjelman analyysimetodille ja näin käyttäjä saa samat yhteenvetotiedot kuin tekstimuotoista lokia lukiessaankin.

4.4 Testaus

Testauksen tarkoituksena on löytää ohjelmistosta viat ja epämiellyttävät piirteet. Tämän sovelluksen testauksen päätavoite on kuitenkin varmistaa ohjelman ajettavuus ja käytettävyys eri käyttöjärjestelmillä. Myös eri mallin lämpöpumput tuottavat hieman toisistaan poikkeavia lokitiedostoja, mutta koska rajauksena on kuitenkin yhden valmistajan tuotteet,

testaus on hallittavissa pienillä resursseilla. Kehittäjän oman testauksen ohella aktiivit foorumilla saavat kehitysversiot käyttöönsä, jonka tehtävänä on varmistaa, että yhteenvedon luvut ovat laskettu oikein ja muutenkin näytettävät graafit ovat oikeista suureista peräisin ja esitetään oikeassa mittasuhteessa. Testaussuunnitelma on dokumentissa Liite 1. Testaussuunnitelma.

4.5 Dokumentointi

Dokumentointi on eräs keskeisimmistä työvaiheista ohjelmistokehityksessä. Tällä varmistetaan laadukas jatkokehitys että ylläpito. Ohjelman lähdekoodi on osa dokumentointia ja sen luettavuus tulee olla hyvää ja rakenne yhdenmukaista ja selkeää. MLP logintutkija -ohjelman lähdekoodi löytyy osoitteesta <http://www.railers.fi/nalle/tools/source/Logintutkija>. Ohjelman määrittely- ja suunnitteludokumenttina toimii tämä työ itsessään. Erillinen käyttöohje kuvataan liitteessä "Liite 2. MLP Logintutkija 1.0 käyttöohje". Dokumentoinnin luonteeseen kuuluu, että sitä päivitetään dynaamisesti työn edetessä ja luonnollisesti mahdollisten jatkokehitysversioiden osalta. On mahdollista, että alkuperäistä suunnitelmaa pitää muuttaa jonkin toteutusvaiheessa eteen tulleen ongelman selvittämiseksi tai lieventämiseksi (Silander, ym 2010, 20). Erityisen tärkeää huolellinen ja ammattimainen dokumentointi on asiakas-toimittajasuhteessa, jossa työtä tehdään korvausta vastaan. Projektin etenemisen ja työn laskutuksen on oltava yksiselitteistä jotta epäselvyyksiltä vastuissa vältytään. Avoimen lähdekoodin projekteissa dokumentointi useasti luodaan lähdekoodin versiohallinnan ja ohjelmiston vianjäljittämishjelmiston yhteyteen wiki-verkkosivustojen muodossa.

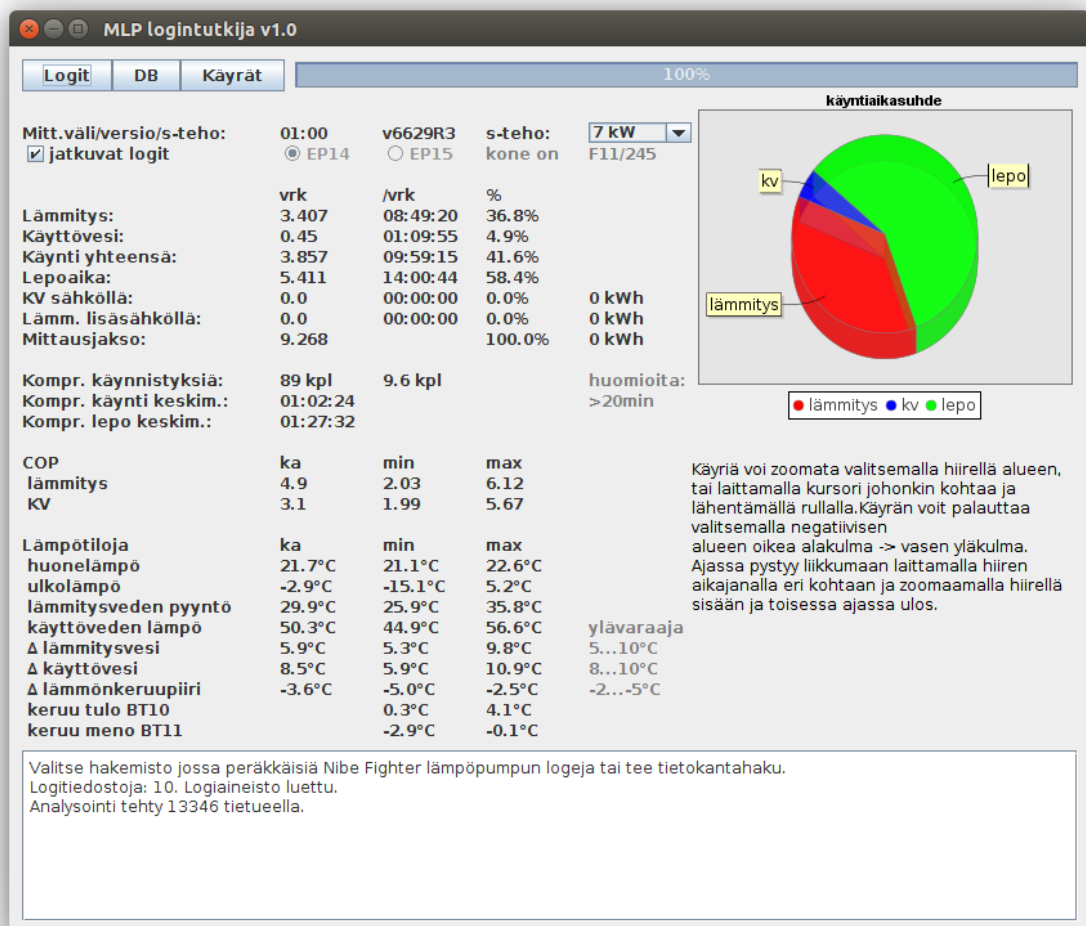
4.6 Lisensointi

Ohjelmistojen lisensoinnissa on muitakin aspekteja kuin siitä saatava rahallinen hyöty, tai pelkkä rahallisen korvauksen perimättömyys. Ohjelmistokehityksessä voi päämääränä olla tehdä vapaata koodia, joka tarkoittaa että joku toinen osapuoli voi ottaa koodin käyttöönsä, kehittää sitä eteenpäin ja hyötyä siitä vaikka kaupallisesti. Tämä voi taasen hyödyttää alkuperäistä kehittäjää, koska lisenssi mahdollistaa tehtyjen parannusten käytön alkuperäisessä koodissa. (GNU 2007.)

MLP logintutkija lisensoidaan *GNU General Public License v3*:lla sen yleisyyden ja joustavien ehtojen vuoksi. Tällä varmistetaan ettei ohjelman mahdollinen jatkokehitys jää kiinni lähdekoodin käyttöoikeuksista.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Kestävän kulutuksen ja uusiutuvien energiamuotojen suosiminen pientalojen lämmityksessä on tuonut lämpöpumput toden teolla yhdeksi tärkeimmistä lämmönlähdevaihtoehdoista omakotiasujalle. Uusien tekniikoiden vallatessa kotien tekniset tilat, asettaa tämä uusia haasteita tavalliselle asujalle, jonka kontolle kodintekniikan perusymmärrys ja huolto usein jäävät. Perusymmärrys lämpöpumppujen tekniikasta ja ympäröivän luontomme uusiutuvista energiamuodoista on nykypäivää, pienellä asiaan syventymisellä on mahdollista säästää jopa rahallista hyötyä ja vähintäänkin hyötyä oman lämmityslaitteiston käyttöiän maksimoimisessa. Tehtävän tuloksena valmistui ohjelma, joka lukee Nibe Fighter F1145, F1245 ja F1345 maalämpöpumppujen lokitietoja saman tietokoneen tiedostojärjestelmäästä, jossa ohjelma itsekin ajetaan. Ohjelmassa on yksi suoritettava JAR eli *Java Archive* tiedosto. Perustilassa olevalla Windows-, Linux- tai Mac-tietokoneella, ja joihin on asennettu ajanmukainen *Java Runtime*, tämä aikaan saa ohjelman suorituksen ilman erillisiä käyttäjän toimenpiteitä aivan kuten käyttöjärjestelmien natiivit suoritettavat ohjelmatiedostot.



Kuva 17: MLP logintutkijan graafinen käyttöliittymä

Ohjelma lataa graafisen näkymän (kuva 17), jossa ovat suunnitellut elementit eli toiminnot, yhteenvetotiedot ja käyntiaikasuhdegrafiikka. Tästä käyttäjän on mahdollista nähdä maalämpöpumpun käynnin arvot kerralla yhdellä silmäyksellä.

Tarkemman käsityksen eri mittauspisteiden suhteista toisiinsa lämpöpumpun käynnin aikana saa käyrät -ikkunasta, jossa arvot näytetään ajan funktiona. Tämä on erityisen havainnollista mahdollisissa vikatilanteissa ja etsittäessä mahdollisia muutoksia verrattuna johonkin aiempaan ajanjaksoon.

