

Mika Soisalo

PIENTALOJEN ENERGIANKULUTUKSEN SEURANTA

PIENTALOJEN ENERGIANKULUTUKSEN SEURANTA

Mika Soisalo
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Mika Soisalo

Opinnäytetyön nimi: Pientalojen energiankulutuksen seuranta

Työn ohjaaja: Lehtori Tero Hietanen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014

Sivumäärä:34 + 2 liitettä

Työn aiheena oli toteuttaa Sula-hankkeelle järjestelmä, jossa valvotaan omakotitalon tai loma-asunnon lämpötilaa ja lämmitysjärjestelmiä edullisilla anturijärjestelmillä. Anturidatasta oli tarkoitus luoda erilaisia järjestelmiä ja tilastoja, joista voitiin todeta erilaiset vikatilanteet, kuten lämmityslaitteiden tai ikkunan rikkoontuminen.

Työssä käytettiin pääosaisesti unohduskerroinmenetelmää ennustettaessa tulevia arvoja mitatulle datalle. Ennusteiden kelpoisuuden testaus suoritettiin Excel-nimisellä taulukkolaskentaohjelmalla, mutta jatkuva mittausdatan seuranta toteutettiin Python-ohjelmointikielellä. Ohjelman periaatteena on ladata tallennettu data SQL-tietokannasta palvelimelle ja laskea datasta seuraavaa arvoa kuvaava ennuste. Ennusteen laskemisen jälkeen ennustetta verrataan seuraavaan saatuun arvoon ja tarkastetaan, onko se haluttujen arvojen rajoissa.

Lopputuloksena saatiin Python-ohjelmointikielellä toteutettu ohjelma, joka reaaliaikaisesti vertaa mitattuja arvoja ja vertaa niitä ennusteisiin. Lisäksi toteutettiin MAPE (Mean absolute percentage error) eli keskimääräisen absoluuttisen prosentuaalisen virheen kaavalla laskettu virhe kullekin ennusteelle. Python-ohjelma piirtää myös kuvaajat ennusteista, mitatuista arvoista ja ennusteen ylä- ja alarajoista. Kuvaajista voidaan todeta ennusteen paikkansapitävyys visuaalisesti.

Asiasanat: Python, lämpötilanseuranta, energiankulutus, lämpötila, omakotitalot

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	5
2 PIENTALOJEN LÄMMITYS	6
2.1 Rakenteet	6
2.1.1 Matalaenergiatalo	6
2.1.2 Passiivienergiatalo	7
2.1.3 Nollaenergia- ja plusenergiatalo	7
2.2 Ilmalämpöpumppu	7
2.3 Kattilalämmitys	8
2.4 Lattialämmitys	9
3 DATANKÄSITTELYMENETELMÄT	10
3.1 Unohduskerroin	10
3.2 Lineaarinen ennustus	10
3.3 MAPE-virheenarviointi	11
4 SEURANTAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN	12
4.1 Mittausdatan keruu	12
4.2 Mittausdatan käsittely	12
4.2.1 Unohduskerroin	12
4.2.2 Lineaarinen ennustustapa	20
4.3 Mittausdatan käsittely Python-ohjelmointikielellä	21
4.4 Python-ohjelman ajaminen palvelimella	29
5 YHTEENVETO	31

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1 Python kuvaajat

Liite 2 MAPE laskentataulukot

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on Sula-hankkeelle toteutettu erilaisten mittausdatojen soveltaminen energian ja lämpötilojen seurannassa käytettäväksi. Opinnäytetyö pyrkii pääasiallisesti toteuttamaan erilaisia mahdollisuuksia tulkita kohtuullisen edullisen ja yksinkertaisen anturisijoittelun avulla omakotitalon tai loma-asunnon lämpötila- ja energiaseurantaa.

Mittausdatan avulla luodaan järjestelmä, joka voi valvoa kohteen energiankulutusta ja lämpötila-arvoja reaaliaikaisesti sekä tarvittaessa ilmoittaa havaitusta viasta kiinteistön omistajalle tai isännöintifirmalle.

Kohteena oli Oulussa sijaitseva omakotitalo, johon oli asennettuna valmiiksi erilaisia antureita ja mittareita, jotka mittasivat omakotitalosta muun muassa lämpötilaa sekä energian kulutusta. Energiankulutusmittarit toivat mittausarvot kuuden minuutin välein SQL-tietokantaan, josta niiden lukeminen onnistui analysointia varten.

Mittaus tietojen analysointi on suoritettu Excel-ohjelmalla, joka on yleinen taulukkolaskentaohjelma sekä myös osa Microsoft Office -tuoteperhettä. Excel on taulukkolaskentaohjelma, jonka toiminta perustuu solurakenteisiin, joihin voidaan luoda erilaisia funktioita. Excelillä onnistuu myös kuvaajien piirtäminen suuristakin taulukoista. (1.)

Mittausarvoista oli tarkoitus myös luoda ohjelma, joka pystyy tekemään mittaus tuloksista luotujen arvojen ja ennusteiden perusteella reaaliaikaista vertailua. Jos mitatuissa arvoissa havaitaan poikkeuksia, luodaan lokimerkintä ja tarvittaessa hälytysmerkintä. Hälytyksen aiheuttaneen anturin tai antureiden perusteella voidaan päätellä vian syy ja tarvittaessa lähettää korjaaja tarkastamaan ja korjaamaan vikaa.

2 PIENTALOJEN LÄMMITYS

Opinnäytetyössä kohteena oleva omakotitalo on tyypiltään normaali omakotitalo, eli se ei täytä matalaenergiatalon vaatimuksia energiankulutuksen suhteen. Omakotitaloa lämmitetään pääasiallisesti ilmalämpöpumpulla ja lattialämmityksellä, mutta lisälämmityksenä toimii myös varaava takka.

2.1 Rakenteet

Omakotitalojen lämmitysjärjestelmät vaikuttavat suuresti talon elinkaaren aikaiseen energiankulutukseen, kustannuksiin sekä ympäristöön. Mahdollisimman vähän kuluttavista ja ympäristöystävällisistä ratkaisuista syntyy säästöä sekä rahallisesti että ympäristöllisesti. Suomessa noin 10 prosenttia kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu pientalolämmityksestä. Vanhat kattilat, jotka ovat jo puhki tai lähes puhki palaneet, kannattaa päivittää nykyaikaisimmilla paremman hyötysuhteen omaavilla lämmitysjärjestelmillä. (6.)

Pientalojen rakentamisessa on alettu vaatimaan 2008 lähtien energiatodistus, joka tekee energiatehokkuuden vertailun helpoksi. 2010 vuoden rakentamismääräykset ovat kiristyneet eristysvaatimuksiltaan noin 30 prosenttia ja 2012 eristevaatimuksia nostettiin lisää. (7.)

2.1.1 Matalaenergiatalo

Matalaenergiatalo on yleisen määritelmät mukaan sellainen talo joka lämmitysenergian tarve on puolet siitä mitä voimassaolevien rakennusmääräyksen mukaisen talon tarve on. Matalaenergiatalon määritelmä muuttui 2010 vuoden alussa tulleiden rakennusmääräysten myötä. Uusien rakennusmääräysten ohjeiden mukaan matalaenergiatalon lämpöhäviöiden tulee olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Matalaenergiatalo kuluttaa vuodessa lämmitysenergiaa Etelä-Suomessa alle 60 kWh/brm² ja Pohjois-Suomessa alle 90 kWh/brm². (8.)

2.1.2 Passiivienergiatalo

Yleisen määritelmän mukaan passiivienergiatalot eivät tarvitse lämmitys- eikä jäähdytysenergiaa. Suomessahan tällainen järjestelmä on vielä lähes mahdoton toteuttaa talven ja kesän suurten lämpötilaerojen takia. Passiivitalo tarvitsee lämmitysenergiaa Etelä-Suomessa noin 20 kWh/brm² vuodessa ja Pohjois-suomessa noin 30 kWh/brm² vuodessa VVT:n määritelmän mukaan. (8.)

2.1.3 Nollaenergia- ja plusenergiatalo

Nollaenergiatalon periaate on tuottaa energiaa vähintään yhtä paljon kuin se kuluttaa vuodessa uusiutumaton energiaa. Plusenergiatalon energiantuoton pitää ylittää sen kuluttaman energian tuotto vuositasolla. Molempien talomuotojen toteuttaminen Suomen ilmastossa on ongelmallista jos ei jopa mahdotonta, ainakin todella kallista. (8.)

2.2 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu on laitteisto, jolla on mahdollista siirtää lämpöenergiaa sisä- ja ulkoyksikön avulla. Lämpötilaa sisätiloissa säädellään siirtämällä lämpöä ulkoilmasta ja kesäisin yleensä sisäilmaa jäähdytetään siirtämällä sisäilmaa ulos. Toimintaperiaatteeltaan ilmalämpöpumppu vastaa pitkälti jääkaappia, mutta suurimmat erot ovat puhaltimissa, nelitieventtiilissä ja ohjauselektronikassa. (9.)

Ilmalämpöpumpulla voidaan siirtää ulkoilmasta lämpöä sisälle jopa viisinkertaisella hyötysuhteella (COP > 5). COP (Coefficient Of Performance) -hyötysuhde tarkoittaa ulkolämpötilasta siirrettävän lämmön sähköenergian tarvetta lämpötilaenergiaan nähden. COP:n ollessa viisi saadaan yhdellä kilowatilla sähköenergiaa tuotettua viisi kilowattia lämpöenergiaa. (9.)

Ilmalämpöpumpun sisällä kompressorin avulla siirretään lämpöä kahden kennon välillä. Kennoissa kulkeva kylmäaine muuttuu nesteestä höyryksi höyrystimessä, ja reaktio sitoo voimakkaasti lämpöä itseensä. Lauhduttimessa höyry tiivistyy takaisin nesteeksi ja vapauttaa lämpöä. Kennojen välillä lämpö siirretään kaasun mukana paikasta toiseen hyvin nopeasti. Tavoite on siis

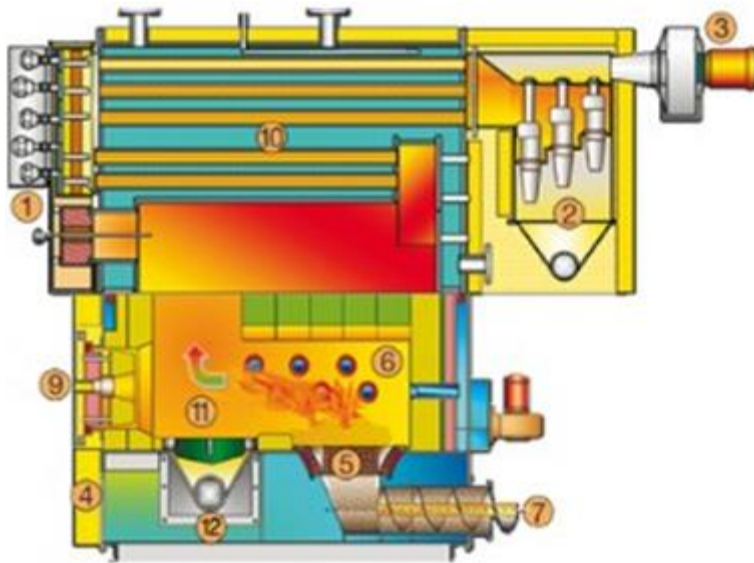
molemmissa päissä muuntaa kylmäaineen olomuotoa mahdollisimman tehokkaasti tehokkaan lämmön siirtymisen takaamiseksi. (9.)

2.3 Kattilalämmitys

Lämpökattila on laite tai järjestelmä, jolla yleensä lämmitetään väliainetta, joka on tavallisesti vesi. Veden lämmittäminen tapahtuu kattilassa palamisesta vapautuvalla energialla. Veden lämmittämisen jälkeen lämmitetty vesi ohjataan tarvittavaan kohteeseen, kuten käyttöveden lämmittämiseen tai teollisuusprosesseihin. Lämpökattiloita on erilaisia aina pienistä kilowattien lämpötehosta kymmenien megawattien lämpötehon tuottoon asti. (10.)

Lämpökattiloiden polttoaineena käytetään paljon puuta erimuodoissa kuten hakkeena ja pellettinä. Lämpökattiloissa käytetään myös polttoaineena öljyä, maakaasua ja biopolttoaineita. Jos lämpökattilan tuotto on suurta, niin rakennetaan lämmöntuotannon yhteyteen yleensä myös sähköntuotantolaitteisto, jolloin käytetään höyrykattilaa ja höyryturbiinia (yleensä tehtaissa). (10.)

Kuvassa 1 on perusrakenteinen teollisuuskattila, jossa polttoaineen syöttö tapahtuu alapuolelta. Polttoainetta poltetaan kattilassa, jolloin lämpö siirtyy ylöspäin yläreunassa kattilaa olevaan lämmönvaihtimeen, jossa virtaa lämmön väliaine. Väliaineella lämpö johdetaan kattilasta ulos lämmittämään sitä haluttua kohdetta. Teollisuuskattila sisältää lisälaitteistoja, kuten automaattinuohouksen, automaattisen lentotuhkan poiston, savukaasuimurin, lämpövahdin ja automaattisen tuhkanpoistajan. (11.)



KUVA 1. Perusrakenteinen teollisuuskattila (11.)

