

Joonas Korhikoski

Adaptiivisen ja normaalin säätömenetelmän vertaileva tutkimus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

11.5.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joonas Korkiakoski Adaptiivisen ja normaalin säätömenetelmän vertaileva tutkimus 31 sivua + 4 liitettä 11.5.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaajat	lehtori Jarmo Tapio projektinhoitaja Jesse Ruhanen
<p>Insinööriyössä suoritettiin adaptiivisen ja normaalin eli ulkolämpötila kompensointiin pohjautuvan säädön vertaileva tutkimus. Työ tehtiin Fidelix Oy:n rakennusautomaatiojärjestelmän pohjalle. Vertaileva tutkimus käsitteli teorian ja energiansäästöjen vertailua adaptiivisen- ja normaalin säätötavan välillä.</p> <p>Työssä valittiin kaksi toimistorakennusta, Plaza Business Park Halo ja Tuike, joissa oli jo valmiiksi Fidelix Oy:n rakennusautomaatiojärjestelmä. Halon toimistorakennukseen ohjelmoitiin Fidelix Oy:n ABC-tuote, mikä ohjasi lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa adaptiiviseen ja ennakoivaan säätöön perustuen. Tuikkeen lämmitysverkostojen menoveden lämpötilaa ohjattiin ulkolämpötilan perusteella.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää ABC-konseptin tuomat energiasäästöt lämmitysverkoston, IV-lämmitysverkoston ja kokonaisenergiakulutuksen kannalta.</p> <p>Lämmitysverkostojen energiankulutukset laskettiin valvomosta saadun historiadatan perusteella. Energiasäästöt laskettiin vertailemalla toimistorakennusten energiankulutuksia ennen ABC-konseptin käyttöönottoa ja ABC-konseptin käyttöönoton jälkeen.</p> <p>Saatujen tutkimusten perusteella ABC-konseptin säätömenetelmien ansiosta energiasäästöjä syntyi 13 % kuukausitasolla.</p>	
Avainsanat	rakennusautomaatio, adaptiivinen säätömenetelmä, energiansäästö

Author Title	Joonas Korkiakoski Comparison of an adaptive and a common control system in a building
Number of Pages Date	31 pages + 4 appendices 11 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building services
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructors	Jarmo Tapio, Senior Lecturer Jesse Ruhanen, Project executive
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to compare an adaptive and a more common control system with each other in two similar office buildings. The aim of this final year project was also to explore how much energy can be saved with an adaptive control system. The final year project was done as a case study comparing two office buildings. One of the buildings was retrofitted with an adaptive control system and the other continued to operate with a common control system.</p> <p>The comparison of the district heating energy consumption was based on the results of energy meters that showed the overall energy consumption in the buildings. Also, the energy consumption of the radiator systems was compared. The systems were monitored for two months. The comparison of the energy consumption of the radiator systems was based on the data from the control room.</p> <p>The adaptive control system saved 13% of energy during February and March. The results show that the adaptive control system has a significant effect on the energy consumption of buildings. The results of the final year project gave significant knowledge of energy savings of an adaptive control system. The results can be used to market the adaptive control system to various building owners.</p>	
Keywords	building automation, adaptive control system, energy saving

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennusautomaatio	2
2.1	Toimintaperiaate	3
2.2	Moduulit	5
2.2.1	Digitaalinen tulo	6
2.2.2	Digitaalinen lähtö	6
2.2.3	Analoginen tulo	6
2.2.4	Analoginen lähtö	7
3	Ulkolämpötilan kompensointi	7
3.1	Säädin	7
3.2	Lämpökäyrän määrittäminen	8
4	ABC -adaptiivinen säätö	11
4.1	Vuodenaikojen ja vuorokauden muutokset	12
4.2	Lämmityspiiri	15
4.3	IV-koneen säätöominaisuudet	16
4.4	Yleiset laatuvaatimukset	16
5	Energiakulutuksen vertailu	18
5.1	Patteriverkosto	19
5.2	IV-verkosto	22
5.3	Kokonaisenergia	25
6	Tulokset	25
7	Johtopäätökset	29
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Rakennuksen aikavakio	