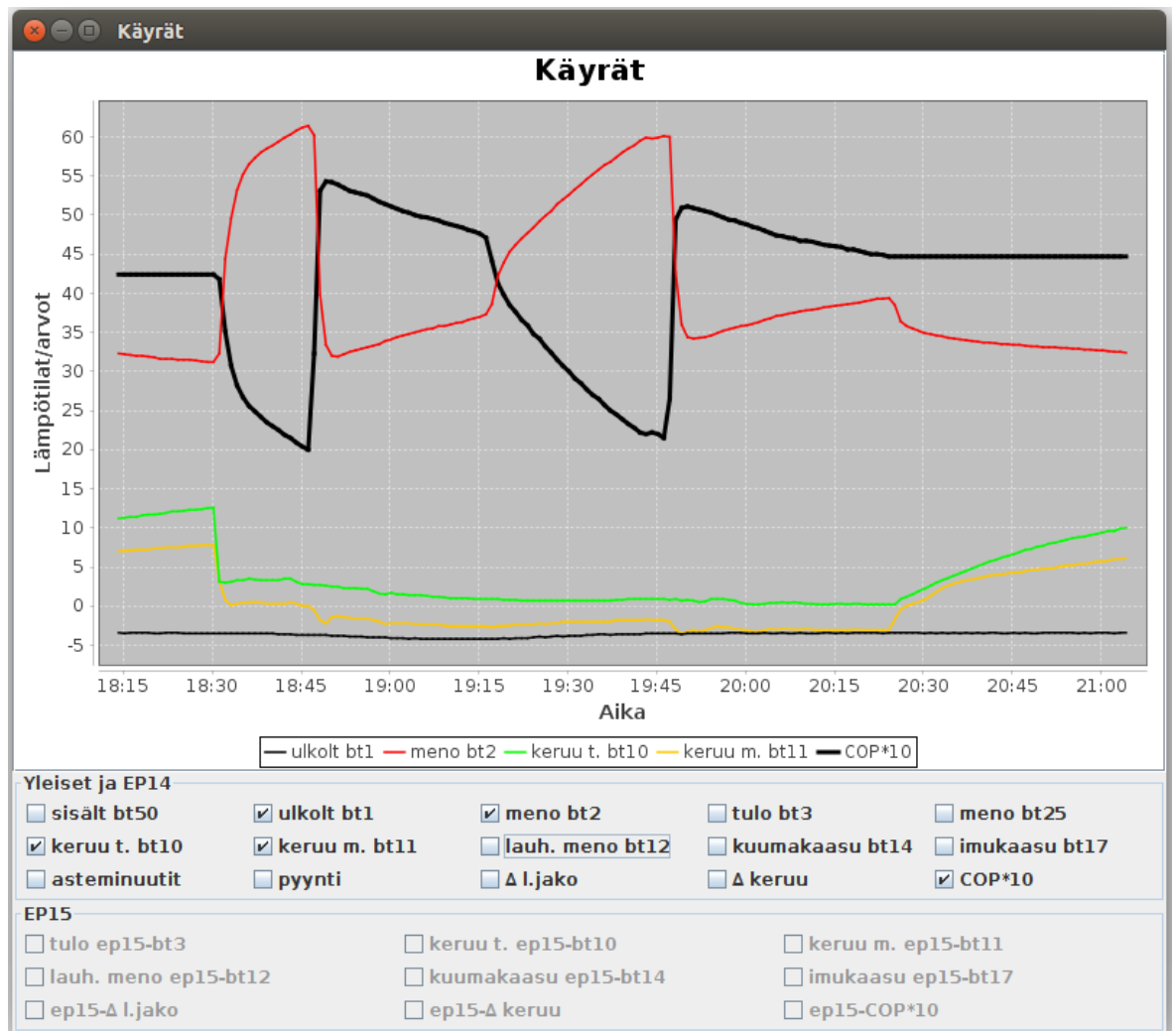
Ohjelman kyky tallentaa luetut lokit paikalliseen tietovarastoon tekee siitä helpon ja vaivattoman tavan tallentaa tietoa pitkältikin ajalta, kunhan käyttäjä vaan yleensä lukee pumpun lokeja säännöllisesti. Paras tarkkuus luonnollisesti saavutetaan koko ajan mittausdataa vastaanottavalla tekniikalla, kuten esimerkiksi tässä työssä hyväksi käytetyllä Talogger-ohjelmistolla.

5.1 Hyödyllisyys ja johtopäätökset

Ohjelma puolustaa paikkaansa yksinkertaisella toiminnallaan ja käyttöjärjestelmäriippumattomuudellaan. Tässä versiossa ohjelma ei vielä ehdota käyttäjälle mitään muutostoi-menpiteitä. Tämä siksi, että maalämpöjärjestelmien toimittajilla on vastuu neuvoa asiakas-taan ja korjausehdotusten taustalla tarvitaan valtava määrä kokemusta eri toimintaympä-ristöistä. Ohjelman tarkoitus on helpottaa käyntiarvojen lukua sekä käyttäjän omaa analyysiä omasta lämpöpumpusta.

Ohjelman lisenssi on *GNU General Public License v3*, joka takaa vapaan käytön, kopioin-nin, muokkaamisen ja edelleen jakamisen. Jos tuotoksesta olisi kaavailtu saatavan talou-dellista hyötyä, ei sen nykyinen laajuus mitä ilmeisimmin rahalliseen toimintaan riittäisi. Avoimen lähdekoodin tapauksessa voidaan riittävät hyödyt saavuttaa pelkästä maalämpö-lämmittäjien ilosta löytää työkalu helpottamaan lokien lukua.

MLP logintutkijalla voi havainnoida kuinka kylmäaineprosessin lämpökerroin on riippuvai-nen rakennuksen lämmönjaon lämpötilasta. Kuvassa 18 näkyy laskettu lämpökerroin (ker-rottuna 10:ä havainnollistamistarkoituksessa) mustalla käyrällä ja se selvästi kertoo suh-teen punaisella käyrällä kuvattuun menolämpötilaan verrattuna. Lämpökertoimen muutos on lähes käänteinen menolämpötilaan nähden. Esimerkkinä olevassa tarkkailujaksossa on kaksi käyttövesituotannon jaksoa, (18:30 - 18:46 ja 19:16 - 19:47) joissa lämpökerroin lähentelee jo melko matalan arvon 2 rajaa.



Kuva 18: MLP logintutkija, loki-arvojen esitys ajan funktiona

Lämmitysvesituotannossa, jossa menolämpötila on huomattavasti matalampi tässä esimerkissä, lämpökerroin on jo kertaluokkaa parempi kuten näkyy esimerkiksi ajanjaksossa 19:46 - 20:24.

Lämpöpumpulla lämmittävän kannattaakin pitää huoli lämmönjakojärjestelmän riittävästä virtauksesta ja ensimmäinen ja helpoin tapa on varmistua, ettei lämmönjaon kiertoa kurista esimerkiksi termostaattit. Lämpöpumppu säätää itse tehonsa lämpökäyrän ja ulkolämpötilan mukaan. Tällöin keskimääräinen lämpökerroin pysyy mahdollisimman korkealla tasolla. Yhteenvedonäkymästä kuvassa 17 näkee kyseisen ajojakson keskimääräisen lämpökertoimen sekä lämmityskäytössä että käyttövesituotannossa. Lämmityksen lämpökerroin 4,8 on hyvää luokkaa käyttöveden lämmityksen jäädessä vain lukuun 2,9. Varsinkin radiaattoreilla varustetun kiinteistön omistajalle antaa MLP logintutkija kuvaa siitä säästöpotentiaalista mikä patteriverkon laajentamisella, tai pikemminkin tehokkaampien radiaattoreiden hankinnalla olisi saavutettavissa.

Huomattavaa on kalliolämmön tapauksessa sen lämpökertoimen pysyvyys verrattuna ulkolämpötilaan. Tämä todistaa sen, että ulkoilman lämpötilavaikutukset ovat melko vähäisiä kun mennään syvemmälle maan kuoreen. Kovalla pakkasella lisääntynyt energian otto kaivosta laskee sen lämpötilaa ja sitä kautta alkaa myös näkymään lämpökertoimessa. Ilmasta höyrystysenergian ottavissa laitteissa tämä suhde on paljon jyrkempi.

Keskiulkolämpötila	Lämpökerroin lämmityksessä energia- kaivolla MLP logintutkijan mukaan
+4,6 °C	5,3
+0,2 °C	5,0
-5,4 °C	5,1
-9,9 °C	4,9
-17,6 °C	4,7

Taulukko 4: Lämpökerroin ulkolämpötilan suhteen energiakaivolla ja maalämpöpumpulla Nibe F1145.

Omassa kodissani lämpöpumpun käynnin seuraaminen on hyödyttänyt ymmärrystä kasvattavasti. Lämmitysjärjestelmän saneerausessa tehdyt valinnat 10 kW nimellistehon pumpusta 8 kW sijaan ovat osoittautuneet MLP logintutkijan analyysin ja käyttökokemusten osalta onnistuneeksi. Myös lämmönjakoverkoston 7 radiaattorin uusiminen nykyaikaisiksi matalalämpöradiaattoreiksi kannatti, 10 kW pumppu pystyy nostamaan verkoston menoveden maksimissaan 42 °C lämpötilaan. Lämpökäyrästä interpoloiden tämä tarkoittaa yli -30 °C ulkolämpötilaa, joten kyseessä on hyvällä marginaalilla oleva täystehomitoitettu järjestelmä. Käyttöveden lämmitykseen isompi teho tuo joutuisuutta lyhyempänä veden käyttölämpöön saamiseen menevänä aikana. Käyntiaikasääteisissä laitteissa kuten omassa F1145:a on tärkeää pitää kompressorin käynnistyskerrat mahdollisimman alhaisina. Lähes 200,000 tietueen analyysi lokeista lämmityskaudelta 2012–2013 kertoo keskimääräisen vuorokautisten käynnistysten määräksi noin kymmenen per vuorokausi, joka on hyvä luku lähes puolentoista tunnin kompressorin lepojaksojen kera. Kaikki havainnot tukevat maalämpöpumpun pitkää käyttöikää ja investoinnin kannattavuutta.