2.4 Lattialämmitys

Lattialämmitys on yksi lämmönjakotapa rakennuksissa. Lattialämmityksessä lattiaan upotetaan putkia, joissa kiertää lämmittävä aine tai sähköisessä lattialämmityksessä lattiaan upotetaan sähkövastus. Lattiasta lämpö siirtyy huoneilmaan tasaisesti. Yleisimmät lattialämmityksen toteutustavat ovat sähkö ja vesi, mutta on myös olemassa ilmakiertoinen lattialämmitys.

Lattialämmitysjärjestelmä asetetaan kiertämään lattian sisään yleensä ennen betonin valamista. (12.)

Lattialämmitys on todella yleinen märissä tiloissa, koska se myös kuivattaa lattian nopeasti. Lattialämmitystä ohjataan yleensä termostaateilla, jotka ohjaavat veden virtausta eri osiin lattialämmityspotkistoissa tai vastaavasti sähköisen vastuksen lämmitystehoa. (12.)

3 DATANKÄSITTELYMENETELMÄT

3.1 Unohduskerroin

Unohduskerroin on kerroin, joka määrittää mittaustietojen historian eli edellisten mittaustulosten vaikutuksen mittausdataan. Unohduskerroin määritetään periaatteessa mitatulle luvulle prosenttimäärä, minkä verran se vaikuttaa mitattavaan tai tässä tapauksessa ennustettavaan seuraavaan arvoon. Mitä suurempi unohduskerroin on, sitä hitaammin se kykenee mukautumaan lyhyen aikavälin muutoksiin.

Unohduskerroin on toteutettu mittausdatan ennustaminen määrittämällä kymmenen, viiden ja kahden päivän mittaustulosten keskiarvolle oman unohduskerroin. Kymmenen päivän keskiarvolle unohduskerroin on pienin, jotta sen vaikutus olisi vähäisin saatavassa arvossa. Vastaavasti kahden päivän keskiarvon unohduskerroin on suurin, koska lämpötila ja energian kulutus on ollut todennäköisemmin lähempänä ennustettavaa arvoa.

Unohduskerroin toteutettu ennustus voidaan toteuttaa myös liukuvasta keskiarvosta vertailukohteena. Käytettävänä arvoina unohduskerroinelle käytetään pidempiä kuin kymmentä otantaa, koska arvoina käytetään liukuvaa keskiarvoa päivälle jolloin jokaiselle tunnille luodaan liukuvakeskiarvo. Unohduskerroin lasketaan kaavan 1 tavalla.

$$\frac{T_{10}}{\lambda-0,8} + \frac{T_5}{\lambda-0,7} + \frac{T_2}{\lambda-0,5} = \text{Ennuste} \quad \text{KAAVA 1}$$

T = käytettyjen arvojen keskiarvo

λ = unohduskerroin

3.2 Lineaarinen ennustus

Lineaarinen ennuste regressioanalyysillä perustuu syy-seurausyhteyteen. Linearisessa menetelmässä ennuste määräytyy tiettyjen muuttujien suhteesta arvoon. Vasteen arvo voidaan ennustaa jo saaduilla arvoilla ja regressiokerroimet voidaan tulkita ennusteiden eroiksi tai tiettyjen keskiarvojen

eroiksi aineistossa. Historiadataa käyttämällä voidaan luoda lineaarinen analyysi historiadatasta, johon voidaan verrata tulevaisuudessa saatavien arvojen eroja. (5.)

3.3 MAPE-virheenarviointi

MAPE (Mean absolute percentage error), tunnettu myös nimellä MAPD (Mean absolute percentage deviation), on keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe. MAPE on menetelmä, jolla voidaan ilmaista mitatun arvon tarkkuus prosentteina. MAPE määritellään kaavan 2 tavalla. (13.)

$$M = \frac{100\%}{n} * \left(\frac{A_t - F_t}{A_t} \right) \quad \text{KAAVA 2}$$

A_t = mitattu arvo

F_t = ennustettu arvo

n = muuttujien lukumäärä

4 SEURANTAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

Mittausdatan käsittelyyn on monenlaisia keinoja, mutta tässä työssä käytössä on Python-ohjelmointikieli, jolla on mahdollista ladata mittausdatat suoraan SQL-tietokannasta tekstiksi tietokoneelle. Tietokoneella erilaiset kaaviot ja kaavat datalle on toteutettu Excelillä, joka osoittautui käteväksi työkaluksi, helpoimmaksi käyttää ja löytyy myös varsin useilta tietokoneilta. Ohjelma on toteutettu kuitenkin Python-ohjelmointikielellä, jotta sitä on mahdollista ajaa reaaliaikaisesti ja saada mahdollisia hälytystietoja antureilta.

4.1 Mittausdatan keruu

Mittausdatana käytettiin energian kulutusta ilmalämpöpumpulta ja lattialämmitykseltä sekä sisälämpötilaa. Mittausdata mitattiin omakotitalosta erilaisilla mittareilla, kuten virtamittareilla ja lämpötilamittareilla. Mittausdata tallentui kuuden minuutin välein SQL-tietokantaan mittareilta, josta sen noutaminen oli mahdollista jatkokäsittelyä varten.

4.2 Mittausdatan käsittely

Mittausdatan käsittely Excelillä aloitettiin SQL-tietokannasta siirtämällä haluttu mittausdata tietokoneelle teksti muotoon. SQL-tietokannasta datan hakeminen tapahtui Python koodilla (kuva 10). Python-koodi tallensi halutun mittausdatan tekstitiedostoon, josta sen siirtäminen Exceliin onnistui ongelmitta.

4.2.1 Unohduskerroin

Unohduskertoimeen perustuva ennustuksen laatiminen ei osoittaudu kovin luotettavaksi, koska sen tasaantuminen energiankulutuksien vaihteluun ei ole kovin nopeaa. Toisaalta energian kulutuksen pitäisikin olla kohtuullisen vakaata normaaleissa olosuhteissa. Kuitenkin energian kulutus jopa lattialämmityksellä vaihtelee rajusti omakotitalon oloista riippuen. Toisaalta suuret vaihtelut energian kulutuksessa voivat merkitä myös vikaa jossain toisessa lämmitysmenetelmässä tai jostain tilaan virtaavaa kylmää ilmaa. Esimerkiksi

oven tai ikkunan aukaiseminen kylmällä saattaa näkyä energiankulutuksessa suurenakin piikkinä.

Järjestelmässä luodaan lokimerkintöjä hälytystiloista eli energian kulutuksen ja ennusteen suurista eroavaisuuksista. Jos lokimerkintöjä tulee useampi kuin yksi tai kaksi tietyltä lämmitysmenetelmältä, voidaan olettaa jotain poikkeavaa tapahtuneen lämmityksessä ja hälyttää omistaja tai isännöitsijä tarkastamaan asia. Hälytyksen välitön tekeminen pitää johtua monesta tekijästä, kuten kasvavasta energiankulutuksesta ja mahdollisesti yhden energiankulutuksen loppumisesta, joka kielisi lämmitysjärjestelmän särkymisestä.

Unohduskertoimen arvoja on kalibroitava ajan kuluessa, jotta vikahälytysten määrää voidaan eliminoida. Jos unohduskertoimen ala- ja yläraja-arvot ovat liian lähellä ennustettavaa arvoa ja energian kulutuksen vaihtelu on suurta esimerkiksi patterin sijaitessa talvella liian lähellä ovea, ongelman voi korjata joko rajojen säätämällä suuremmaksi tai säätämällä unohduskerrointa tasaantumaan nopeampaan energianvaihteluun.

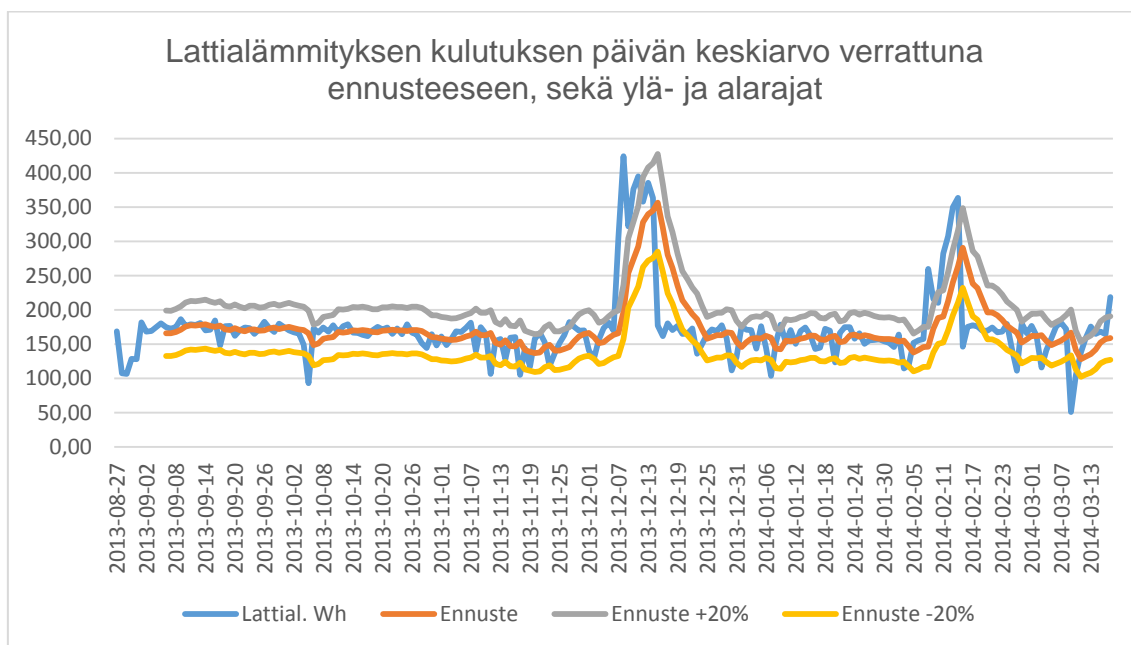
Lämpötilan laskiessa rajusti on hyvä tehdä hälytys, jotta mahdollista vikaa voidaan lähteä selvittämään. Energian kulutuksen osalta yksi ylitys tai alitus ei ole niin vaarallinen; voidaan ottaa useampi otanta ennen hälytyksen tekemistä.

Excelillä on toteutettu kaavat piirtämällä niistä kuvaajat ja vertaamalla saatuja ennusteita tuleviin arvoihin. Kuvaajista voi nähdä suoraan ennusteen paikkansapitävyyden historiadatan kohdalla sekä säätää unohduskertoimella ennustuksen reagoitinopeutta ja tarkkuutta.

Jos energiankulutuksessa havaitaan suuri kasvu, on vika oletettavasti lämmitystarpeen lisääntymisessä. Jostain vuotaa taloon runsaasti kylmää ilmaa ja kylmän ilman lisääntyminen aiheuttaa kasvavan lämmityksen tarpeen. Jos taas energiankulutus putoaa nolnaan joltakin lämmityslaitteelta, kuten ilmalämpöpumpulta, voidaan olettaa sen vioittuneen tai ilmalämpöpumpun kohdalla se on mahdollisesti sammutettu.

Pesuhuone ja WC

Pesuhuoneen ja vessan lattialämmityksen kuvaajasta voidaan todeta energiankulutuksen pysyvän kohtuullisen vakaana normaaliolosuhteissa. Energian kulutuksen noustessa tai laskiessa äkillisesti ennustearvo reagoi muutokseen viiveellä, mikä aiheuttaisi hälytyksen ohjelmassa (kuva 2).

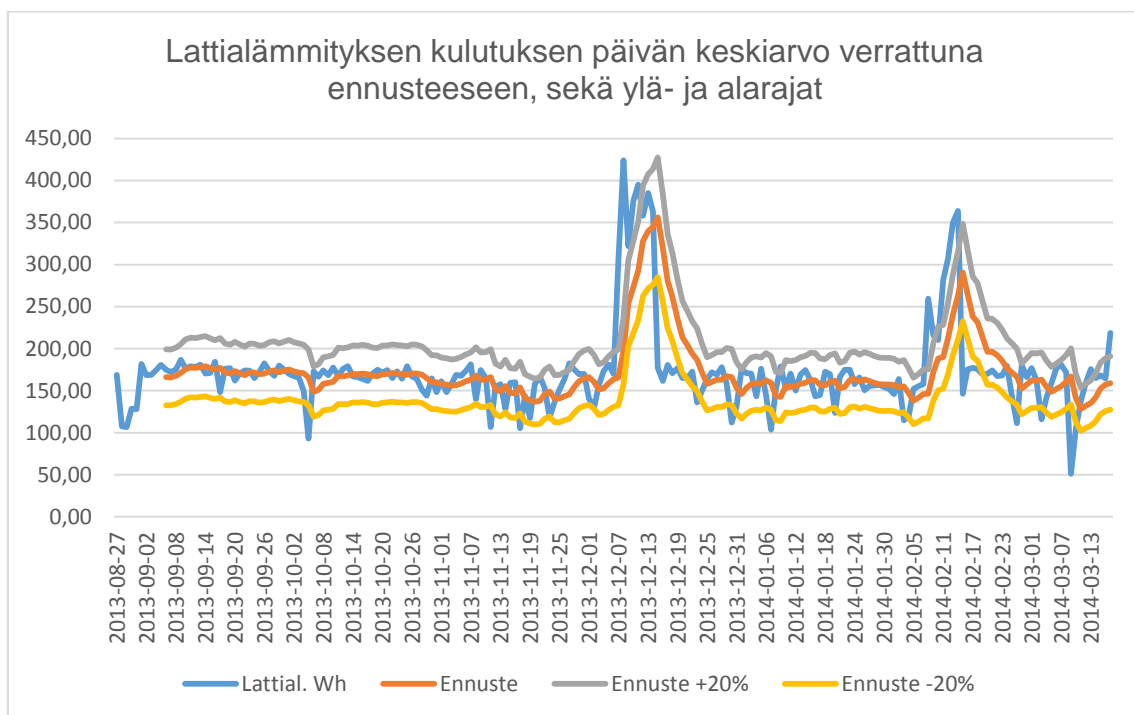


KUVA 2. Päivän laskettu PH+WC lattialämmityksen energian kulutuksen keskiarvo verrattuna ennustettuun energian kulutukseen ja sen ± 20 % ylä- ja alaraja arvoihin.