Liite 2. Patteri- ja IV-lämmitysverkosto

Liite 3. Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin energiantarve

Liite 4. Energiakulutusvertailu

Lyhenteet

ABC-konsepti	Fidelixin kehittämä adaptiivisuutta ja ennakointia käsittelevä säätötapa.
AI-piste	Analoginen sisääntulo
AO-piste	Analoginen ulostulo
CAT-6	Kaapelityyppi
CPU	Tietokoneen suoritin (Central Processing Unit).
DI-piste	Digitaalinen sisääntulo
DO-piste	Digitaalinen ulostulo
I/O-moduuli	Input/Output. Tiedonsiirron sisään- ja ulostulon väylä
IV-lämmitysverkosto	Lämmitysverkosto, joka palvelee ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereita.
LAN-verkko	Lähiverkkoyhteys
TCP/IP-protokolla	Tietoverkkoprotokollan yhdistelmä, jonka liikennöinti tapahtuu TCP-yhteyksinä IP-protokollan päällä.
valvomo	Käyttäjän ja järjestelmän rajapinta, joka mahdollistaa taloteknisten järjestelmien jatkuvan seuraamisen.
valvonta-alakeskus	Itsenäinen automaatiokeskus, joka säätää ja ohjaa taloteknisiä prosesseja.
väylä	Siirtotie, johon voidaan kytkeä useita väylälaitteita, jotka kommunikoivat keskenään.

1 Johdanto

Energiatehokkuusvaatimusten jatkuva kiristyminen on muuttanut ja tulee edelleen muuttamaan LVI- ja sähkösuunnittelun periaatteita. Ympäristöministeriö on laatinut rakennusten energiankulutuksen ohjausta ja luokitusta varten luokitusjärjestelmän, josta nähdään rakennuksen todellinen energiankulutus. Energiatehokkuutta määritetään E-luvulla, johon pyritään vaikuttamaan myös rakennusautomaatiota hyväksikäyttäen. Talotekniikan saralla, kiinteistöjen energiakulutuksen optimoinnin menetelmät ovat alkaneet kiinnostaa etenkin kiinteistön omistajia ja ylläpitäjiä. Fidelix Oy on kehittänyt ABC-konseptin, jolla pyritään minimoimaan rakennuksen energiankulutusta, mutta samalla pitämään laadukkaat sisäolosuhteet. ABC-konsepti tulee ilmauksesta Adaptive Building Control, joka tarkoittaa rakennuksen adaptiivista, ennakoivaa ja ennustuksiin perustuvaa säätöä.

Insinööriyön aiheeksi valitsin normaalin ja adaptiivisen säätömenetelmän vertailevan tutkimuksen. Normaali säätömenetelmä eli ulkolämpötilaan perustuva lämmönsäätö on yleisin säätömenetelmä, mitä LVI-suunnittelijat laativat suunnitelmissaan. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, kuinka paljon energiaa voidaan säästää Fidelixin kehittämällä ABC-konseptilla.

Valitsin työhöni kaksi Plaza Business Parkin toimistorakennusta, jotka ovat lähes identtisiä keskenään. Rakennusten energiantarve, käyttöaste ja talotekniset ratkaisut ovat lähes samanlaiset. Molemmissa kiinteistössä on jo ennestään Fidelixin rakennusautomaatio, mutta toiseen kiinteistöön ohjelmoidaan ABC-konsepti. ABC-konseptin käyttöönoton jälkeen tarkastelen molempien kiinteistöjen energiankulutusta kuukausitasolla, jonka perusteella nähdään ABC-konseptin todellinen hyöty. Lisäksi tulen kertomaan yleisesti rakennusautomaatiosta ja sen toimintaperiaatteesta. Työssäni käsiteltävä rakennusautomaatio-osio pohjautuu Fidelix Oy:n toimintamalliin ja heidän kehittämäänsä rakennusautomaatiotekniikkaan. Insinööriyö tehdään Fidelix Oy:n tilauksesta.