Lämmityslaitteen 3 vuoden käytön ajan seuranta on tehty säännöllisesti ja nyt ohjelman kehityksen myötä se on helpottunut niin paljon, että enää ei edes kellariin vaivautuminen estä tarkistamasta laitteen lokeja.

5.2 Jatkokehitys

Jatkokehityksen ensimmäinen osa-alue olisi käyttäjän neuvominen saatujen tietojen perusteella. Tällöin ohjelma voisi interaktiivisesti neuvoa käyttäjää optimoimaan jotain käynti-

parametria, jolloin uuden lokin lukeminen antaisi tiedon autoiko kyseinen hienosäätö parempaan tulokseen pääsyssä. Haasteeksi tässä muodostuu maalämpöjärjestelmien säätämisen liian kapea kokemus, eri lämmönkeruutyypeistä ja niiden laaduista, rakennuksista, paikkakunnista ja käyttötottumuksista pitäisi ensin kerätä kattava ymmärrys jotta käyttöä ohjaavia neuvoja voisi antaa.

Toinen mielenkiintoinen ja kuitenkin erittäin perustavaa laatua oleva tieto olisi energiamittaus eli kuinka paljon saadaan ilmaislämpöä lämmönkeruusta, kuinka paljon käytetään osatoenergiaa ja kuinka paljon energiaa syötetään rakennukseen. Koska lämpöpumpuissa ei yleisesti ole virtausantureita, vaatisi näiden lisääminen lisätöitä ja -investointeja putkiasennuksiin. Ohjelman nykyisillä mittaustiedoilla voitaisiin energiamäärät arvioida niin karkeasti ettei niiden esittäminen ole mielekästä.

Kolmas kohtuullisella kustannuksella saatava lisäosa olisi yhteisöllinen tietojen tallennus niin, että muut ohjelman käyttäjät pystyisivät hyötymään tiedoista keskimääräisten arvojen ja paikkakunta-kohtaisten vertailujen muodossa. Tämä voisi jopa mahdollistaa riittävän suuren tietomassan keräämisessä jotta ensimmäisen kehityskohdan puuttuva ymmärrys voitaisiin hankkia useiden käyttäjien tietojen analysoinnista. Yhteisöllisyys tukisi mainiosti foorumeiden perusajatusta tiedon ja kokemusten jakamisesta käyttäjien välillä.

Oman talon maalämpöön liittyvä tulevaisuuden kehityshanke on maaviileän asentaminen järjestelmään. Lähtökohtaisesti viilennyksen tuoman energian tallentaminen takaisin energiakaivoon tuntuu erittäin järkevältä ja mielenkiintoiselta. Rakennuksen jäähdytysenergian vaikutus kaivon lämpötilaan lämmityskaudella olisi kiehtova ja hyödyllinen tieto.

5.3 Oma oppiminen

Nykyajan kulutusyhteiskunnassa uusiutuvien energialähteiden mahdollistamat teknologiat ovat kiinnostava ja kauaskantoinen vaihtoehto rakennusten lämmityksessä ja energiakulutuksessa ylipäätään. Kun tähän lisätään lämpöpumpputekniikka ja sen ohjaukseen valjastettu säätöohjelmisto, odottaa kiehtova kokonaisuus tutkijaansa. Tämän saman tekniikan kiehtovuuden voi aistia myös aihepiiriä käsittelevissä foorumeissa. Työn edetessä jopa Nydalin lähdekirja käytännön kylmätekniikka alkoi tuntua niin mielenkiintoiselta, että harkitsin sen ostoa.

Itse ohjelman tekeminen oli paras kokemus koko työssä. Tämä siksi että mielenkiinto ohjelmointiin on säilynyt läpi elämän, mutta varsinaiset ohjelmointitaidon käyttökohteet ovat lähestulkoon puuttuneet lukuun ottamatta muutamia työssä eteen tulleita ohjelmointitehtäviä. Javan käyttö koulutusohjelman ohjelmoinnin kurssilla oli tämän työn ohjelmointikielen

valinnan osalta merkittävä tekijä. Jos tätä ajattelee oppimisen kannalta, niin jonkin toisen kielen valinta olisi saattanut olla vielä hyödyllisempää, mutta Javan käyttö oli tarkoituksenmukaista vaatimuksiin nähden.

Itse opinnäytetyöprosessi ja raportin kirjoitus on myös sellainen kokonaisuus, jota ei heti unohda. On ollut hienoa saada kuva tieteenharjoittajan tavasta lähestyä jotain ilmiötä; kerätä ja lukea aiheesta jo kirjoitettu tieto, tutkia ilmiötä omasta näkökannasta ja tehdä oma analyysi tai päättely käytettävissä olevista tiedoista. Kirjoittamisen ja jonkin ilmiön tutkimisen välinen vuorovaikutus ja kytkös oli uusi elämys.

Lähteet

Aittomäki, A., Aalto, E., Alijoki, T., Hakala, P., Hirvelä, A., Kaappola, E., Mentula, J., Seinelä, A. 2012a. Kylmätekniiikan oppikirja, 4. painos. Bookwell Oy. Porvoo.

Aittomäki, A., Kianta J., Haapalainen, H., Simppala, M., 1999. Pientalolämpöpumppujen toiminta käyttökohteissa. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Tampere.

Eskola L., Jokisalo, J. & Sirén K., 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas 3.10.2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D LVI ja energiatalous. Luettavissa: http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/lampopumppujen_energiatalous.pdf. Luettu: 1.5.2015.

GTK, Geologian tutkimuskeskus. Geologia tutuksi. Geologiset luonnonvarat. Geoenergia. Luettavissa: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia>. Luettu: 22.3.2015.

Gilbert, D., 2009. The JFreeChart Class Library. Object Refinery Limited.

GNU 2007. GNU General Public License, Version 3. Luettavissa: <http://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>. Luettu: 19.4.2015.

Hokka, J., 2012. Maalämpöpumpun COP-arvon selvittäminen ja oppimistehtävien ideointi. Opinnäytetyö. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201204013987>. Luettu: 21.3.2015.

Järvenpää. Maalämpöjärjestelmän rakentaminen. Toimenpidelupa. Luvan hakeminen. Rakentaminen. Rakennusvalvonta. Järvenpään kaupungin verkkosivusto. Luettavissa: http://www.jarvenpaa.fi/--Maal%C3%A4mp%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4n_rakentaminen--/sivu.tmp?siivu_id=6338. Luettu: 9.5.2015.

Ketonen, J., 2012, Maalämpö lämpöenergian tuottajana. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201203093164>. Luettu: 1.3.2015.

Kärkkäinen 2014. Heat pumps for cooling and heating. Task 17 - Integration of Demand Side Management, Energy Efficiency, Distributed Generation and Renewable Energy Sources. IEA Demand Side Management Programme. Luettavissa: <http://www.ieadsm.org/Files/Tasks/Task 17 - Integration of Demand Side Management>,

Energy Efficiency, Distributed Generation and Renewable Energy Sources/Final reports/Heat pump report final.pdf. Luettu: 12.3.2015.

Laine, T., 2014. Hypermarkettien lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien energiatehokkuus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201408151362>. Luettu: 28.3.2015.

Lehtinen J., 2013. Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. Lämpövinkki Oy. Luettavissa: <http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/?Page=Maalampopumpunjamaalammonvalinta>. Luettu 2.3.2015.

Leppiniemi, J., 2012. Lattialämmityksen suunnitteluohjeistus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012120117697>. Luettu: 3.4.2015.

Leppäharju, N., 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Fysikaalisten tieteiden laitos, geofysiikka. Pro gradu –tutkielma. Oulun yliopisto. Oulu.

Luomalahti, N. 2012. Uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201205245590>. Luettu: 19.3.2015.

Matikka, V. 2009. Maalämpöprojektin loppuraportti. Savonia Ammattikorkeakoulu. Luettavissa: https://portal.savonia.fi/img/amk/.../Loppuraportti_MAALAMPO.pdf. Luettu: 23.2.2015.

Motiva Oy 2014. Rakentaminen. Lämmitysjärjestelmän valinta. Lämmönjaon vaihtoehdot. Luettavissa: http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/vesikeskuslammitys. Luettu: 29.3.2015.

Motiva Oy 2012. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2012. Luettavissa: http://www.motiva.fi/julkaisut/pientalon_lammitysjarjestelmat.2193.shtml. Luettu: 25.2.2015.

MySQL 2012. FOSS License Exception. Luettavissa: <http://www.mysql.com/about/legal/licensing/foss-exception/>. Luettu: 14.1.2015.