Kuvassa 2 on käytetty unohduskertoimen arvoina 10 otannalle 20 %, viidelle 30 % ja kahdelle 50 %. Seuraavan arvon ennuste siis koostuu historia-arvojen unohduskertoimista, jossa 10 viimeisimmän arvon keskiarvo vaikuttaa 20 % ennusteen arvoon, viiden arvon keskiarvo vaikuttaa 30 % ja kahden 50 %. Muuttamalla unohduskertoimen painotusta suuremmaksi kahden pienimmän otannan keskiarvolle saadaan ennuste reagoimaan nopeammin mittausarvossa

tapahtuvaan muutokseen. Vastaavasti suurentamalla 10 otannan unohduskerrointa reaktioaika nopeisiin muutoksiin mittauksessa hidastuu.

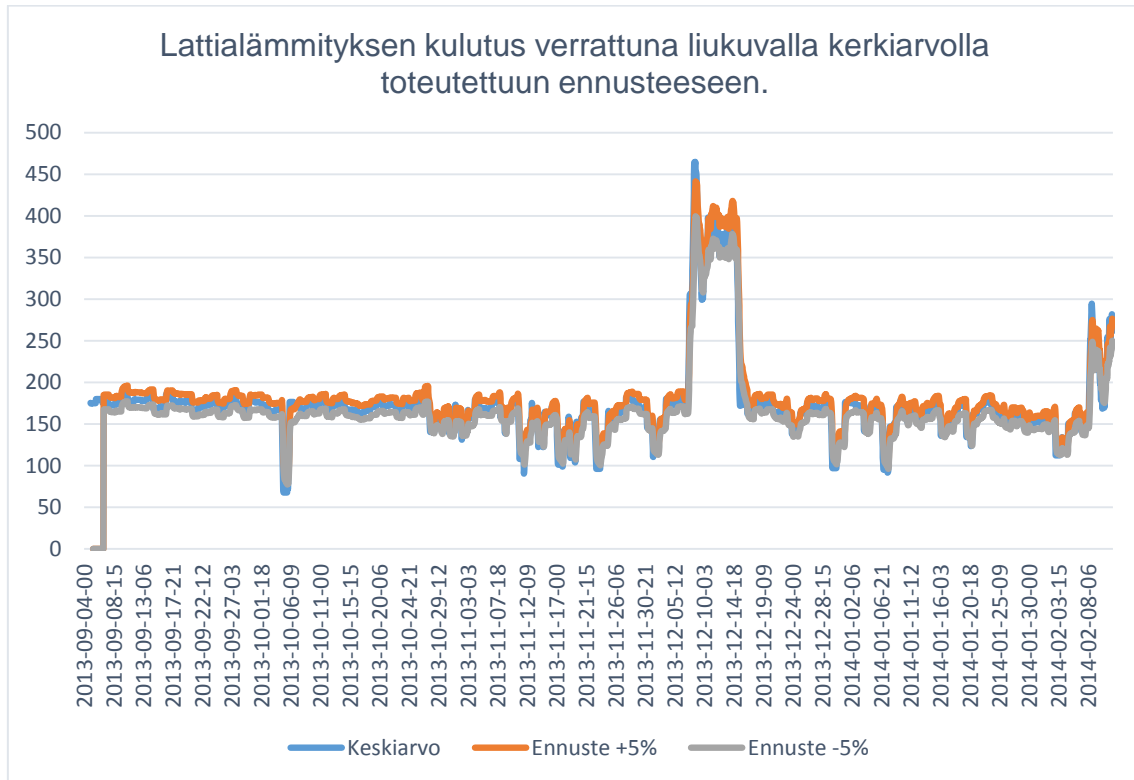
10 viimeisimmän mittaustuloksen keskiarvon vaikutusprosentin nostaminen 40 %:iin ja viiden 40 %:iin ja laskemalla kahden viimeisen keskiarvon vaikutuksen 20 %:iin saadaan ennuste reagoimaan huomattavasti hitaammin mitattuun tulokseen. Muutos pitää ennusteen tasaisempana ja hälytys tapahtuu pienemmistä energian kulutusmuutoksista (kuva 3).



KUVA 3. Lattialämmityksen päivänkeskiarvo kulutus verrattuna unohduskertoimella toteutettuun ennusteeseen eri unohduskertoimen arvoilla.

Päivän liukuvalla keskiarvolla toteutettu ennuste lattialämmityksen kulutuksesta mukautuu nopeammin energian vaihteluihin, koska mittausdatasta otetaan vuorokauden keskiarvo joka tunti. Liukuvalla keskiarvolla toteutettuun ennusteeseen voidaan käyttää suurempia otantamääriä, jotta ennusteen tasaantuminen energiankulutuspiikkeihin ei ole liian nopeata.

Unohduskertoimella toteutettuun ennusteeseen käytetyt historiadatan määrät ovat 50 otannalle 25 %, 25 otannalle 35 % ja 10 otannalle 40 %. Kuvaajassa on myös 5 prosentin ylä- ja alarajat energiankulutukselle. (Kuva 4.)



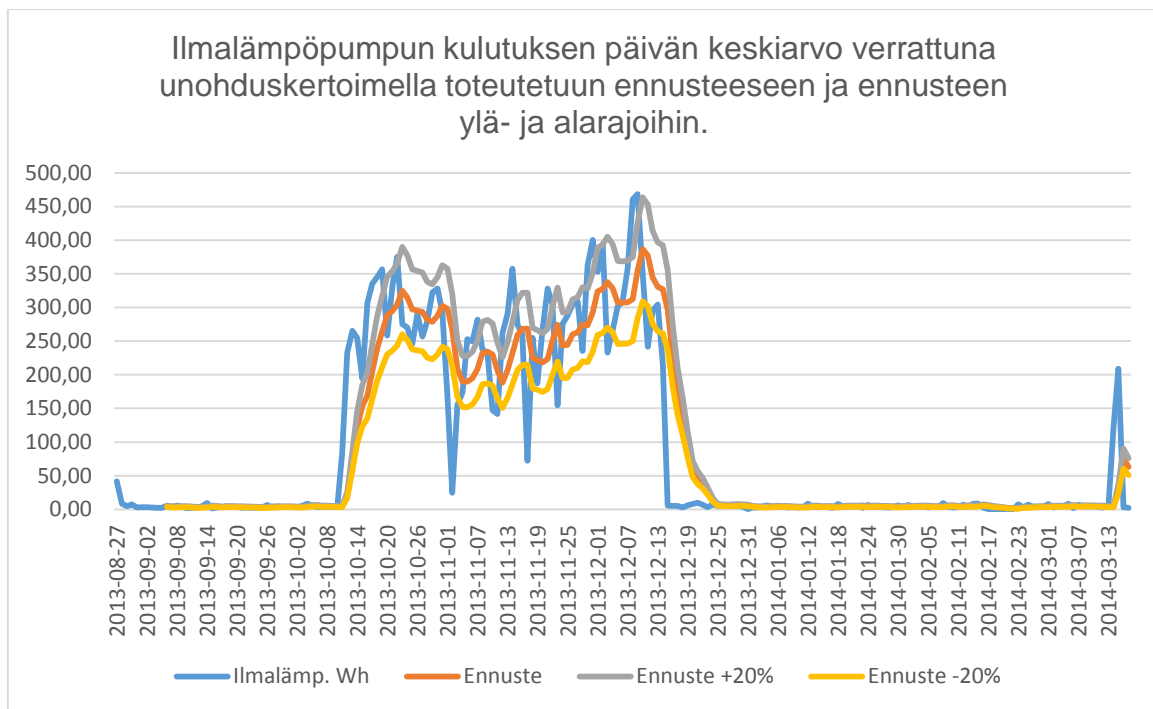
KUVA 4. Liukuvalla keskiarvolla toteutettu ennuste verrattuna lattialämmityksen kulutukseen ja ennusteen ylä- ja alarajoihin.

Ilmalämpöpumppu

Kiinteistössä oleva ilmalämpöpumppu oli myös käytössä lisälämmityksenä. Ilmalämpöpumpun energiakulutuksen ennustamisessa on otettava huomioon, että ilmalämpöpumpulla on useampia käyttötarkoituksia ja käyttömoodeja. Ilmalämpöpumppua on esimerkiksi mahdollista käyttää myös jäähdytykseen ja pelkästään ilman kierrätykseen kiinteistössä. Ilmalämpöpumppu on myös helposti kytkettävissä pois päältä vaikka yöksi, jos ääni häiritsee. Ilmalämpöpumpusta unohduskertoimella toteutettuun ennusteeseen vaikuttaa

moni asia ja virheellisiä hälytyksiä saattaa tapahtua varsinkin ilmalämpöpumpun asetuksien vaihdon yhteydessä.

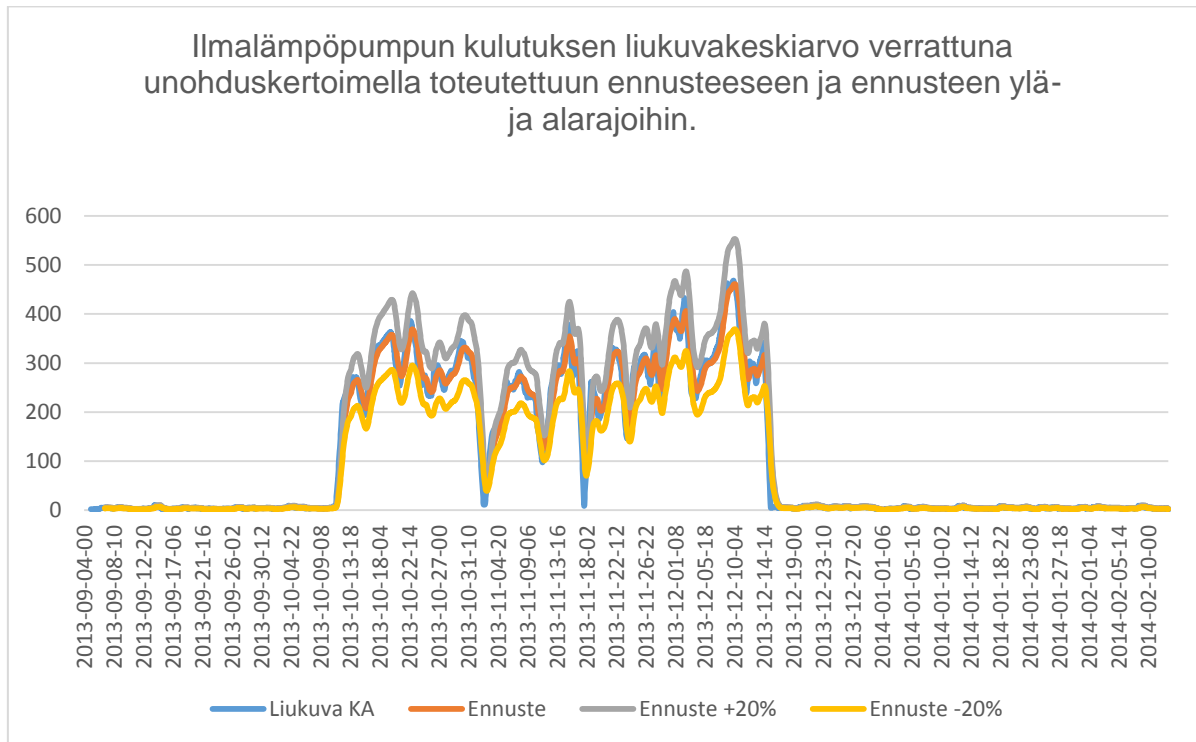
Ilmalämpöpumpun kulutuksen vaihtelu on suurta (kuva 5). Päivän keskiarvokulutuksella toteutettu unohduskerroinnuste ei toimi kovin luotettavasti, koska ilmalämpöpumpun energian kulutus on todella vaihtelevaa.



KUVA 5. Ilmalämpöpumpun päivänkeskiarvokulutus verrattuna unohduskertoimella toteutettuun ennusteeseen ja ennusteen ylä- ja alarajoihin.