Fidelix Oy, johon tämä insinööriyö tehdään, on vuonna 2002 perustettu rakennusautomaatiota ja turvajärjestelmiä myyvä yritys, jonka liikevaihto oli jopa 18 M€ vuonna 2014. Fidelix Oy toimii pääasiassa Suomessa, mutta toiminta on levinnyt myös muihin Pohjoismaihin, Venäjälle, Etelä-Eurooppaan ja Aasiaan. Fidelix Oy:n henkilöstöä on jo toistasa-

taa. Pääkonttori sijaitsee Vantaalla ja aluekonttoreita on Turussa, Tampereella, Jyväskylässä, Vaasassa, Kokkolassa, Kuopiossa, Lahdessa ja Oulussa. Fidelix Oy:n merkittävimpiä asiakkaita ovat suuret rakennusliikkeet kuten NCC, SRV, Lujatalo ja monet muut rakennusyrietykset. Rakennusautomaation kohteina ovat kerrostalot, toimisto-rakennukset, sairaalat ja muut suuret rakennukset. (Rakennusautomaatiojärjestelmä 2015.)

Yrityksellä on integroitu verkkotekniikkaan pohjautuva järjestelmä, jota voidaan käyttää useisiin eri tarkoituksiin, kuten ilmanvaihdon ja lämmityksen ohjaamiseen, sisäilman hallintaan, energian- ja vedenkulutuksen mittaamiseen, murtohälytyksiin, kulunvalvontaan, kameravalvontaan ja palo ilmoituksiin. Fidelix Oy:n järjestelmä yhdistää rakennusautomaation mittarit, anturit, säätimet ja toimilaitteet yhdeksi kokonaisuudeksi turvallisuusjärjestelmän kanssa. Automaattisen toiminnan lisäksi järjestelmää voi ohjata paikallisen käyttöliittymän avulla tai etäyhteydellä.

2 Rakennusautomaatio

Talotekniikassa automaatio on ollut enemmän tai vähemmän mukana jo 1960-luvulta asti. Varsinaisen automaation rantautumisen sai aikaan 1970-luvun energiakriisi, joka pakotti kiinteistönomistajat hakemaan keinoja energiankulutuksen pienentämiseksi. Siitä lähtien automaatio on ollut keskeinen osa talotekniikkaa. (Suomäki & Vepsäläinen 2013: 9.)

Talotekniikka noudattaa edelleen jo 50 vuotta sitten kehitettyä talotekniikan peruseriaa-tetta, mutta automaatio on kehittynyt selvästi muita rakennusalan osa-alueita enemmän ja tulee kehittymään jatkossakin. (Suomäki & Vepsäläinen 2013: 9.)

Automaatio tarkoittaa itsestään tapahtuvaa käyttäjän määrittelemää toimintoa. Enää emme tarvitse kiinteistön huoltomiestä säätämään taloteknisiä järjestelmiä, vaan nykyään rakennusautomaatio hoitaa niiden toiminnan. Rakennusautomaatiolla voimme ohjata ja valvoa kiinteistön lämmitys-, jäähdytys-, ilmastointi-, sähkö- ja kulunvalvontajärjestelmiä. Lisäksi rakennusautomaatioon voidaan liittää palo- ja sammutusjärjestelmät, murtohälytysjärjestelmät, hissit ja muu erikoistekniikka. (Suomäki & Vepsäläinen 2013: 11.)