Nibe AB Sweden a. F1145 asentajan käsikirja. Luettavissa: <http://www.nibe.fi/nibedocuments/9542/231679-2.pdf>. Luettu: 19.1.2015.

Nibe AB Sweden b. F1345 asentajan käsikirja. Luettavissa: <http://www.nibe.fi/nibedocuments/8996/031833-1.pdf>. Luettu: 7.3.2015.

Nibe Energy Systems Oy. Lämpöpumpun säätö. Luettavissa: www.nibe.fi/Documents/haato_fi/lämmityksen%20säätö.pdf. Luettu: 26.3.2015.

Nydal, R. 1994. Käytännön kylmäteknikka. Gummerus. Jyväskylä.

Oikkonen, T. 2011, RA1-lämpöpumpun käyttöönotto ja optimointi. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105259625>. Luettu: 28.2.2015.

OpenCSV 3.3, 2015. Javakirjasto. Luettavissa: <http://opencsv.sourceforge.net/index.html>. Luettu: 27.12.2014.

Perälä, R. 2009. Lämpöpumput. Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Alfamer Oy. Helsinki.

Pokki, J., Aumo, R., Kananoja, T., Ahtola, T., Hyvärinen, J., Kallio, J., Kinnunen, K., Luodes, H., Sarapää, O., Selonen, O., Tuusjärvi, M., Törmänen, T. & Virtanen, K. 2014. Geologien luonnonvarojen hyödyntäminen Suomessa vuonna 2012. Tutkimusraportti 210. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. Luettavissa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_210.pdf. Luettu: 22.3.2015.

Rettig Lämpö Oy 2014. Purmo matalalämpöradiaattorien käyttöopas. Luettavissa: <http://www.purmo.com/docs/auth/Heating-Guide-FI.pdf>. Luettu: 1.4.2015.

Rakennustietosäätiö RTS 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Räisä, T. 2013, Maalämpöpumppulaboratorio oppimisympäristönä. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201305168974> . Luettu: 28.3.2015.

Silander, S., Ollikainen, V. & Peltomäki, J. 2010. Java. Docendo. Jyväskylä.

SQLite. Appropriate Uses for SQLite. Luettavissa: <http://www.sqlite.org/whentouse.html>.
Luettu: 18.4.2015.

Thermia Partners Oy. Hoito-ohje. Diplomat – Diplomat Duo – Comfort – Atria – Atria Duo.
Luettavissa: www.thermia.fi/docroot/dokumentbank/Thermia_user_086U6294_FI.pdf.
Luettu: 3.4.2015.

THL 2015. Legionella, ympäristötekijät ja torjuntamahdollisuudet. Terveystieteiden tutkimuslaitos. Luettavissa: <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa/ymparistotekijat-ja-torjuntamahdollisuudet>. Luettu: 4.4.2015.

Tikkanen, J., 2013, Modbus-integrointi rakennusautomaatiojärjestelmään. Opinnäytetyö.
Tampereen ammattikorkeakoulu. Luettavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201305148469>. Luettu: 14.3.2015.

Tilastokeskus 2015. Energian hinnat. ISSN=1799-7984. 4. vuosineljännes 2014, Liitekuvio 5. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Helsinki. Luettavissa:
http://www.stat.fi/til/ehi/2014/04/ehi_2014_04_2015-03-19_kuv_005_fi.html. Luettu: 2.4.2015.

Vihola, J. & Heljo, J., 2012. Lämmitystapojen kehitys 2000–2012. Aineistoselvitys. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos . Tampere. Luettavissa:
www.tut.fi/ee/Materiaali/Lammitystapojen_kehitys_2000_2012.pdf. Luettu: 4.3.2015.

Zogg, M., 2008. History of Heat Pumps. Swiss Contributions and International Milestones. Luettavissa: www.zogg-engineering.ch/publi/iea_hpc08_zogg.pdf. Luettu: 21.2.2015.

Xerial 2014. Wiki. SQLite JDBC Driver. License. Luettavissa:
<https://bitbucket.org/xerial/sqlite-jdbc/wiki/Home>. Luettu: 15.4.2015.

Ympäristöhallinto 2015. Etusivu. Ilmasto ja ilma. Otsonikerroksen suojeleminen. Otsonikerrosta heikentäviä aineita koskevat rajoitukset. HCFC-yhdisteet, ohjeita kiinteistöjen omistajille. Luettavissa: <http://www.ymparisto.fi/HCFC>. Luettu: 29.3.2015.

Ympäristöministeriö 2013a. Laskentaliite perustelumuiistioon. Perustelumuiistio rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (27.2.2013). 4/2013
Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja

muutostöissä. Luettavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BE6B413C1-DAB5-4433-9D0F-F4C81AC6EF00%7D/31398>. Luettu: 29.3.2015.

Ympäristöministeriö 2013b. Energiakaivo. Ympäristöopas 2013. Rakennetun ympäristön osasto. Luettavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40953>. Luettu: 23.3.2015.

Liitteet

Liite 1. Testaussuunnitelma

Maalämpöpumpun lokianalysaattorin testaussuunnitelma

Muutoshistoria

Versiointi a.b.c, jossa a-taso muutetaan vain kun dokumentti on hyväksytty, b-taso muutuu kun dokumentti lähetetään kommentoitavaksi ja c-taso muutetaan aina kun dokumenttiin tehdään muutoksia.

Henkilö	Päiväys	Versio	Kommentti
Timo Karhu	12.4.2015	0.0.1	dokumentin luonti
Timo Karhu	19.4.2015	0.0.2	testitapausten kirjaus
Timo Karhu	10.5.2015	0.0.3	tulosten kirjaus
Timo Karhu	14.5.2015	1.0.0	hyväksytty

Johdanto

Tämä dokumentin tarkoituksena on kirjata Logintutkija-ohjelman testauksessa käytetyt menetelmät ja kirjata niiden löydökset. Ohjelman suunnitellun yksinkertaisuuden vuoksi raskasta testausta pyritään välttämään, mutta usean käyttöjärjestelmän ja lämpöpumppumalli tuen vuoksi testaus on välttämätöntä.

Määritelmät ja termit

Termi	Kuvaus
MLP	maalämpöpumppu
EP14	IEC 81346-1 ja 81346-2 mukainen merkintä Nibe lämpöpumpun ensimmäiselle kylmäyksikölle
EP15	toinen kylmäyksikkö
KV	käyttövesi
lämmitysveden pyyntö	lämpöpumpun laskema rakennuksen tarvitsema menevän lämmitysveden lämpötila
Δ lämmitys/käyttövesi	lähtevän ja tulevan nesteen lämpötilaero, lauhdutin
Δ lämmönkeruupiiri	lähtevän ja tulevan nesteen lämpötilaero, höyrystin
keruu tulo BT10	lämmönlähteestä (maa, kallio, vesistö) tulevan nesteen lämpötila
keruu meno BT11	lämmönlähteeseen palaavan nesteen lämpötila
käyntiaikasuhte	kertoo kuinka ison ajan lämpöpumpun kylmäyksikkö ja/tai vastukset tekevät työtä
GUI	graafinen käyttöliittymä

Kohde ja tavoitteet

Testauksella pyritään varmistamaan tässä työssä tuotettavan ohjelman "MLP logintutkija" asianmukainen toiminta työssä rajattujen lämpöpumppumallien sekä tietokannan kanssa listatuissa käyttöjärjestelmissä.

Testausympäristö

Testaus suoritetaan seuraavissa eri ympäristöissä.

Laitealusta	Käyttöjärjestelmä	Java runtime versio	Arkkitehtuuri
Sony Vaio VGN-FW41ZJ	Ubuntu 14.04	1.8.0_40-b25	x86-64
VirtualBox 4.3	Windows 7		
Lenovo X1	Windows 7		x86-64
Apple MacBook	OSX		x86-64

Testattavat toiminnot

Ohjelmassa testataan yleinen käynnistyminen, lokitiedostojen luku kolmesta eri lämpöpumppumallista Nibe Fighter F1145 (tai F1245) ja F1345. Tarkistetaan yhteenvetolaskujen tarkkuus lämmönkeruupiirin lämpötilaeron, kompressorin käynnistysten ja lämmitys lisäsähkön avustamana.

Toimintojen testitapaukset ja raportointi

Testitapaukset

Testitapaukset jaetaan kahteen ryhmään, kaikissa kolmessa eri käyttöjärjestelmässä erikseen testattavat ja sellaiset joita ei testata kuin yhdessä käyttöjärjestelmässä. Seuraavassa taulukon sarakkeessa "KJ" kerrotaan, kummasta ryhmästä on kyse. 1 tarkoittaa yhtä käyttöjärjestelmää ja 3 kaikkia tuettuja.