Ilmalämpöpumpun energiankulutuksen liukuvalla keskiarvolla toteutettuna ennuste pysyy paremmin energian kulutuksen vaihtelun mukana (kuva 6). Liukuvalla keskiarvolla toteutettuna on ongelmallista säätää unohduskertoimen prosentuaaliset vaikutukset sopiviksi, jotta oikeat virhetilat voitaisiin erotella joukosta. Ennusteen ylä- ja alarajan prosenttisuuruutta voidaan laskea pienemmäksi kuin vuorokauden keskiarvolla ennustettaessa, koska liukuva keskiarvo reagoi nopeammin energian muutoksiin. Kuvassa 6 on käytetty

unohduskertoimen otantamäärinä seuraavia: 50 otantaa vaikuttaa 25 %, 25 otantaa 35 % ja 10 otantaa 40 %.



KUVA 6. Ilmalämpöpumpun päivän liukuva keskiarvokulutus verrattuna unohduskertoimella toteutettuun ennusteeseen ja ennusteen ylä- ja alarajoihin.

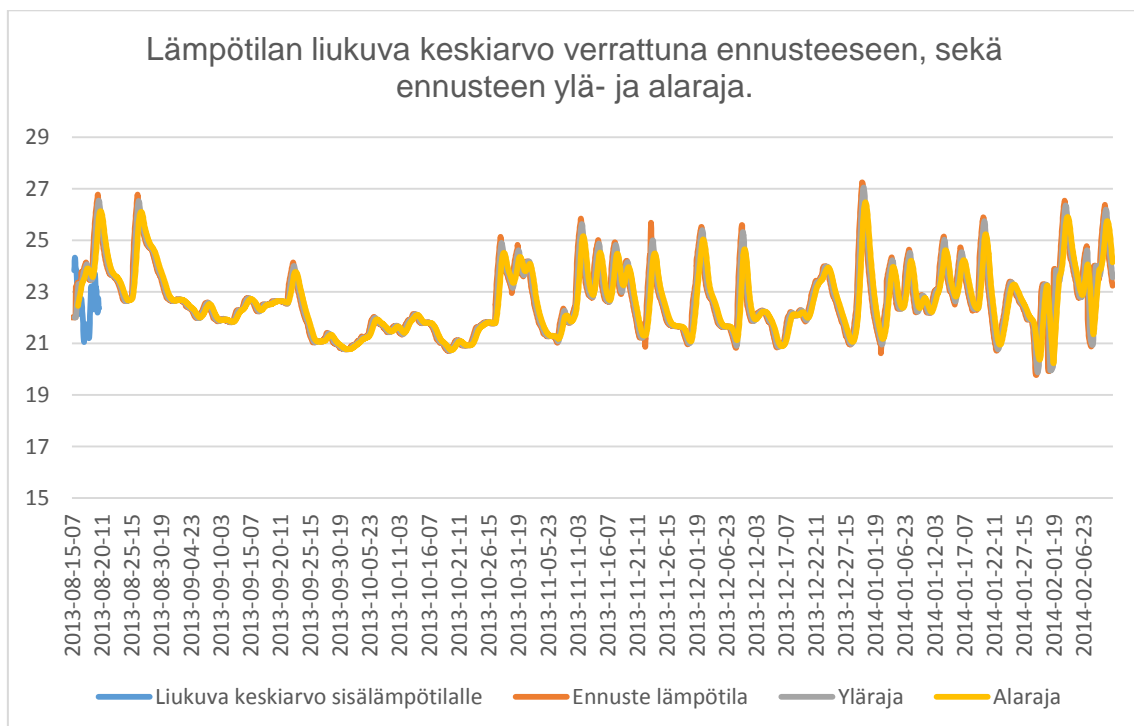
Sisälämpötila

Omakotitalon sisälämpötilan on tarkoitus pysyä kohtuullisen vakiona yleisen oleskelumukavuuden takia. Suuret muutokset sisälämpötilassa suuntaan tai toiseen ovat yleensä merkki viasta tai lämmöntuottamisesta jollain muulla keinolla, kuten esimerkiksi takkaa lämmittämällä.

Suuret nousut lämpötilassa merkitsevät yleensä jostain tulevaa suurta lämmitysenergiaa. Jos kiinteistössä ei ole lämmitetty takkaa tai muuta huomattavaa lämmöntuottajaa, kannattaa tarkistaa lämmityslaitteiden

energiankulutus. Vastaavasti lämpötilan romahtaminen äkillisesti saattaa tarkoittaa esimerkiksi lämmityslaitteen tai ikkunan hajoamista.

Unohduskerroin liukuvalla vuorokauden keskilämpötilalla toteutettuna sisälämpötilan ennustamisessa (kuva 7). Sisälämpötilan muutokset ovat kohtuullisen hitaita ja liukuvalla keskiarvolla ennustettaessa tulosta päivitetään tunneittain, joten värähtelylämpötila on suurta ja vaikeasti ennustettavaa.

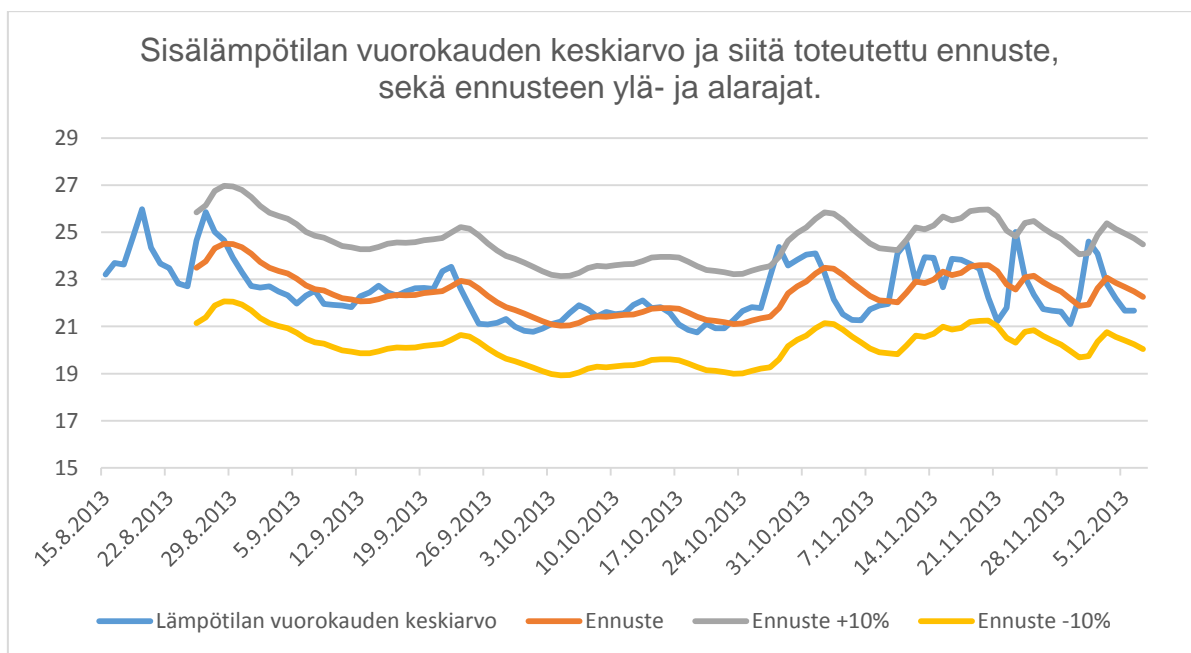


KUVA 7. Tunnin sisälämpötilan liukuva keskiarvo verrattuna ennustettuun sisälämpötilaan ja ennusteen ylä- ja alarajoihin.

Sisälämpötilan ennustaminen päivän keskiarvolla (kuva 8). Sisälämpötilan pysytellessä lähes vakiona 20–25 asteen välillä ennuste pysyy tasaisena päivän keskiarvosta toteutetulla unohduskertoimen ennusteella. Sisälämpötilaa ennustaessa voidaan käyttää vakaata ennustetta 20–25 asteen välillä. Sisälämpötilan noustessa yli 25 asteen tai vastaavasti laskiessa alle 20 asteen voidaan olettaa jonkin vikaantuneen tai jostain virtaavan reilusti ylimääräistä lämmintä tai kylmää ilmaa. Päivän keskiarvoa käytettäessä sisälämpötilan

ennustamiseen voidaan tehdä hälytys jo yhdestä lokimerkinnästä, jotta sisälämpötila ei pääsisi laskemaan kovin alas esimerkiksi talvella ikkunan särkyessä tai unohtuessa auki.

Sisälämpötilaa tarkastellessa vuorokauden keskiarvona ja siitä toteutetulla ennusteella voidaan havaita lämpötilan pysyvän huomattavasti tasaisempaan (kuva 8). Ennusteessa on unohduskertoimen arvoina kahdelle viimeiselle otannalle 20 %, viidelle otannalle 30 % ja 10 otannalle 50 %. Säättämällä unohduskertoimen suurempaa otantaa pienemmäksi saadaan ennuste reagoimaan lämpötilan muutoksiin nopeammin, jolloin mahdollinen hälytys ei tapahdu niin pienistä lämpötilamuutoksista.



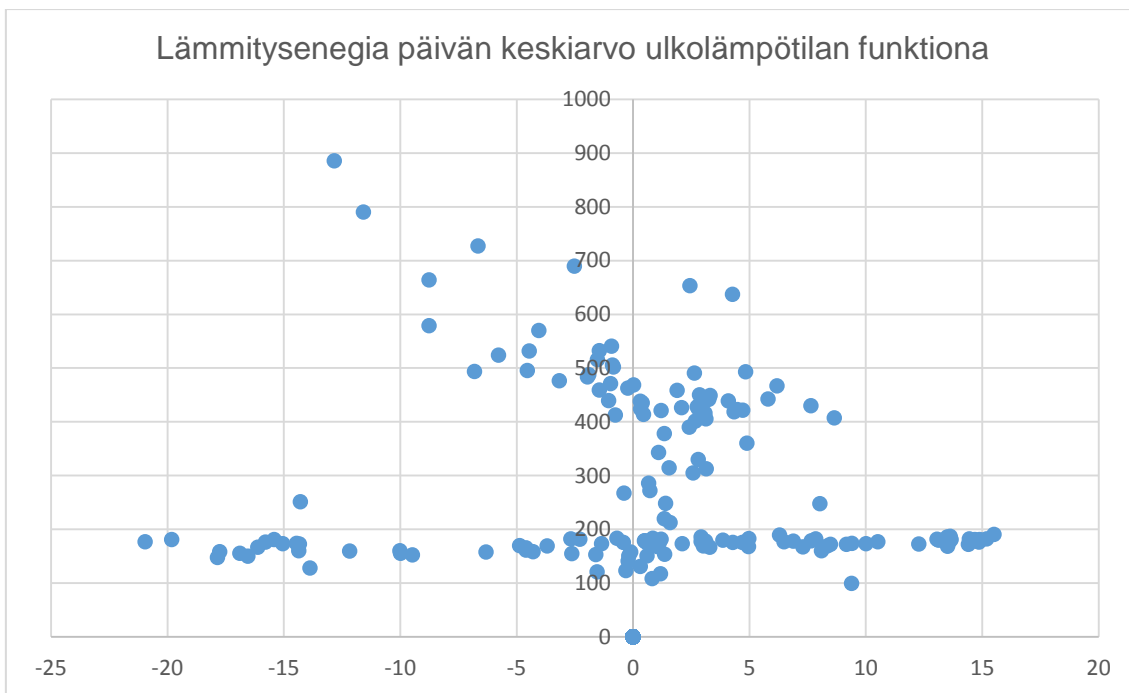
KUVA 8. Sisälämpötilan tunnin keskiarvo verrattuna ennustettuun sisälämpötilaan ja ennusteen ylä- ja alarajoihin.

4.2.2 Lineaarinen ennustustapa

Lämpötilojen ja energiakulutusten ennustuksessa ei ollut mahdollista käyttää suoraa vertailua edellisiin arvoihin, kuten pienimmän neliösumman suoraa, joka

perustuu lineaariseen suoraan jossa oletetaan muuttujan riippuvan lineaarisesti toisen muuttujan arvosta (2).

Esimerkiksi lattialämmityksen ja ilmalämpöpumpun lämmitysenergian kulutuksessa on niin suuri hajonta ulkolämpötilaan nähden, että kulutus ei ole lineaarista (kuva 9).