Rakennusautomaatio on keskeinen osa parantamaan rakennuksen energiatehokkuutta. Tarpeettoman energiankäytön välttäminen johtaa väistämättä tarkkoihin taloteknisten järjestelmien säätötavoitteisiin, jotka mahdollistaa säätö- ja valvontakeskus. Rakennusautomaatio perustuu taloteknisten järjestelmien säätöön, ohjaukseen, mittaukseen sekä hälytysten seurantaan. Rakennusautomaatio mahdollistaa myös energian- ja vedenkulutuksen seuraamisen, jonka perusteella voidaan kehittää rakennukseen yhä parempia ja innovatiivisempia talotekniikan säätöratkaisuja. Rakennusautomaation kehitys perustuu IT-tekniikan yleiseen kehitykseen. Internetin, PC-tekniikan ja elektroniikan kehitys mahdollistaa rakennusautomaation kokonaisvaltaisen toiminnan, jolla voidaan vaikuttaa viihtyvyyteen, energiankulutukseen ja muiden ympäristötekijöiden huomioimiseen. (Härkönen ym. 2012: 93.)

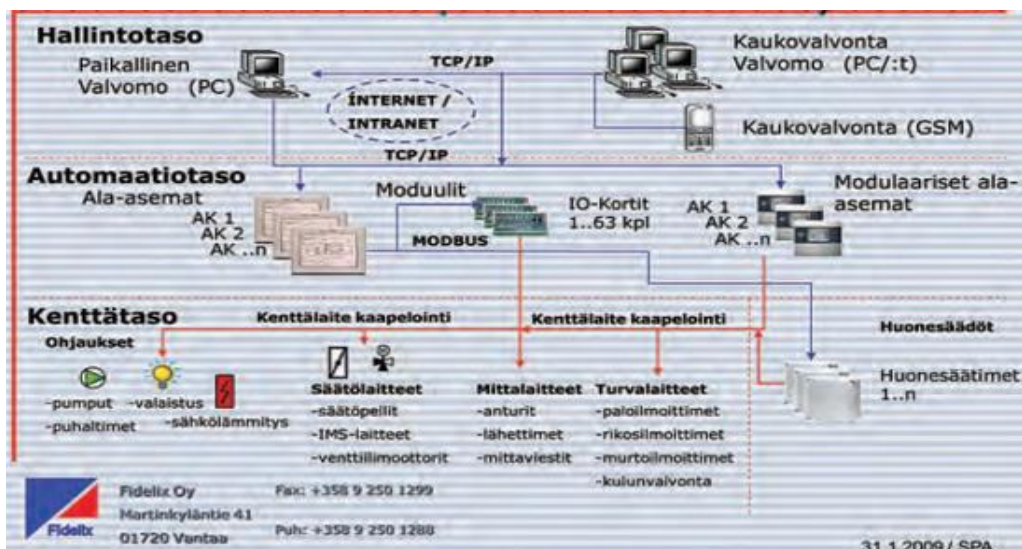
2.1 Toimintaperiaate

Rakennusautomaatiojärjestelmät koostuvat laitteista, mitkä lähettävät ja vastaanottavat analogista sekä digitaalista tietoa. Prosesseista saatujen tietojen perusteella toimilaitteita voidaan ohjata käyttäjän haluamalla tavalla. Rakennusautomaatio koostuu kolmesta päätasosta, joihin lukeutuvat hallinto-, automaatio- ja kenttätaso. (Härkönen ym. 2012: 93.)

Hallintotasoon kuuluvat kiinteistön paikallis- ja keskusvalvomot, joissa on etäyhteys kyseiseen kiinteistöön. Useamman kiinteistön omistajat pyrkivät keskittämään usean eri kiinteistön talotekniikan valvonnat yhteen paikkaan, keskusvalvomoon. Valvomot ovat käyttäjän ja järjestelmän rajapinta, jotka mahdollistavat säännöllisen kiinteistön talotekniikan prosessien seuraamisen. Käyttäjä näkee valvomosta kiinteistön halutut mittaus, hälytys ja käyntitilat. Käyttäjä voi tarkastella valvomosta kiinteistön graafisia prosesseja, jonka perusteella voidaan muuttaa haluttuja asetusarvoja ja aikaohjelmia. Hallintotason paikalliset valvomot ovat PC-pohjaisia, joiden kommunikaatio perustuu LAN-verkkoon ja etävalvomoiden yhteys toteutetaan internet-yhteyksillä. Internet-yhteydet pohjautuvat TCP/IP-protokollaan, joka mahdollistaa turvallisen yhteyden valvomoiden ja alakeskusten välillä. Hallintotasolla valvomot ovat rakennettu mahdollistamaan käyttäjien taloteknisten prosessien seuraamisen ja asetusarvojen muokkaamisen. (Härkönen ym. 2012: 93.)