Nro	Toiminto	Testitapaus	Kriteerit	Linux/Win/OSX
1	Ohjelma lataa käyttöliittymän	Käyttäjä tupla klikkaa .jar tiedostoa paikallisessa tiedostojärjestelmässä	GUI latautuu, yhteenvetomerot nollattuna ja käyntisuhde ympyrägrafiikka näyttää 100%	3

			lepoa.	
2	Etsi ja avaa lokitiedostot	Käyttäjä painaa "Logit" painiketta ja hakee hakemiston, jossa lokitiedostot ovat	Ohjelma lukee tiedostot ja tulostaa löytäneensä oikean määrän tiedostoja. "Logiaineisto luettu" teksti tulostuu.	3
3	Etsi ja avaa lokitiedostot	Käyttäjä painaa "Logit" painiketta ja hakee hakemiston jossa ei ole lokitiedostoja	Ohjelma tulostaa "Logitiedostoja: 0. Tarkista hakemistovalinta."	3
4	Tietokantahaku	Käyttäjä painaa "DB" painiketta ja antaa oikeat kirjautumistiedot talogger-tietokantaan.	Ohjelma tulostaa "Logiaineisto luettu. Analysointi tehty <n> tietueella." Yhteenvetönäytön numerot päivittyvät.	1
5	Tietokantahaku	Käyttäjä painaa "DB" painiketta ja antaa väärät kirjautumistiedot talogger-tietokantaan.	Ohjelma tulostaa "Virhe: <tietokanta-ajurin virheviesti>"	1
6	F1245 loki	Käyttäjä ottaa oletuslokityökaluilla Nibe F1245 lämpöpumpusta 1 vrk lokin	Yhteenvetotiedot lasketaan manuaalisesti käyttäen taulukkolaskentaa ja verrataan ohjelman tulostamia lukuja kolmesta suureesta	1
7	F1145 loki	Käyttäjä ottaa oletuslokityökaluilla Nibe	Yhteenvetotiedot lasketaan	1

		F1145 lämpöpumpusta 1 vrk lokin	manuaalisesti käyttäen taulukkolaskentaa ja verrataan ohjelman tulostamia lukuja kolmesta suureesta	
8	F1345 loki	Käyttäjä ottaa oletuslokitiedoilla Nibe F1345 lämpöpumpusta 1 vrk lokin	Yhteenvetotiedot lasketaan manuaalisesti käyttäen taulukkolaskentaa ja verrataan ohjelman tulostamia lukuja kolmesta suureesta	1
9	F1345 loki	Käyttäjä ottaa oletuslokitiedoilla Nibe F1345 lämpöpumpusta 1 vrk lokin	Kylmäyksikköjen EP14 ja EP15 valintapainikkeet aktivoituvat ja toinen valittaessa yhteenvetotiedot päivittyvät	1
10	Käyrät	Käyttäjä avaa jonkin lämpöpumpun login ja painaa "Käyrät" painiketta.	Käyrät ikkuna avautuu ja oletussuureiden lämpötilat näkyvät ajan funktiona	1
11	Käyrät	Käyttäjä valitsee muita kuin oletussuureita Käyrät-ikkunassa	Oletussuureiden käyrät poistuvat ja uudet valitut suureet piirretään	1
12	Tietokantatallennus	Käyttäjä avaa jonkin lämpöpumpun lokin ja sulkee ohjelman.	Käyttäjä hakee pakallisesta SQLite tietokannasta lokien ai-	3

			kajaksolta tiedot. Haku onnistuu ja analyysi tehdään.	
13	Lokitietojen luku yli kuukauden ajalta.	Yli kuukauden lokit sisältävä tieto	Luku onnistuu riipeästi ja analyysi tehdään.	3

Testiraportti

Testitapauksissa a on Linux, b Windows ja c Mac -käyttöjärjestelmä.

Nro	OK/ei OK	Epäonnistumisen kuvaus
1a	OK	
1b	OK	
1c	OK	
2a	OK - huom	Huom: työn perustana käytetty F1145 lämpöpumppu kirjoitti 52 päivän pituisen tarkastelujakson aikana satunnaisesti korruptoitunutta lokitietoa. Tekstitiedostossa oli Unicode merkistöstandardiin kuulumattomia arvoja. Luotettavaa korruptoitumistarkistusta ei saatu luotua, vaan ohjelma saattaa tässä tapauksessa jumiutua.
2b	OK - huom	
2c	OK- huom	
3a	OK	
3b	OK	
3c	OK	
4	OK	
5	ei OK v0.60: OK	Tietokantayhteys-ikkunaan annettu väärä osoite muodosti yhteyden oletusosoitteeseen. Korjattu versiossa 0.60.
6	OK	
7	OK	
8	OK	
9	OK	
10	OK	
11	OK	
12a	OK	
12b	OK	
12c	OK	
13a	ei OK v0.90: OK	Mittausvälin laskeminen millisekunneissa aiheutti Integer tietotyyppin kääntymisen negatiiviseksi arvoksi luvun 2147483647 jälkeen. Korjattu versiossa 0.90.

13b	ei OK	Windowsilla 200000 tietueen testi aiheutti ohjelman juuttumisen 35-55% kohdalle. Syytä ei löytynyt. Asiaa tutkitaan myöhemmin.
13c	OK	

Ei-toiminnallisten ominaisuuksien testaus

Ei-toiminnallisilla ominaisuuksilla ei ole suurta painoarvoa, kyse on pelkästään asiakasohjelmasta, joka lukee tietonsa joko tavallisista tekstitiedostoista tai relaatiotietokannasta. Ohjelman yleistä vasteaikaa testattiin kokemusperäisesti ja se on suoraan verrannollinen tietokoneen yleiseen nopeuteen, jolla ohjelmaa ajetaan.

Käytettävyys, siirrettävyys ja luotettavuus testataan suuremmalla yleisöllä kun ohjelma julkaistaan maalämpöfoorumilla vapaaseen käyttöön.

MLP Logintutkija 1.0 käyttöohje

Ennakkovaatimukset

MLP logintutkija -ohjelmaa ei varsinaisesti asenneta, mutta sen ajaminen vaatii Java ajon-
aikaisen ympäristön asentamista. Javan asennusmekanismit kannattaa tarkastaa oman
tietokoneen käyttöjärjestelmän dokumentaatiosta. Tässä yleiset ohjeet:

Käyttöjärjestelmä	Java asennus	Huomautuksia
Ubuntu Linux	Openjdk Java on jo asennettu	
Windows	https://java.com/en/download/	
Mac OSX	https://java.com/en/download/	

200 MT vapaata muistia ja noin 10 MT levytilaa.

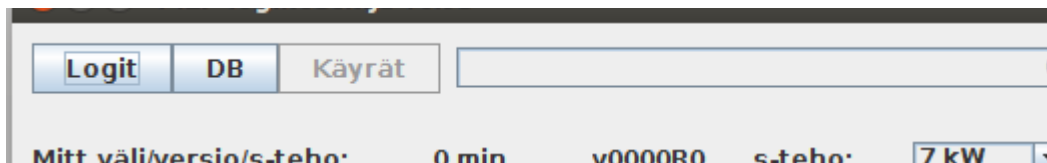
Ohjelma ladataan osoitteesta <http://www.railers.fi/nalle/tools/Logintutkija.jar> tietokoneen paikalliseen hakemistoon, johon käyttäjällä pitää olla kirjoitus ja lukuoikeudet.

Ohjelman ajaminen

Kun ennakkovaatimukset ovat täytetty, voi ohjelman käynnistää tuplaklikkaamalla Java-ar-
kistoa Logintutkija.jar. Jos tietokoneesi tiedostopäätteiden liitokset eivät viittaa jar-päätettä
Javaan ja ohjelma ei käynnisty, voit avata sen myös klikkaamalla Logintutkija.jar tiedostoa
hiiren oikealla näppäimellä ja valitsemalla Java ajon aikaisen ympäristön (Java Runtime).
Kopioi lämpöpumpusta hakemasi lokitiedostot johonkin hakemistoon

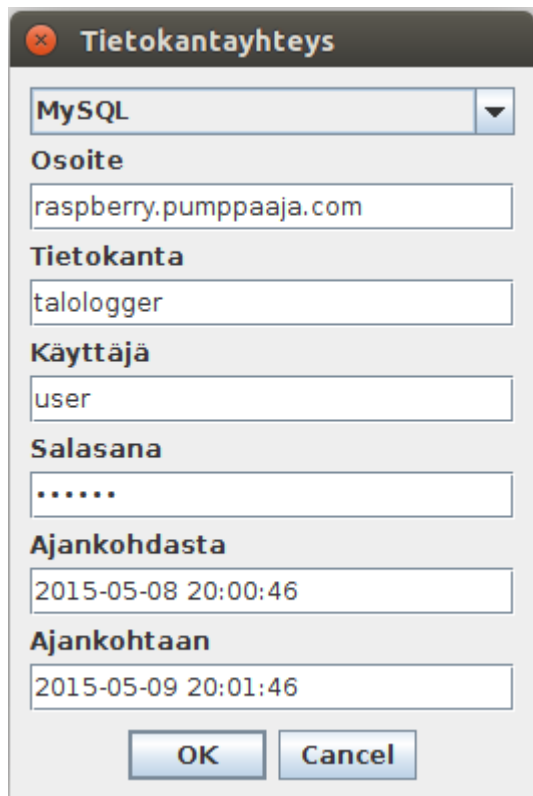
Lokitietojen hakeminen

Ohjelman käynnistyttyä, voit valita luetko lokitiedostoja vai teetkö tietokantahaun.



Painaessasi "Logit" painiketta, saat tiedostovalintaikkunan, jossa voit hakea sen hakemis-
ton, mihin siirsit lokitiedostot lämpöpumpustasi. Jos painat "DB" painiketta, saat ikkunan,
jossa pyydetään tietokantayhteyden vaatimat tiedot. Tietokantayhteydessä kysytään tieto-

kannan tyyppi eli ajuri, vaihtoehtoina SQLite paikallisesti tallennettuihin tietoihin ja MySQL etäällä olevalle tietokannalle. Tietokannan verkko-osoite, nimi tai IP-osoite. Käyttäjä ja salasana sekä hakuehdon ajankohdat, mistä ajan hetkestä mihin saakka.