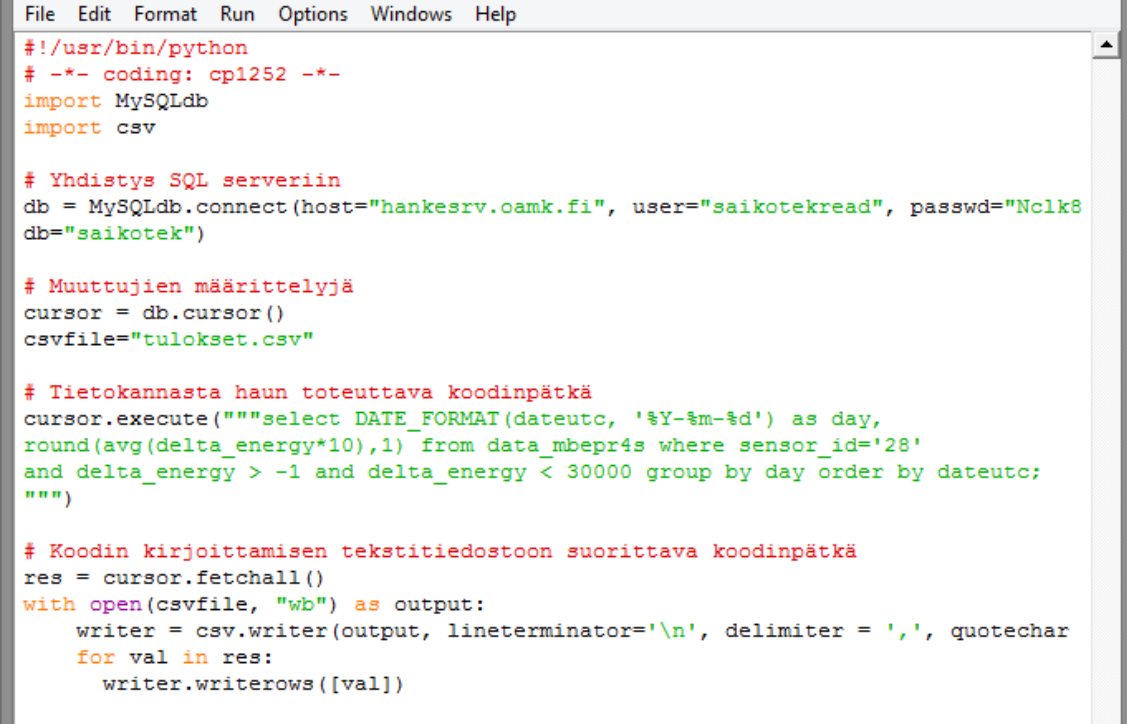


KUVA 9. Lattialämmityksen ja ilmalämpöpumpun yhdistetty energiankulutus kuvattuna ulkolämpötilan funktiona.

4.3 Mittausdatan käsittely Python-ohjelmointikielellä

Python-ohjelmointikielellä toteutettiin ohjelma, joka noutaa SQL-tietokannasta antureista tallennetun datan. Ohjelmalla pystyttiin määrittämään, millaisessa muodossa datan halutaan tallentuvan tietokoneelle. Datan tallennuksen jälkeen data voidaan lukea Python-ohjelmointikielellä suoraan tiedostosta ja laskea sille tarvittavat ennuste- ja keski- arvot.

SQL-tietokannasta datan noutaminen on toteutettu kuvan 10 kaltaisella koodilla, joka on mahdollista suorittaa kaikilla koneilla, missä on internet-yhteys sekä Python-tulkki.



```
File Edit Format Run Options Windows Help
#!/usr/bin/python
# -*- coding: cp1252 -*-
import MySQLdb
import csv

# Yhdistys SQL serveriin
db = MySQLdb.connect(host="hankesrv.oamk.fi", user="saikotekread", passwd="NclK8
db="saikotek")

# Muuttujien määrittelyjä
cursor = db.cursor()
csvfile="tulokset.csv"

# Tietokannasta haun toteuttava koodinpätkä
cursor.execute("""select DATE_FORMAT(dateutc, '%Y-%m-%d') as day,
round(avg(delta_energy*10),1) from data_mbep4s where sensor_id='28'
and delta_energy > -1 and delta_energy < 30000 group by day order by dateutc;
""")

# Koodin kirjoittamisen tekstitiedostoon suorittava koodinpätkä
res = cursor.fetchall()
with open(csvfile, "wb") as output:
    writer = csv.writer(output, lineterminator='\n', delimiter = ',', quotechar
    for val in res:
        writer.writerow([val])
```

KUVA 10. Python-ohjelma, joka noutaa SQL tietokannasta delta_energy listan ja laskee siitä päivälle keskiarvon sekä tulostaa sen päiväjärjestykseen.

Tarkemman ohjelman luomisessa toteutus tapahtui Ipython-komentotulkilla, joka on komentotulkki useille ohjelmointikielille. Ennen kaikkea Ipython on keskittynyt Python-ohjelmointikieleen, kuten nimestäkin voi päätellä. Ipython sisältää jo itsessään tarvittavia ominaisuuksia, kuten kuvaajien piirtämisen ja matemaattisia lausekkeita. Ipythonissa on myös etuna koodin mahdollinen testaus välittömästi sekä se antaa vinkkejä, mikä koodissa on vikana, tosin rajatusti.

Ohjelman ensimmäisessä osassa ladataan SQL-lisäosa ohjelmaan jolla on mahdollista yhdistää SQL-tietokantaan. Lisäosan lataamisen jälkeen kutsutaan muutamia tarvittavia lisäosia, kuten matemaattiset toiminnot ja aikafunktiot.

SQL-tietokantaan yhdistäminen tapahtuu *In 4* kohdan tavalla eli syötetään käyttäjätunnus, salasana ja SQL-palvelimen osoite (kuva 11). Jälkimmäisessä kohdassa kuvassa 11 on ladattu dataa tietokannasta ja muokattu se haluttuun muotoon. Tässä tapauksessa data on järjestelty ajan perusteella vuodet, kuukaudet ja päivät. Delta energy eli kokonaisenergian kulutus on kerrottu 10:llä ja pyöristetty yhden desimaalin tarkkuuteen. Lopussa on vielä määritetty, mistä data pitää ladata ja minkä sensorin data ainoastaan ladataan.

```
In [2]: %load_ext sql

The sql extension is already loaded. To reload it, use:
%reload_ext sql

In [16]: import pandas as pd
import psycog2
import datetime
import csv
import math
from decimal import Decimal, getcontext

In [4]: %sql mysql://saikotekread:Nc1k82Jx1cm2781278d2Z@hankesrv.oamk.fi/saikotek?charset=utf8

Out[4]: u'Connected: saikotekread@saikotek'

In [5]: data = %sql select DATE_FORMAT(dateutc, '%Y-%m-%d') as day, round(avg(delta_energy*10),1) as energy from data_mbepr4s where sensor_id='28'

220 rows affected.
```

KUVA 11. Python-ohjelma jossa määritellään SQL-tietokannasta tiedon hakeminen sekä ladataan tärkeimmät lisäosat.

Datan hakemisen jälkeen SQL-tietokannasta haettu data tallennetaan ”Out.csv”-tiedostoon. Datasta valitaan halutut osat eli tässä tapauksessa 10 viimeistä, koska niitä tarvitaan ennustuksen laskemiseen (kuva 12).

```
In [145]: output_file = open('Out.csv','w')
          datawriter = csv.writer(output_file)
          datawriter.writerows(data)
          output_file.close()
```

```
In [13]: row2 = zip(*data)[1]
          row3 = row2[-12:-2]
          row4 = row2[-7:-2]
          row5 = row2[-4:-2]
          print row3
          print row4
          print row5
```

```
(Decimal('2366.8'), Decimal('1528.8'), Decimal('1532.5'), Decimal('2003.1'), Decimal('1945.7'), Decimal('2440.8'), Decimal('1890.9')
, Decimal('2051.2'), Decimal('1808.6'), Decimal('1976.6'))
(Decimal('2440.8'), Decimal('1890.9'), Decimal('2051.2'), Decimal('1808.6'), Decimal('1976.6'))
(Decimal('1808.6'), Decimal('1976.6'))
```

KUVA 12. SQL-tietokannasta haettu data tallennetaan ja datasta valitaan haluttu osa unohduskertoimen laskemista varten.

Saadut keskiarvot lasketaan kaavan 1 tavalla, jolloin saadaan unohduskertoimen avulla laskettu ennuste selville. Unohduskertoimen laskemiseen tarvittavat kerroinarvot eli kahden, viiden ja kymmenen prosentuaalinen merkitys unohduskertoimella laskettuun ennusteeseen määritetään kuvan 13 koodilla (kuva 13).

```
In [17]: arvo1 = Decimal('0.15')
         arvo2 = Decimal('0.35')
         arvo3 = Decimal('0.50')
         print arvo1
         print arvo2
         print arvo3
```

```
0.15
0.35
0.50
```

```
In [18]: ennuste = (avg10 * arvo1) + (avg5 * arvo2) + (avg2 * arvo3)
         print ennuste
```

```
1951.2420
```

KUVA 13. Unohduskertoimen laskemiseen tarvittavat kertoimen sekä ennuste määriteltynä.

Seuraavaksi ohjelmassa määriteltiin ennusteelle ylä- ja alarajat, joiden ylittyessä suoritettaisiin hälytys tai lokimerkintä. Ohjelma myös tulostaa saadut arvot, josta voidaan suoraan nähdä tämän hetkiset arvot (kuva 14). Arvoista voidaan todeta myös, että mitattu arvo ei ole ennusteen sallituissa rajoissa. Ennusteen poikkeavuus mitatusta johtuu siitä, että SQL-tietokannasta haettu delta_energy on omakotitalon kokonaisenergian kulutus. Omakotitalon energian kulutuksen muutokset ovat todella suuria ja vaihtelevat asukkaiden energiankäyttötottumuksien mukaan.

```

In [19]: BLaa1 = row2[-2]
          BLaa2 = ennuste
          print ("%r" "Mitattu arvo edelliseltä päivältä") %BLaa1
          print ("%r" "Ennustettu arvo") %BLaa2
          Ylaennuste = ennuste * Decimal('1.1')
          Alaennuste = ennuste * Decimal('0.9')
          print ("%r" "Yläraja ennusteelle") %Ylaennuste
          print ("%r" "Alaraja ennusteelle") %Alaennuste

Decimal('1653.3')Mitattu arvo edelliseltä päivältä
Decimal('1951.2420')Ennustettu arvo
Decimal('2146.36620')Yläraja ennusteelle
Decimal('1756.11780')Alaraja ennusteelle

```

KUVA 14. Määritellyt ylä- ja alarajat ennusteelle, sekä tulostettu ne vertailua varten mittausarvojen kanssa.

Ohjelmassa on siis tarkoitus vertailla laskettuja ennusteita ja mitattuja dataja keskenään ja määrittää, onko mitattu data halutunlainen vai pitäisikö siitä ilmoittaa johonkin. Seuraavassa osassa ohjelmaa mitattua dataa verrataan ylä- ja alaennusteeseen, jonka jälkeen joko tehdään hälytys (tässä tapauksessa lokimerkintä) tai jatketaan toimintaa normaaliin tapaan.

Ensin ohjelmassa määritetään, onko mitattu arvo yli tai ali ennusteen raja-arvojen. Jos arvo on yli tai ali ennusteen tallennetaan mitattu arvo ja päivämäärä loki-tiedostoon. Tallennuksen jälkeen selvitetään, onko edellinen mitattu arvo ollut yli tai ali ennusteen rajojen. Jos ennuste on ollut yli rajojen, tallennetaan hälytystieto hälytyslokiin, joka voisi tässä tapauksessa aiheuttaa hälytyksen. Mikäli edellinen ennuste ei ole yli rajojen, tallennetaan ennuste seuraavaa päivää varten. Mitatun arvon ollessa ennusteiden rajoissa tallennetaan loki-tiedostoon ei hälytyksiä -teksti sekä nollataan hälytystallenne (kuva 15).

```

In [35]: if Blaa1 > Ylaennuste:
        print "Ennusteen yläraja on pienempi kuin mitattu arvo."
        file = open("HälyLoki.csv", "ab")
        file.write(str('%s ' %Blaa1))
        file.write(str('%s\n' %today))
        file.close()
        if date.today() - timedelta(1) == yesterday1:
            print "hälytys"
            file = open("Loki.csv", "wb")
            file.write("Hälytys")
            file.close()
        yesterday1 = today
    else:
        file = open("Loki.csv", "wb")
        file.write("Ei hälytyksiä")
        file.close()
        yesterday1 = 0
        print "Ei hälyjä"

    if Blaa1 < Alaennuste:
        print "Ennusteen alaraja on suurempi kuin mitattu arvo."
        file = open("HälyLoki.csv", "ab")
        file.write(str('%s ' %Blaa1))
        file.write(str('%s\n' %today))
        file.close()
        if date.today() - timedelta(1) == yesterday2:
            print "hälytys"
            file = open("Loki.csv", "wb")
            file.write("Hälytys")
            file.close()
        yesterday2 = today
    else:
        file = open("Loki.csv", "wb")
        file.write("Ei hälytyksiä")
        file.close()
        yesterday2 = 0
        print "Ei hälyjä"

```

KUVA 15. Mittaustietojen ennusteen rajojen ja mitatun datan vertailua.

Lopuksi tallennetaan ennuste, ennusteen ylä- ja alaraja sekä mitattu arvo myöhempää käyttöä varten. If-lause varmistaa vielä, että samoja arvoja ei kirjoiteta useaan kertaan peräkkäin talteen (kuva 16). Mittaustiedoista voidaan luoda myös Pythonin Matplot-lisäosalla kuvaajia, joista voidaan tarkastella energian vaihteluita helpommin.

```
In [160]: if saveennuste == ennuste:
           print "blaa"
           else:
             file = open("ennuste.csv", "ab")
             file.write(str('%s\n' %ennuste))
             file.close()
             saveennuste = ennuste
             print "BLAAA"
```

blaa

```
In [161]: print ennuste
           print saveennuste
```

1951.2420

1951.2420

KUVA 16. Mittaustietojen tallennus myöhempää käyttöä varten.

Tietokannasta saaduista tiedoista luodaan vielä kuvaajat, joista voidaan visuaalisesti tarkastella ennusteiden ja mitatun datan kehitystä ja muutoksia (kuva 17). Kuvaajan piirtämiseen käytetään Python-ohjelmointikielen lisäosaa Matplotlib eli kuvaajien ja muiden piirtämiseen tarvittava kirjasto. Koodista kirjasto kutsutaan import-komennolla ja tässä tapauksessa se kutsutaan muuttujan plt alle. Muuttujaa käsittelemällä voidaan määrittää erilaisia arvoja, esimerkiksi y ja x:n arvot kuten kuvassa 8 on tehty koodin rivillä yhdeksän plt.plot-komennolla. Ensin koodissa määritellään kutsuttavat kirjastot ja käytettävät muuttujat. Itse koodissa ensin luetaan käytettävät datat loadtxt-komennolla, jonka jälkeen määritellään piirrettävän kuvaajan nimet, koko, väri ja tallennuspaikka. (3.)

```
In [23]: import csv
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
import pylab
```

```
In [24]: #tietojen sijainti
sija = "/home/elder/Dropbox/Skole/Python/"
```

```
In [35]: def graph():
value, date = np.loadtxt('%sKokonaisenergia/Delta_energy_ennuste.csv' %sija, delimiter=' ',
                        unpack=True, converters = {1: mdates.strpdate2num('%Y-%m-%d')})
value2, date = np.loadtxt('%sKokonaisenergia/Delta_energy_Ylaennuste.csv' %sija, delimiter=' ',
                        unpack=True, converters = {1: mdates.strpdate2num('%Y-%m-%d')})
value3, date = np.loadtxt('%sKokonaisenergia/Delta_energy_Alaennuste.csv' %sija, delimiter=' ',
                        unpack=True, converters = {1: mdates.strpdate2num('%Y-%m-%d')})
value4, date = np.loadtxt('%sKokonaisenergia/Delta_energy_Loki.csv' %sija, delimiter=' ',
                        unpack=True, converters = {1: mdates.strpdate2num('%Y-%m-%d')})

fig = plt.figure()
ax1 = fig.add_subplot(1,1,1, axisbg='white')
plt.plot_date(y=value, x=date, fmt='-')
plt.plot_date(y=value2, x=date, fmt='-')
plt.plot_date(y=value3, x=date, fmt='-')
plt.plot_date(y=value4, x=date, fmt='-')
plt.title('Kokonaisenergia')
plt.ylabel('value')
plt.xlabel('date')]
fig.get_size_inches()
#array([ 8.,  6.])
fig.set_size_inches(15,10)
fig.get_dpi()
80
fig.set_dpi(40)
#plt.show()
plt.savefig('Delta_energy.png')
graph()
```

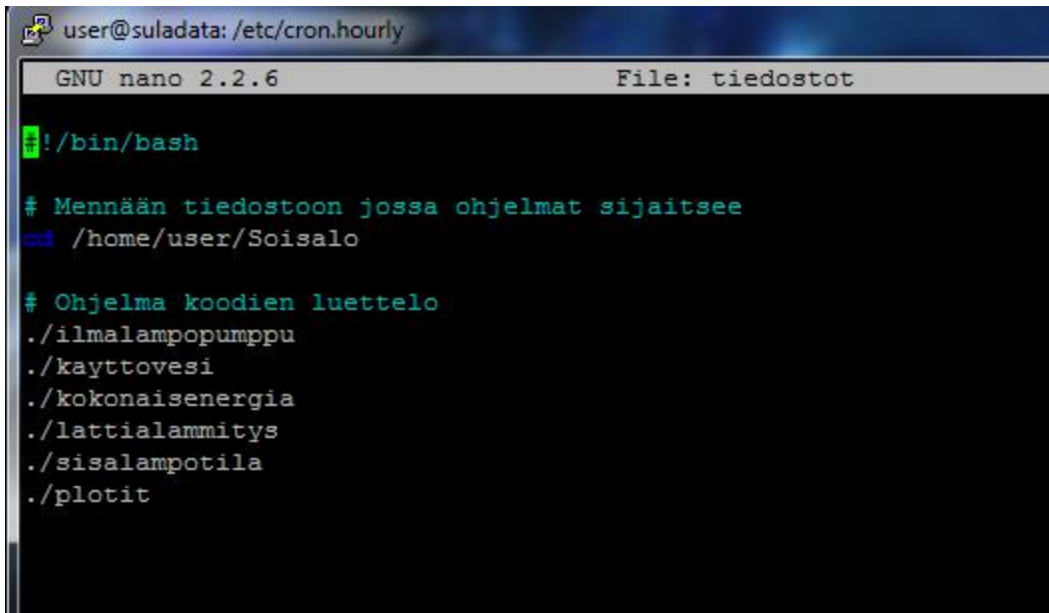
KUVA 17. Ennusteista ja mitatuista arvoista piirretään kuvaajat käyttämällä Python-ohjelmointikieltä.

4.4 Python-ohjelman ajaminen palvelimella

Ohjelman testaus suoritettiin lataamalla ohjelma Oulun ammattikorkeakoulun palvelimelle, jossa valmiille ohjelmille määritettiin suoritusajat. Palvelimen käyttäminen tapahtui Putty-ohjelmalla, jolla kirjauduttiin palvelimelle ja mahdollistettiin palvelimen käyttäminen komentoriviltä käsin. Komentoriviltä tapahtui myös kaikkien tarvittavien ohjelmien ja lisäosien kuten Pythonin ja sen lisäkirjastojen, esim. Matplotin, asentaminen palvelimelle.

Palvelimella olevat valmiit ohjelmat luovat tiedostoon loki-tiedostoja, joista voidaan seurata, ovatko ennusteet osuneet kohdalleen ja Matplotilla luoduista

kuvista voidaan seurata visuaalisesti energian ja ennusteiden vaihteluita (kuva 18). Ohjelmien suorituksen ajastaminen tapahtui Linux-palvelimella asentamalla palvelimelle erillinen ohjelma, joka suorittaa määrättyjen kansioiden alla olevat koodit. Kansiot yleensä löytyvät paikasta /etc/ nimillä cron.hourly, dayly tai monthly. Kansion alle luodaan tiedosto, johon kirjataan ohjelmat, joita halutaan suorittaa sekä niiden sijainti (kuva 19).



```
user@suladata: /etc/cron.hourly
GNU nano 2.2.6 File: tiedostot
#!/bin/bash
# Mennään tiedostoon jossa ohjelmat sijaitsee
/home/user/Soisalo
# Ohjelma koodien luettelo
./ilmalampopumppu
./kayttovesi
./kokonaisenergia
./lattialammitys
./sisalampotila
./plotit
```

KUVA 18. Ohjelmien suorittaminen tunneittain.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa järjestelmä, joka seuraa reaaliaikaisesti omakotitalon energiankulutusta ja pystyy tekemään hälytyksen poikkeavuuden sattuessa. Lisäksi työssä kehoitettiin erilaisia menetelmiä omakotitalon energiankulutuksen ja sisälämpötilan ennustamiseen ja valvontaan.

Omakotitalon energiankulutuksen ennustaminen lineaarisesti vertaamalla lämpötilaa ja energiankulutusta ei ole toimiva ratkaisu. Omakotitalon lämmön varaaminen on niin suurta, että lämmitysenergiankulutus heittelee ulkolämpötilaan nähden pitkinäkin aikaväleinä huomattavasti. Lämpötilalle ja energiankulutukselle ei ole lineaarista riippuvuutta.

Unohduskertoimella toteutettu ennustus perustuu mitattujen arvojen historiadaan ja niiden perusteella toteutettuun ennusteeseen.

Unohduskertoimella ennustettaessa unohduskertoimen kertoimet voidaan säätää halutunlaisiksi ja näin säätää unohduskertoimen herkkyyttä uusimpiin tai vanhimpiin historiatietoihin.

Unohduskertoimella energiankulutuksen ennustaminen lattialämmitykselle (liite 1/3 kuva 22) ja sisälämpötilan (liite 1/3 kuva 23) onnistui kohtuullisen hyvin. Ilmalämpöpumpun, kokonaisenergiankulutuksen ja käyttöveden energiankulutuksen ennustaminen ei ollut niinkään yksinkertaista, koska kokonaisenergiankulutukseen (liite 1/1 kuva 19) ja käyttöveden (liite 1/2 kuva 21) kulutukseen vaikuttavat muun muassa käytettävä veden määrä ja talossa käytettävät sähkölaitteet. Ilmalämpöpumpun energiankulutus on todella vaihtelevaa, kuten voidaan todeta liitteessä olevasta kuvaajasta (liite 1/2 kuva 20). Ilmalämpöpumppua on mahdollista säätää käsin ja sammuttaa se tarvittaessa. Ilmalämpöpumpun kuvaajasta voidaan todeta, että ilmalämpöpumppu on sammutettu aika ajoin. Unohduskertoimella toteutettu reaaliaikainen seuranta energiankulutukselle toimii kiinteässä järjestelmässä, jossa energiankulutus pysyy kohtuullisen tasaisena, kuten lattialämmityksessä ja sisälämpötilassa.

Liitteessä 2 on laskettu ennusteille MAPE (Mean absolute percentage error) eli ennusteen keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe. Menetelmällä voidaan ilmaista ennusteitten tarkkuus prosentteina verrattuna mitattuihin arvoihin. Kuten taulukoista voidaan todeta, lattialämmityksen ja sisälämpötilan ennustuksien heitto on alle viiden prosentin 41 päivän otannan aikana (lattialämmitys = 4,9 % ja sisälämpötila = 3,5 %). Ilmalämpöpumpulle saatu prosentuaalinen virhe oli jopa 485 % joka johtui ilmalämpöpumpun vain silloin tällöin käyttämisestä. Käyttöveden ja kokonaisenergiankulutuksen virhe kasvaa suureksi, koska energiankulutus johtuu käytettävän sähkön tai veden määrästä. Kokonaisenergialle saatiin prosentuaaliseksi virheeksi 13 % ja käyttövedelle 21,4 %.

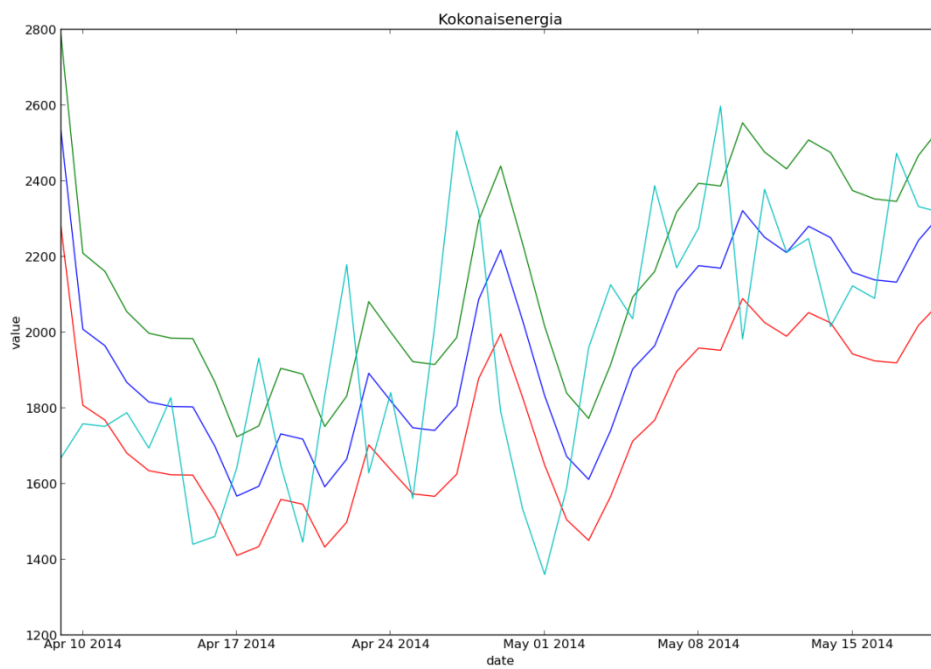
LÄHTEET

1. Microsoft Excel. 2014. Wikipedia. Saatavissa:
http://fi.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel. Hakupäivä 20.2.2014.
2. Pienimmän neliösumman suora. 2014. Wikipedia. Saatavissa:
http://fi.wikipedia.org/wiki/Pienimm%C3%A4n_neli%C3%B6summan_suora. Hakupäivä 20.2.2014.
3. Matplotlib. 2014. Wikipedia. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Matplotlib>. Hakupäivä 25.2.2014.
4. CronHowto. 2014. Ubuntu. Saatavissa:
<https://help.ubuntu.com/community/CronHowto>. Hakupäivä 25.2.2014.
5. Nyblom, Jukka 2012. Yleistetyt lineaariset mallit. Saatavissa:
<http://users.jyu.fi/~junyblom/JTMpruju.pdf>. Hakupäivä 25.2.2014.
6. Pientalon lämmitysjärjestelmät. 2014. Motiva. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf.
Hakupäivä 1.5.2014.
7. Energiamääräykset tiekentuvat. 2014. Rakentaja. Saatavissa:
http://www.rakentaja.fi/artikkelit/8788/energiamaaraykset_tiekentuvat_2012.htm#.U12hS1cZZ6Y. Hakupäivä 1.5.2014.
8. Matalaenergiatalon määritelmiä. 2014. Motiva. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmia. Hakupäivä 1.5.2014.
9. Ilmalämpöpumppu. 2014. Wikipedia. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ilmal%C3%A4mp%C3%B6pumppu>. Hakupäivä 10.5.2014.
10. Lämmityskattila. 2014. Wikipedia. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6kattila>. Hakupäivä 10.5.2014.