Tietokantayhteys

MySQL

Osoite
raspberry.pumppaaja.com

Tietokanta
talologger

Käyttäjä
user

Salasana
.....

Ajankohdasta
2015-05-08 20:00:46

Ajankohtaan
2015-05-09 20:01:46

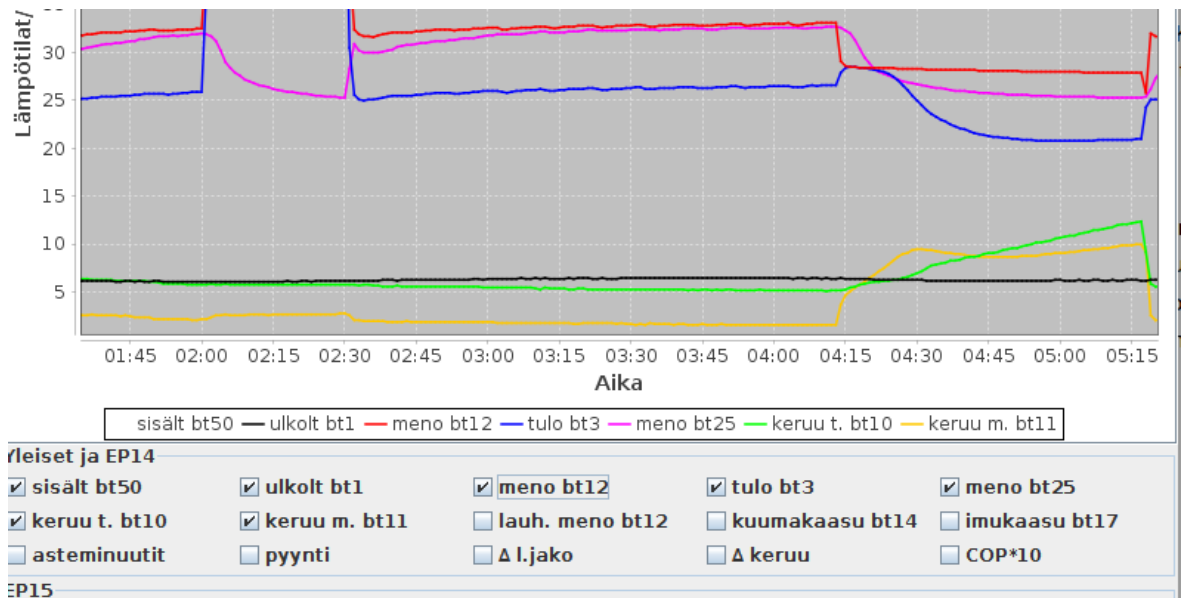
OK Cancel

Painaessasi OK, haetaan lokitiedot tietokannasta. Ohjelma kertoo tilakentässään toiminnon tilan ja jos tietoja löytyi, päivittyvät yhteenvetönäkymän tiedot.

Käyrät

Arvojen tutkiminen ajan funktiona on hyödyllistä jonkin tapahtuman tutkimisessa, jossa useamman suureen vaikutus toisiinsa voidaan nähdä. Käyrät-näkymässä oletuksena näkyvät suureet ovat valittuna ikkunan alaosassa. Esivalittuja tai muita suureita voi lisätä tai poistaa tarpeen mukaan.

Näkymässä voi lähentää tarkasteluikkunaa maalaamalla alueen, jolloin tuosta alueesta tulee käyränpirtoalueen rajat. Näkymä siis lähenee. Palautus tapahtuu maalaamalla negatiivinen alue eli oikeasta alakulmasta vasempaan yläkulmaan. Zoomaamisen voi tehdä myös hiiren rullalla vierittämällä. Ajassa voi liikkua zoomaamalla tietyllä ajanhetkellä sisään ja edesspäin olevalla hetkellä ulos.



Paikallinen tallennus

Jos olet lukenut lokit tiedostoista, luo ohjelma oletuksena paikallisen SQLite-tietokantatiedoston. Luetut lokitiedot tallennetaan kantaan myöhempää käyttöä varten, lähinnä tietojen vertailua varten. Tietokantatiedoston nimi on oletuksena logintutkija.db, jonka voi vaihtaa asetustiedostossa kuten myös tietojen tallennuksen ohjelman lopetettua. Tietokannasta haettuja arvoja ei tallenneta paikalliseen tietokantaan.

Asetustiedosto

Jotta MLP logintutkija voi muistaa käyttäjän valinnat, tallentaa se asetuksensa logintutkija.asetukset nimiseen tiedostoon. Jos tiedostoa ei ole, luodaan se oletustiedoilla.

asetus=arvo	Selite
paikallinen_tietokanta_tallennus=1	tallennetaanko paikallisesti?
paikallinen_tietokanta_osoite=logintutkija.db	paikallisen tietokannan polku ja tiedostonimi
tietokanta_dbms=sqlite	mikä tietokanta ajuri oli käytössä viimeksi?
tietokanta_nimi=tallogger	etätietokannan nimi
tietokanta_osoite=10.0.0.44	etätietokannan internet-osoite
tietokanta_salasana=salasana	tietokantakäyttäjän salasana
tietokanta_kayttaja=tunnus	tietokantakäyttäjän käyttäjätunnus
cop_045=3.77 cop_035=4.81	Maalämpöpumpun valmistajan ilmoitus standardiolosuhteiden lämpökertoimista. Käytetään COP:n laskemiseen.

tietokanta_arvo_*=<talologger mittauspisteiden nimi>	20 tietokannasta löytyvää arvoa millä MLP logintutkija pystyy tekemään analyysinsä. Nimeä omien Talologgerissa antamiesi mittauspisteiden mukaan.
--	---

Talogger ohjelmiston asennus Nibe F1145 lämpöpumpun lokitietojen lukemiseen

Yleistä

Jotta voidaan tutkia lämpöpumpun käyntiarvoja jatkuvalla periaatteella, tulee tietojen luvun tapahtua ohjelmallisesti ilman käyttäjää vaativaa tietojen siirtoa USB-muistitikulla. Kattava talotekniikan monitorointiohjelma Talogger, ladattavissa ja asennettavissa osoitteesta <http://olammi.iki.fi/sw/taloLogger/>, auttaa tässä suhteessa. Ideana lähestymisessä on lukea Talogger-ohjelmistolla tarvittavat tiedot suoraan lämpöpumpulta käyttäen hyväksi ohjelmiston tukemaa Modbus RTU protokollaa ja tallentaa samalla tietokoneella sijaitsevaan MySQL-tietokantaan.

Valmistajan itsensä tähän tarkoitukseen tarjoamat ratkaisut ovat joko kuukausilaskutteisia tai muuten melko hintavia.

Huom! Ohjeen tekijä ei vastaa niiden oikeellisuudesta, eikä anna ratkaisulle mitään takuuta. Kuvatun kytkennän tekeminen saattaa olla hengenvaarallista! Teetä työ sähköalan ammattilaisella.

Ennakkovaatimukset

Yhteyden muodostamiseen tarvitaan kaksi pääkomponenttia. Ensimmäinen on Modbus RTU yhteyskäytännön mahdollistava USB RS485 adapteri, joka löytyy hintaluokassa 10€ esimerkiksi verkkomarkkinapaikka eBaysta. Tämän ohjeen pohjana käytetty yksilö tuli Malesiasta alle kuukaudessa. Tuotteen nimi on "USB Transfer to RS485 Interface TTL Adapter FTDI FT232RL 75176 Module New".

Toinen peruskomponentti on tietokone jossa Talogger ohjelma ja sen tiedon tallennusvarastona toimiva MySQL kanta sijaitsevat. Tähän tarpeeseen sopiva on keväällä 2015 ilmestynyt "Raspberry Pi 2 Model B", jonka ohjeen kirjoittaja sai Suomesta hintaan 59€ sisältäen kotelon tietokoneelle. Kotelo on tärkeä jos haluaa suojata ja kiinnittää tietokoneen tekniseen tilaan lämpöpumpun läheisyyteen. Lisäksi pitää hankkia USB virtalähde, mielellään 1 A jatkuvaan virranantoon kykenevä, esimerkiksi tabletin laturi. Tässä työssä käytet-

tiin vanhaa ASUS merkkisen tabletin ylimääräistä laturia. Tiedon ja käyttöjärjestelmän tallennukseen pitää hankkia vähintään 8 GB kapasiteettinen nopeusluokan 10 MicroSD kortti. Riippuen USB RS485 muuntimen ja minitietokoneen välimatkasta toisiinsa, tulee näiden välille hankkia sopivan pituinen USB A - USB B välijohdo. Tärkeää on huomioida RS485 muuntimen B tyyppinen USB liitin kaapelia hankkiessa.