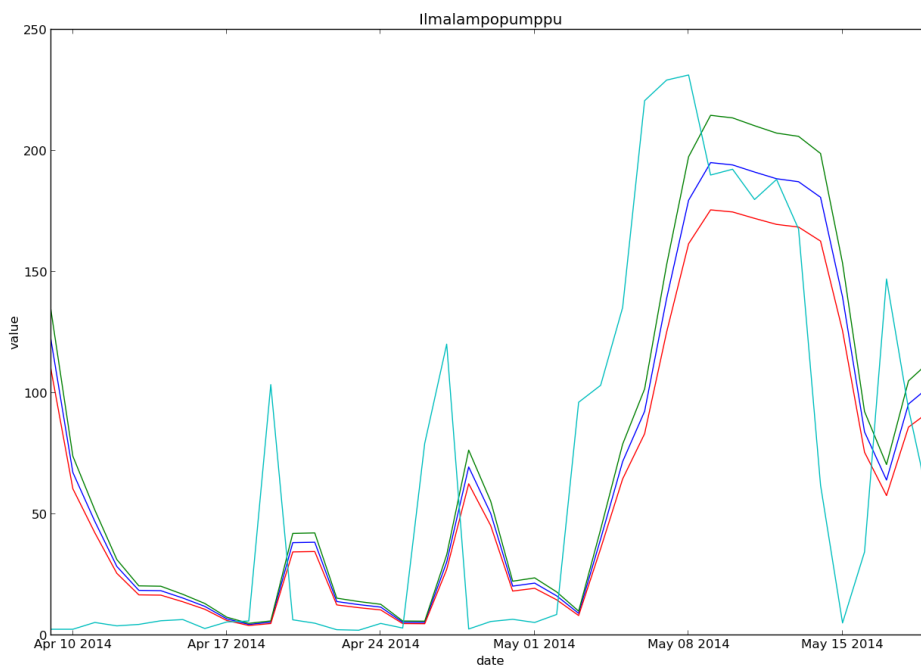
11. Teollisuuskattilat. 2014. Lämmitysjärjestelmät. Saatavissa:
<http://lammitysjarjestelmat.com/teollisuuskattilat/>. Hakupäivä 10.5.2014.
12. Lattialämmitys. 2014. Wikipedia. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Lattial%C3%A4mmitys>. Hakupäivä 10.5.2014.
13. Mean absolute percentage error. 2014. Wikipedia. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_absolute_percentage_error. Hakupäivä
15.5.2014.
14. Heikkilä, Tarja 2008. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita Prima Oy.
15. Kasurinen, Jussi Pekka 2009. Python 3 ohjelmointi. Jyväskylä:
WSOYpro.

PYTHON KUVAAJAT

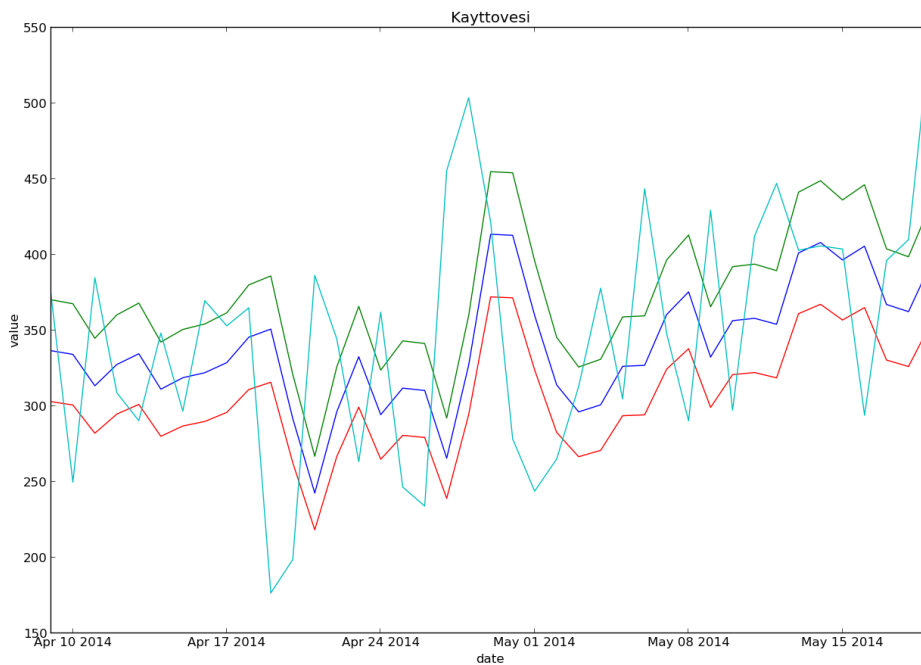
Pythonilla toteutetut kuvaajat mitatuista energiankulutuksista ja niistä lasketuista ennusteesta ja ennusteen ylä- ja alarajoista.



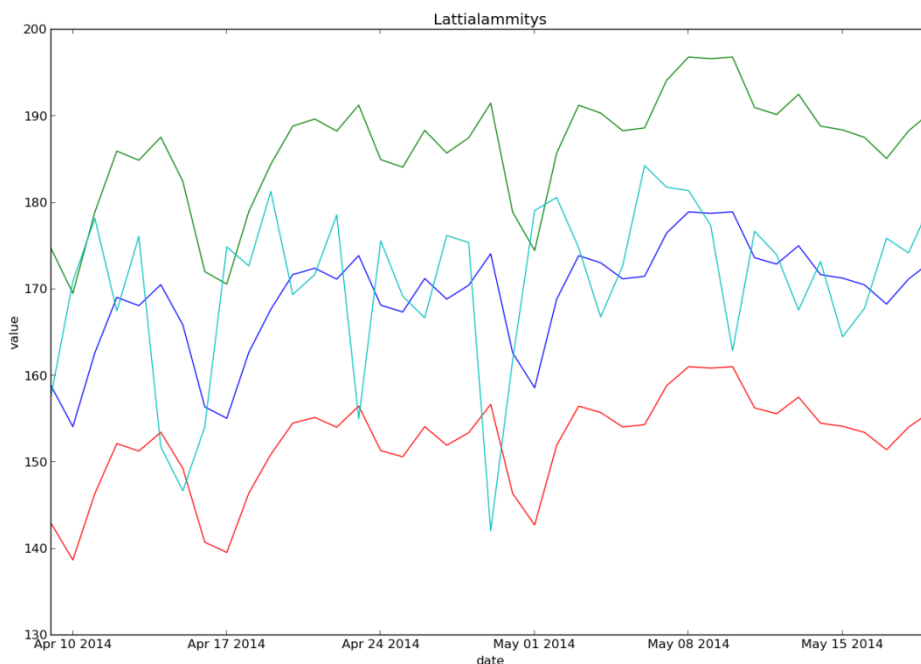
KUVA 19. Kokonaisenergiankulutus ja siitä toteutettu ennuste.



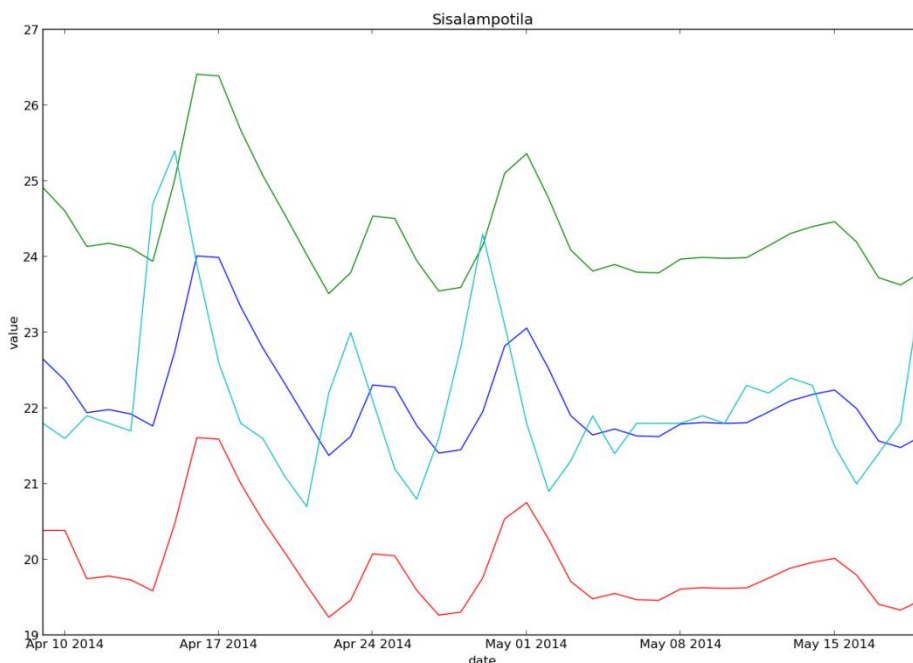
KUVA 20. Ilmalämpöpumpun energiankulutus ja siitä toteutettu ennuste.



KUVA 21. Käyttöveden energiankulutus ja siitä toteutettu ennuste.



KUVA 22. Lattialämmityksen energiankulutus ja siitä toteutettu ennuste.



KUVA 23. Sisälämpötilan energiankulutus ja siitä toteutettu ennuste.

MAPE-LASKENTATAULUKOT

Lattialämmityksen arvoista toteutettu taulukko, jossa on laskettu absoluuttinen virheprosentti ja keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe lattialämmityksen energiankulutuksen ennustuksen virheelle.

PVM	Arvo	Ennuste	A-E	Itseisarvo	Absoluuttinen virhe prosentti	Keskiarvo prosenttuaaliselle erolle	Keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe
9.4.2014	157,6	158,87	-1,27	1,273	0,807741117	200,683089	4,894709488
10.4.2014	170,9	154,12	16,78	16,7805	9,818899941		
11.4.2014	178,2	162,65	15,55	15,5485	8,725308642		
12.4.2014	167,5	169,06	-1,56	1,564	0,933731343		
13.4.2014	176,1	168,1	8,00	7,9995	4,542589438		
14.4.2014	151,8	170,53	-18,73	18,7265	12,33629776		
15.4.2014	146,7	165,89	-19,19	19,1895	13,0807771		
16.4.2014	154,1	156,4	-2,30	2,2955	1,489617132		
17.4.2014	174,9	155,09	19,81	19,8145	11,32904517		
18.4.2014	172,7	162,7	10,00	10,0045	5,792993631		
19.4.2014	181,3	167,67	13,63	13,6285	7,517098731		
20.4.2014	169,4	171,69	-2,29	2,292	1,353010626		
21.4.2014	171,7	172,43	-0,73	0,7335	0,427198602		
22.4.2014	178,6	171,17	7,43	7,432	4,161254199		
23.4.2014	155	173,89	-18,89	18,8935	12,18935484		
24.4.2014	175,6	168,16	7,44	7,437	4,235193622		
25.4.2014	169,2	167,37	1,83	1,829	1,080969267		
26.4.2014	166,7	171,24	-4,54	4,5445	2,726154769		
27.4.2014	176,2	168,86	7,34	7,3415	4,166572077		
28.4.2014	175,4	170,46	4,94	4,94	2,816419612		
29.4.2014	142,1	174,1	-32,00	32,0035	22,52181562		
30.4.2014	161,8	162,65	-0,85	0,8455	0,522558714		
1.5.2014	179,1	158,61	20,49	20,4865	11,4385818		
2.5.2014	180,6	168,84	11,76	11,7575	6,510243632		
3.5.2014	174,8	173,88	0,92	0,9195	0,526029748		
4.5.2014	166,8	173,06	-6,26	6,2605	3,753297362		
5.5.2014	172,7	171,21	1,49	1,4925	0,864215402		
6.5.2014	184,3	171,5	12,80	12,802	6,946283234		
7.5.2014	181,8	176,5	5,30	5,299	2,914741474		
8.5.2014	181,4	178,94	2,46	2,456	1,353914002		
9.5.2014	177,4	178,77	-1,37	1,371	0,772829763		
10.5.2014	162,9	178,94	-16,04	16,0425	9,848066298		
11.5.2014	176,7	173,65	3,05	3,052	1,727221279		
12.5.2014	174	172,91	1,10	1,095	0,629310345		
13.5.2014	167,6	175,04	-7,44	7,435	4,436157518		
14.5.2014	173,2	171,69	1,51	1,514	0,874133949		
15.5.2014	164,5	171,29	-6,79	6,788	4,126443769		
16.5.2014	167,8	170,5	-2,70	2,702	1,610250298		
17.5.2014	175,9	168,28	7,62	7,6185	4,331154065		
18.5.2014	174,2	171,18	3,02	3,024	1,735935706		
19.5.2014	179,8	173,13	6,67	6,67	3,709677419		

Sisälämpötilan arvoista toteutettu taulukko, jossa on laskettu absoluuttinen virheprosentti ja keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe sisälämpötilan energiankulutuksen ennustuksen virheelle.

PVM	Arvo	Ennuste	A-E	Itseisarvo	Absoluuttinen virhe prosentti	Keskiarvo prosentuaaliselle erolle	Keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe
9.4.2014	21,8	22,65	-0,85	0,85	3,899082569	145,813666	3,556430878
10.4.2014	21,6	22,369	-0,77	0,7685	3,55787037		
11.4.2014	21,9	21,942	-0,04	0,0415	0,189497717		
12.4.2014	21,8	21,981	-0,18	0,181	0,830275229		
13.4.2014	21,7	21,924	-0,22	0,224	1,032258065		
14.4.2014	24,7	21,764	2,94	2,936	11,88663968		
15.4.2014	25,4	22,75	2,65	2,6495	10,43110236		
16.4.2014	23,9	24,01	-0,11	0,1105	0,462343096		
17.4.2014	22,6	23,991	-1,39	1,391	6,154867257		
18.4.2014	21,8	23,338	-1,54	1,538	7,055045872		
19.4.2014	21,6	22,796	-1,20	1,196	5,537037037		
20.4.2014	21,1	22,326	-1,23	1,226	5,81042654		
21.4.2014	20,7	21,843	-1,14	1,1425	5,519323671		
22.4.2014	22,2	21,375	0,82	0,8245	3,713963964		
23.4.2014	23	21,628	1,37	1,3715	5,963043478		
24.4.2014	22,1	22,307	-0,21	0,207	0,936651584		
25.4.2014	21,2	22,278	-1,08	1,078	5,08490566		
26.4.2014	20,8	21,772	-0,97	0,972	4,673076923		
27.4.2014	21,6	21,408	0,19	0,1925	0,891203704		
28.4.2014	22,8	21,451	1,35	1,3495	5,918859649		
29.4.2014	24,3	21,952	2,35	2,3485	9,664609053		
30.4.2014	23,1	22,821	0,28	0,279	1,207792208		
1.5.2014	21,8	23,059	-1,26	1,259	5,775229358		
2.5.2014	20,9	22,521	-1,62	1,6205	7,753588517		
3.5.2014	21,3	21,902	-0,60	0,602	2,82629108		
4.5.2014	21,9	21,647	0,25	0,2535	1,157534247		
5.5.2014	21,4	21,726	-0,33	0,3255	1,521028037		
6.5.2014	21,8	21,634	0,17	0,1655	0,759174312		
7.5.2014	21,8	21,625	0,18	0,1755	0,805045872		
8.5.2014	21,8	21,791	0,01	0,0095	0,043577982		
9.5.2014	21,9	21,811	0,09	0,0895	0,408675799		
10.5.2014	21,8	21,8	0,00	0,0005	0,002293578		
11.5.2014	22,3	21,808	0,49	0,492	2,206278027		
12.5.2014	22,2	21,951	0,25	0,2495	1,123873874		
13.5.2014	22,4	22,098	0,30	0,302	1,348214286		
14.5.2014	22,3	22,181	0,12	0,1185	0,531390135		
15.5.2014	21,5	22,24	-0,74	0,7405	3,444186047		
16.5.2014	21	21,996	-1,00	0,996	4,742857143		
17.5.2014	21,4	21,568	-0,17	0,168	0,785046729		
18.5.2014	21,8	21,481	0,32	0,319	1,463302752		
19.5.2014	23,7	21,639	2,06	2,061	8,696202532		

Ilmalämpöpumpun arvoista toteutettu taulukko jossa, on laskettu absoluuttinen virheprosentti ja keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe ilmalämpöpumpun energiankulutuksen ennustuksen virheelle.

PVM	Arvo	Ennuste	A-E	Itseisarvo	Absoluuttinen virhe prosentti	Keskiarvo prosenttuaalliselle erolle	Keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe
9.4.2014	2,50	122,16	-119,66	119,657	4786,28	19906,75612	485,5306372
10.4.2014	2,50	67,21	-64,71	64,714	2588,56		
11.4.2014	5,30	47,00	-41,70	41,698	786,754717		
12.4.2014	3,90	28,42	-24,52	24,523	628,7948718		
13.4.2014	4,50	18,55	-14,05	14,0515	312,2555556		
14.4.2014	6,00	18,42	-12,42	12,418	206,9666667		
15.4.2014	6,50	15,38	-8,88	8,884	136,6769231		
16.4.2014	2,80	11,94	-9,14	9,1415	326,4821429		
17.4.2014	5,50	6,80	-1,30	1,298	23,6		
18.4.2014	5,90	4,49	1,41	1,4105	23,90677966		
19.4.2014	103,50	5,40	98,10	98,1	94,7826087		
20.4.2014	6,40	38,24	-31,84	31,84	497,5		
21.4.2014	5,00	38,42	-33,42	33,4165	668,33		
22.4.2014	2,30	13,94	-11,64	11,641	506,1304348		
23.4.2014	2,10	12,67	-10,57	10,568	503,2380952		
24.4.2014	4,90	11,64	-6,74	6,741	137,5714286		
25.4.2014	3,00	5,37	-2,37	2,3725	79,08333333		
26.4.2014	79,20	5,31	73,89	73,893	93,29924242		
27.4.2014	120,20	30,22	89,98	89,978	74,85690516		
28.4.2014	2,60	69,50	-66,90	66,8955	2572,903846		
29.4.2014	5,70	50,33	-44,63	44,631	783		
30.4.2014	6,60	20,30	-13,70	13,695	207,5		
1.5.2014	5,30	21,55	-16,25	16,25	306,6037736		
2.5.2014	8,60	16,28	-7,68	7,6815	89,31976744		
3.5.2014	96,20	9,06	87,14	87,136	90,57796258		
4.5.2014	103,20	39,75	63,45	63,4475	61,48013566		
5.5.2014	135,30	71,70	63,60	63,598	47,00517369		
6.5.2014	220,70	92,47	128,23	128,2295	58,10126869		
7.5.2014	229,20	139,05	90,15	90,154	39,33420593		
8.5.2014	231,30	179,60	51,70	51,702	22,35278859		
9.5.2014	190,00	195,14	-5,14	5,1355	2,702894737		
10.5.2014	192,40	194,18	-1,78	1,776	0,923076923		
11.5.2014	179,90	191,24	-11,34	11,335	6,300722624		
12.5.2014	188,20	188,47	-0,27	0,273	0,145058448		
13.5.2014	167,70	187,25	-19,55	19,547	11,65593321		
14.5.2014	62,00	180,82	-118,82	118,8175	191,641129		
15.5.2014	5,10	139,69	-134,59	134,5895	2639,009804		
16.5.2014	34,40	83,98	-49,58	49,5755	144,1148256		
17.5.2014	147,10	64,10	83,00	83,004	56,42692046		
18.5.2014	93,50	95,49	-1,99	1,9875	2,125668449		
19.5.2014	51,90	103,00	-51,10	51,1015	98,46146435		

Kokonaisenergiankulutuksen arvoista toteutettu taulukko, jossa on laskettu absoluuttinen virheprosentti ja keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe kokonaisenergiankulutuksen ennustuksen virheelle.

PVM	Arvo	Ennuste	A-E	Itseisarvo	Absoluuttinen virhe prosentti	Keskiarvo prosenttuaaliselle erolle	Keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe
9.4.2014	1669	2533,9	-865,42	865,4195	51,86811507	534,7946485	13,04377191
10.4.2014	1759	2008,7	-249,78	249,7765	14,20072204		
11.4.2014	1752	1965,3	-213,38	213,378	12,17980478		
12.4.2014	1788	1868,1	-79,94	79,9405	4,47044514		
13.4.2014	1695	1816,5	-121,93	121,9345	7,195473858		
14.4.2014	1828	1804,7	23,34	23,344	1,27702407		
15.4.2014	1441	1803,6	-363,08	363,083	25,20534537		
16.4.2014	1461	1699,8	-238,59	238,591	16,32842869		
17.4.2014	1643	1567,7	74,92	74,9175	4,560909534		
18.4.2014	1932	1593,8	338,39	338,391	17,51324915		
19.4.2014	1649	1732,1	-83,35	83,3465	5,054979379		
20.4.2014	1446	1718,2	-272,22	272,2245	18,82603734		
21.4.2014	1833	1592,4	240,33	240,334	13,11365745		
22.4.2014	2179	1665,6	513,84	513,842	23,57722309		
23.4.2014	1629	1892,4	-263,35	263,352	16,1664825		
24.4.2014	1841	1819,2	22,08	22,081	1,199207082		
25.4.2014	1561	1748,4	-187,07	187,0685	11,98158586		
26.4.2014	2016	1741,3	274,87	274,8735	13,63324571		
27.4.2014	2533	1806,2	726,58	726,5785	28,68676958		
28.4.2014	2322	2087,2	234,51	234,5125	10,1008959		
29.4.2014	1791	2217,9	-427,39	427,394	23,87009215		
30.4.2014	1533	2030,9	-497,69	497,6885	32,46076833		
1.5.2014	1361	1833,1	-472,50	472,5045	34,72765692		
2.5.2014	1589	1672,7	-83,46	83,456	5,251447269		
3.5.2014	1960	1611,8	347,95	347,949	17,75521764		
4.5.2014	2126	1741,1	385,15	385,1535	18,11378921		
5.5.2014	2036	1903,2	133,10	133,0975	6,536242204		
6.5.2014	2388	1964,7	423,31	423,3055	17,72636097		
7.5.2014	2171	2107,6	63,39	63,3855	2,919645325		
8.5.2014	2276	2176,6	99,41	99,4115	4,367816344		
9.5.2014	2598	2170	428,06	428,056	16,47573227		
10.5.2014	1983	2322	-339,26	339,259	17,1109598		
11.5.2014	2378	2251,6	126,68	126,6755	5,326304503		
12.5.2014	2212	2211,3	0,54	0,539	0,024369292		
13.5.2014	2248	2280,7	-32,43	32,431	1,442467642		
14.5.2014	2016	2250,6	-235,02	235,021	11,66010121		
15.5.2014	2123	2159,1	-35,94	35,9355	1,692516014		
16.5.2014	2090	2139	-48,60	48,599	2,324866054		
17.5.2014	2474	2133,1	340,42	340,418	13,7626036		
18.5.2014	2333	2243,5	89,19	89,1865	3,823316329		
19.5.2014	2317	2310,8	6,55	6,553	0,282773798		

Käyttöveden energiankulutuksen arvoista toteutettu taulukko, jossa on laskettu absoluuttinen virheprosentti ja keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe käyttöveden ennustuksen virheelle.

PVM	Arvo	Ennuste	A-E	Itseisarvo	Absoluuttinen virhe prosentti	Keskiarvo prosenttuaaliselle erolle	Keskimääräinen absoluuttinen prosentuaalinen virhe
9.4.2014	374,4	336,68	37,72	37,7195	10,07465278	877,0791451	21,39217427
10.4.2014	249,8	334,24	-84,44	84,4425	33,80404323		
11.4.2014	384,9	313,49	71,41	71,414	18,55391011		
12.4.2014	308,9	327,57	-18,67	18,6675	6,04321787		
13.4.2014	290,4	334,64	-44,24	44,24	15,23415978		
14.4.2014	348,3	311,24	37,07	37,065	10,6416882		
15.4.2014	296,7	318,81	-22,11	22,108	7,451297607		
16.4.2014	369,7	322,12	47,58	47,5775	12,86921829		
17.4.2014	353,1	328,8	24,30	24,3035	6,882894364		
18.4.2014	365	345,56	19,44	19,4355	5,324794521		
19.4.2014	176,6	350,94	-174,34	174,339	98,71970555		
20.4.2014	198,7	291,83	-93,13	93,128	46,8686462		
21.4.2014	386,4	242,63	143,77	143,7735	37,20846273		
22.4.2014	344,6	296,27	48,33	48,332	14,02553685		
23.4.2014	263,3	332,68	-69,38	69,3835	26,35150019		
24.4.2014	362,1	294,38	67,72	67,717	18,70118752		
25.4.2014	246,6	311,95	-65,35	65,35	26,50040552		
26.4.2014	234	310,38	-76,38	76,3765	32,63952991		
27.4.2014	455,6	265,65	189,95	189,952	41,69271291		
28.4.2014	503,8	327,21	176,59	176,5945	35,05250099		
29.4.2014	421,4	413,57	7,83	7,8275	1,857498813		
30.4.2014	278,4	412,85	-134,45	134,4455	48,29220546		
1.5.2014	243,9	359,92	-116,02	116,017	47,56744567		
2.5.2014	265,1	314,1	-49,00	48,9975	18,48264806		
3.5.2014	313	296,25	16,76	16,755	5,353035144		
4.5.2014	378	300,91	77,09	77,0905	20,39431217		
5.5.2014	304,7	326,34	-21,64	21,635	7,100426649		
6.5.2014	443,6	326,97	116,63	116,6275	26,29114067		
7.5.2014	348,1	360,5	-12,40	12,3955	3,56090204		
8.5.2014	290,3	375,54	-85,24	85,243	29,36376163		
9.5.2014	429,5	332,43	97,07	97,0735	22,60151339		
10.5.2014	297,4	356,5	-59,10	59,103	19,8732347		
11.5.2014	412,4	358,05	54,35	54,348	13,17846751		
12.5.2014	447,2	354,12	93,08	93,0795	20,81384168		
13.5.2014	403	401,24	1,76	1,761	0,436972705		
14.5.2014	405,9	408,13	-2,23	2,228	0,548903671		
15.5.2014	403,8	396,57	7,23	7,2305	1,790614165		
16.5.2014	294	405,7	-111,70	111,704	37,99455782		
17.5.2014	396,2	367,2	29,00	29,003	7,320292781		
18.5.2014	410	362,45	47,55	47,5515	11,59792683		
19.5.2014	547	393,73	153,27	153,266	28,01937843		