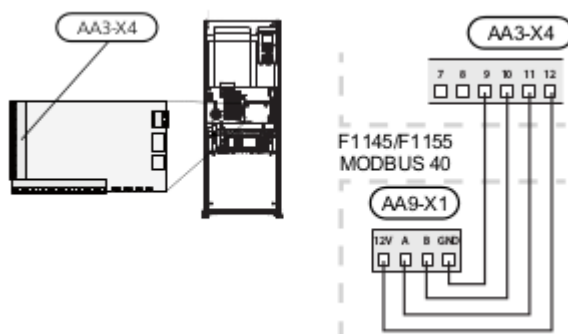
Lisäksi tarvitaan tapauskohtaisesti asennustarvikkeita kuten ruuveja, asennuskaapelia sarjaliikenteelle (LiYY, EKKX tai vastaava) sekä työkalut. Kirjoittaja käytti vanhaa audio-käyttöön tarkoitettua linjatason koaksiaalikaapelia hyvällä menestyksellä.

Lukuyhteyden muodostamiseksi minitietokoneesta MLP logintutkijaan, se pitää kytkeä kodin lähiverkkoon jollakin yhteyskäytännöllä. Tässä esimerkissä yhteys muodostettiin sähköverkon yli toimivalla HomePlug standardin mukaisella laiteparilla teknisen tilan ja kodin lähiverkon reitittimen välillä. Laitteina käytettiin paria ZyXEL PLA4201-mediamuuntimia.

Asennus, laitteet

Huom! Sammuta lämpöpumppu ja irrota se sähköverkosta kytkemällä ulkoinen turvakyt-kin 0-asentoon.

Asennus aloitetaan kytkemällä USB RS485 adapteri Nibe Fighter lämpöpumppuun. Kyt- kentä on lähes sama kuin Nibe Modbus 40 ohjeessa. Ainoana erona, ettei nastaa 12 läm- pöpumpun liitinterminaalissa AA3-X4 kytkeä lainkaan. Tämä siksi että USB RS485 muun- nin saa käyttösähkönsä siihen liitetystä tietokoneesta.



Kuva 1: Modbus RTU kytkentäkaavio lämpöpumpuille F1145 ja F1155. (Lähde: <http://www.nibe.fi/nibedocuments/15050/031725-6.pdf>.)

Aloita avaamalla lämpöpumpun etukansi ja kuvan osoittama kytkentärasian kansi. Vedä johdotus lämpöpumpun takaa niin, että toinen pää tulee läpivientireistä lämpöpumpun etu-

puolelle kytkentärasian alapuolelle. Kytke kaapeli kuvan 1 osoittamalla tavalla USB RS485 muuntimeen.

AA3-X4 nasta	USB RS485 muunnin
9	GND
10	B-
11	A+



Kuva 2: Lämpöpumpun etukansi ja kytkentärasian kansi avattuna

Seuraavaksi asenna sähkörasia ja Raspberry Pi 2 tietokoneen kotelo sopivaan paikkaan kuvan 3 mukaisesti, johon juuri asentamasi kaapeli yltää.



Kuva 3: RS485 muuntimen ja Raspberry Pi 2:n asennus seinään

Sähkörasiasta avattu keskimmäinen johdon läpivienti mahdollistaa RS485 muuntimen USB-B naarasliittimen työntämisen joustavasta reiästä läpi. Muunnin on juuri sopivan mitainen tavalliseen kytkentärasiaan. Kytke USB-A–USB-B kaapeli muuntimen ja tietokoneen liittimiin. Tietokoneesta kytketään Ethernet-parikaapeli talon lähiverkon reitittimeen, kuvassa kuitenkin HomePlug adapteriin, joka siirtää yhteyden sähköverkon yli eri tilassa sijaitsevaan reitittimeen.

Lopuksi sulje rasioiden kannet.



Kuva 4: Fyysinen asennus valmis

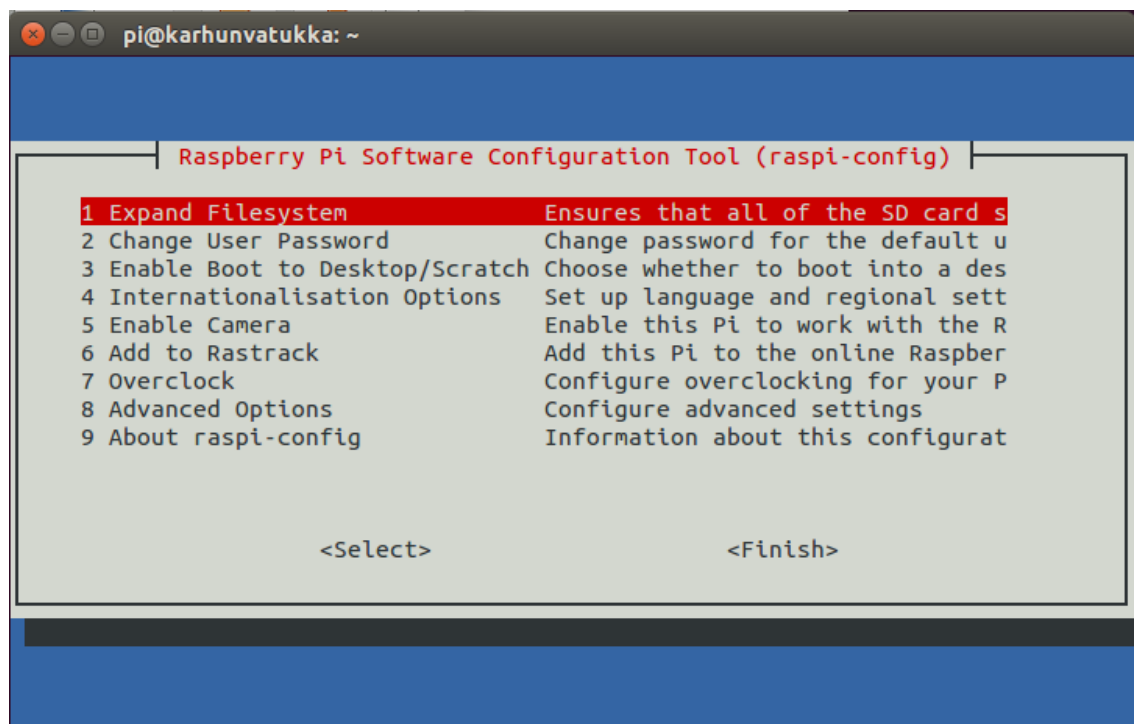
Koska yhteyden testaaminen lämpöpumpun ja RS485-adapterin välillä vaatii toimivan ohjelmiston, älä kytke Modbus tiedonsiirtoa lämpöpumpusta vielä tässä kohtaa. Kytke lämpöpumpun virransyöttö takaisin ja käynnistä lämpöpumppu.

Asennus, ohjelmistot

Kytke Raspberry-minitietokoneeseen jokin näyttö HDMI kaapelilla, sekä kytke USB-näppäimistö. Näitä kahta tarvitaan periaatteessa vain asennuksen ajaksi, mutta voit jättää konsolin ja näppäimistön tietokoneeseen halutessasi. Ohjeessa varsinaiset annetut komennot ovat Courier-fontilla, esim. `sudo reboot`.

1. Lataa ja asenna Raspbian käyttöjärjestelmä, ohjeen <http://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/README.md> mukaisesti.
2. Kun olet ladannut käyttöjärjestelmän MicroSD-kortille, laita se minitietokoneeseen sille varattuun paikkaan.
3. Kytke minitietokoneeseen USB virtalähde, tietokone käynnistyy ensimmäistä kertaa aloitusvalikkoon (kuva 5).

4. Laajenna tiedostojärjestelmä muistinkortin kokoiseksi ja anna *pi*-pääkäyttäjälle salasana. *Advanced*-valikosta voit halutessasi muuttaa minitiekoneen nimen ja tarkistaa että ssh palvelu on päällä. Tarvitset sitä ottaessasi yhteyttä minitietokoneeseen muualta. Poistu asetusvalikosta ja käynnistä minitietokone uudelleen komennolla `sudo reboot`.
5. Kun kone käynnistyy uudelleen, kirjaudu sisään tunnuksella *pi* ja juuri antamallasi uudella salasanalla.
6. Se saa kotisi lähiverkon reitittimeltä osoitteen, ota se ylös komennolla `ifconfig`. Eth0 on ulospäin kommunikointiin käytetty portti.



Kuva 5: Raspbian-käyttöjärjestelmän aloitusvalikko

7. Raspbian käyttöjärjestelmä tulee ensiksi päivittää. Tee se komennolla `sudo apt-get update && sudo apt-get upgrade`.
8. Seuraavaksi asenna Talogger sen omien ohjeiden mukaan <http://zil.olammi.iki.fi/sw/taloLoggerPi/howto.php>.

9. Koska haluamme käyttää tietokantaa muualta kuin tältä paikalliselta koneelta, asennamme MySQL-tietokannan. Anna komento `sudo apt-get install mysql-server`.
10. MySQL asennus kysyy tietokannan root-käyttäjän salasanaa, keksittyäsi sen kirjaa salasana ylös. Asennuksen voi palauttaa alkutilaan salasanoineen komennolla `sudo dpkg-reconfigure mysql-server-5.5`.
11. Kannattaa kokeilla kirjautumista etäältä eli muualta kuin minitietokoneen konsolilta (näyttö ja näppäimistö). Kodin lähiverkosta anna komento `ssh pi@<minitietokoneen osoite kohdasta 6>` eli esimerkiksi `ssh pi@10.0.0.44`. Saatat tarvita PuTTY ohjelman tai vastaavan jos käytät Windows-työasemaa.
12. Editoi (esim vi-editorilla (<http://www.cs.colostate.edu/helpdocs/vi.html>)) MySQL konfigurointitiedostoa sijainnissa `vi /etc/mysql/my.cnf`. Etsi avainsana "bind-address" joka oletuksena sallii yhteydet kantaan vain paikalliselta koneelta. Kommentoi rivi laittamalla risuaita rivin eteen. `# bind-address = 127.0.0.1`. Tallenna tiedosto. Käynnistä MySQL uudelleen komennolla `sudo service mysql restart`.
13. Kirjaudu MySQL:n root-tunnuksella komennolla `sudo mysql -p<antamasi salasana kohdassa 10> -uroot` eli esimerkiksi `sudo mysql -psalasana -uroot`.
14. Luodaan Talologger-ohjelman käyttämä tietokanta. Anna SQL komennot:


```
drop database if exists talologger;
create database talologger;
use talogger;
```
15. Lukemiseen ('user') ja kirjoittamiseen ('nibe') vaadittavat käyttäjät luodaan seuraavasti:


```
drop user 'nibe'@'localhost';
drop user 'tunnus'@'localhost';
create user 'tunnus'@'localhost' identified by 'salasana';
create user 'nibe'@'localhost' identified by 'salasana';
```
16. Oikeudet lukea etäältä ja kirjoittaa kantaa annetaan seuraavasti:


```
grant select on talologger.* to 'tunnus'@'%' identified by 'salasana';
grant all privileges on talologger.* to 'nibe'@'localhost' identified by 'salasana' with grant option;
```
17. TaloLoggerin oletuskonfiguraatitiedosto ei sisällä MLP logintutkijan vaatimia mitauspisteitä, joten kannattaa kopioida tässä ohjeessa oleva konfigurointitiedosto kokonaisuudessaan taloLogger-tietokoneelle. Konfiguraatitiedoston sijainti on `/home/talo/etc/taloLogger.conf`. Jos haluaa lisätä taloLoggerin tietokantaan

kirjaamia kenttiä, ne löytyvät tiedostosta sen alkupäästä sijainnissa

```
/home/talo/bin/taloLogger/modules/datasources/nibe/nibeBusRS485.py.
```

18. Lopuksi taloLogger sammutetaan, jolloin se käynnistyy automaattisesti uudelleen lukien juuri kopioidun konfiguraatitiedoston. Anna komennot

```
sudo su - talo (vaihtaa käyttäjäksi "talo")
```

```
killall python (sammuttaa kaikki python-ohjelmat jollainen taloLoggerkin on).
```

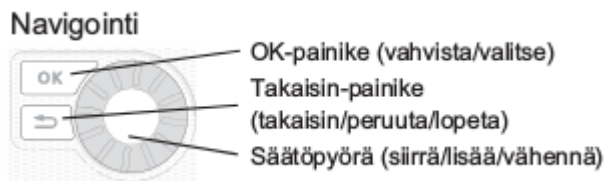
taloLogger käynnistyy uudelleen ja jos seuraat ohjelman lokia komennolla

```
tail -f /home/talo/log/taloLogger.log
```

pitäisi ohjelman käynnistyminen näkyä lokitekstissä. Saat virheitä Nibe Modbus moduulilta, mutta tämä on normaalia ennen seuraavaa vaihetta. Jätä komento lukemaan lokia.

Asennus, lämpöpumpun asetukset

Jotta Nibe lämpöpumpusta pystyy lukemaan tietoja Modbus RTU:n yli, pitää se aktivoida. Mene lämpöpumpun luokse ja paina Takaisin-painiketta 7 sekuntia päästäksesi asetusvalikkoon.



Kuva 6. Nibe lämpöpumpun ohjauspainikkeet (Lähde: <http://www.nibe.fi/nibedocuments/15050/031725-6.pdf>)

Valikossa 5.2 järjestelmäasetukset, alavalikossa 5.2.4 lisävarusteet, valitse listalta *modbus*. Palaa Takaisin-painikkeella alkunäkymään.

Asennus, ongelmanselvitys

Nyt lämpöpumppu keskusteleee taloLoggerin kanssa jos tiedonsiirto toimii. Jos tiedonsiirto ei toimi, muuttuu lämpöpumpun normaalisti vihreä statusvalo punaiseksi ja lämpöpumpun lokiin tulee tiedonsiirtovirhe. Lämpöpumppu ei tee lämmintä käyttövettä tässä vikatilanteessa. Tarkista kytkennät. Katso taloLogger-ohjelman lokia, jos se antaa vihjeen onko ongelma Raspberry Pi 2:n ja RS485 adapterin välisessä tietoliikenteessä vai RS485 adapterin ja Nibe lämpöpumpun välissä. Tarvittaessa nosta taloLoggerin lokikirjoituksen tarkkuustasoa konfiguraatitiedoston avainsanalla `VERBOSE_LOGGING = true` ja käynnistä TaloLogger uudelleen.

Jos lämpöpumpun statusvalo pysyy vihreänä, lue seuraavaksi taloLoggerin lokia, jonka jä-
tit näkyville ssh/PuTTY istunnossa. Jos näet seuraavan kaltaisen rivin:

```
10.05.2015 19:06:21: NibeRS485: Received identification: F1145-10 EXP,  
toimii tietojen vaihto taloLoggerin ja lämpöpumpun välillä. Nyt mittausarvot tallettavat mini-  
tietokoneen MySQL-kantaan ja ovat valmiit luettaviksi MLP logintutkijalla.
```

TaloLogger-ohjelmiston asennusdokumentin Liite 1. TaloLogger.conf esimerkkiedosto,
joka kerää MLP logintutkijan vaatimat mittauspisteet Nibe lämpöpumpusta.

```
#  
#####  
#  
# File:          taloLogger.conf  
#  
# License:       Donationware, see attached LICENSE file for more  
#                information  
#  
# Author:        Olli Lammi (olammi@iki.fi)  
#  
# Version:       1.1c  
#  
# Date:          14.02.2015  
#  
# Description:   Configuration file for taloLogger.py  
#                Minimal example for TaloLoggerPi, Raspberry Pi version.  
#  
#####  
  
#####  
# logger configuration  
#####  
CONSOLE_LOGGING = false  
VERBOSE_LOGGING = false  
DAEMON_MODE = false  
LOGFILE = /home/talo/log/taloLogger.log  
LOG_INTERVAL = 60  
LOG_INTERVAL_LIMIT = 5  
  
#####  
# data sources  
#####  
@DATASOURCE=NIBERS485:NIBERS485  
#@DATASOURCE=OWFS:OWFS  
  
#####  
# Nibe Bus RS485 Serial configuration  
#####
```

```

NIBERS485:TYPE = SERIAL
NIBERS485:SERIAL_PORT = /dev/ttyUSB0

#####
# data stores
#####
@DATASTORE=MYSQldb:MYSQldb

#####
# MySql Database data store configuration
#####
MYSQldb:HOST = localhost
MYSQldb:PORT = 3306
MYSQldb:USER = nibe
MYSQldb:PASSWD = salasana
MYSQldb:NAME = talologger
MYSQldb:DB_SCHEMA_VERSION = 1

#####
# Logged measurement points and data store key configuration
#####
#measurement for Nibe Bus RS485 Serial
#@MEASURE=<itse annettu nimi>:<Niben rekesterin nim nibeBusRS485.py tiedostossa>
@MEASURE=BT50:NIBERS485.BT50 Room Temp S1
@MEASURE=BT1:NIBERS485.BT1 Outdoor temp
@MEASURE=EB100-EP14-BT12:NIBERS485.EB100-EP14-BT12 Cond out
@MEASURE=EB100-EP14-BT3:NIBERS485.EB100-EP14-BT3 Return temp
@MEASURE=BT25:NIBERS485.BT25 external supply temp
@MEASURE=BT7:NIBERS485.BT7 Hot Water top
@MEASURE=BT6:NIBERS485.BT6 Hot Water load
@MEASURE=EB100-EP14-BT10:NIBERS485.EB100-EP14-BT10 Brine in temp
@MEASURE=EB100-EP14-BT11:NIBERS485.EB100-EP14-BT11 Brine out temp
@MEASURE=EB100-EP14-BT14:NIBERS485.EB100-EP14-BT14 Hot gas temp
@MEASURE=EB100-EP14-BT17:NIBERS485.EB100-EP14-BT17 Suction
@MEASURE=EB100-EP14-Prio:NIBERS485.EB100-EP14 Prio
@MEASURE=EB100-EP15-BT10:NIBERS485.EB100-EP15-BT10 Brine in temp
@MEASURE=EB100-EP15-BT11:NIBERS485.EB100-EP15-BT11 Brine out temp
@MEASURE=EB100-EP15-BT14:NIBERS485.EB100-EP15-BT14 Hot gas temp
@MEASURE=EB100-EP15-BT17:NIBERS485.EB100-EP14-BT17 Suction
@MEASURE=EB100-EP15-BT12:NIBERS485.EB100-EP15-BT12 Cond out
@MEASURE=EB100-EP15-BT3:NIBERS485.EB100-EP15-BT3 Return temp
@MEASURE=EB100-EP15-Prio:NIBERS485.EB100-EP15 Prio
@MEASURE=CalcSupply:NIBERS485.Calculated Supply Temperature S1
@MEASURE=DegreeMinutes:NIBERS485.Degree Minutes

```