Toinen päätaso on automaatiotaso, joka koostuu valvonta-alakeskuksista ja modulaarisista ala-asemista. Valvonta-alakeskukset sijoitetaan yleensä lämmönjako- ja IV-konehuoneeseen, josta ne ohjaavat ja säättävät lämmönjakopakettia sekä ilmanvaihtokoneita. Valvonta-alakeskukset ovat itsenäisiä järjestelmiä, jotka koostuvat CPU:sta, virtalähteestä, virtamuuntimesta ja IO-moduuleista. Automaatiotasolla valvonta-alakeskusten välinen kommunikaatio pohjautuu LAN-verkkoon, joka toteutetaan standardin mukaisella CAT 6 kaapelilla. Valvonta-alakeskusten keskinäisellä tiedonsiirtoprotokollan avulla voidaan siirtää esimerkiksi ulkolämpötilan mittaustieto valvonta-alakeskuksesta toiseen. Valvonta-alakeskuksen CPU:hun ohjelmoidut ohjelmat ohjaavat alakeskukseen liitettyjen IO-pisteiden välityksellä prosesseja halutulla tavalla. (Härkönen ym. 2012: 94.)

Kolmas päätaso eli kenttätaso koostuu antureista ja muista kenttälaitteista. Anturit ja toimilaitteet sijaitsevat talotekniikan laitteissa kuten IV-koneessa, lämmönjakopaketissa, vedenjäähdytyskoneissa tai huoneistokohtaisissa säätöjärjestelmissä. Kenttätasolla voi olla myös muita IO-moduuleja, jotka on integroitu muihin taloteknisiin laitteisiin. Valvonta-alakeskuksen ja hajautettujen IO-moduulien välinen kommunikaatio pohjautuu kenttäväyliin, kuten ModBus-, Lon- tai KNX-väyliin. Valvonta-alakeskusten ja kenttälaitteiden välinen yhteys toteutetaan parikaapelilla. Venttiileitä ja säätöpeltejä voidaan säätää mittausantureiden perusteella. Valvonta-alakeskuksen ohjelmat vertaavat mittaustietoja käyttäjän asettamiin asetusarvoihin ja säättävät toimilaitteita sen mukaan. Valvonta-alakeskukset saavat myös hälytys- ja käyntitilatietoja kenttälaitteista, joiden mukaan käyttäjän on mahdollisuus reagoida nopeasti. Valvonta-alakeskuksista voidaan ohjata ON/OFF-tyyppisiä toimilaitteita, joita halutaan ohjata joko päälle tai pois. (Härkönen ym. 2012: 95.) Kuvassa 1 on esitetty rakennusautomaation hierarkia, johon lukeutuu Hallintoautomaatio- ja kenttätaso.



Kuva 1. Rakennusautomaation hierarkia

Kiinteistön hajautettu automaatiikka edellyttää valvomon, valvonta-alakeskuksen ja kenttätason keskinäisen kommunikoinnin. Hajautettu järjestelmä mahdollistaa turvallisen ja varman toiminnollisuuden. Hajautetun järjestelmän osa-alueet pystyvät toimimaan itsenäisesti, vaikka jokin rakennusautomaation osa vikaantuu.

2.2 Moduulit

Valvonta-alakeskus koostuu IO-moduuleista, jotka asennetaan valvonta-alakeskuksen DIN-kiskoon. IO-moduulit ovat eritelty pistetyypeittäin tai ne voivat olla yhdistelmäkortteja. Valvonta-alakeskuksen IO-moduulit liitetään CPU-korttiin valvonta-alakeskuksen omalla tiedonsiirtoväylällä, jonka kautta IO-pisteet saavat erilaisia käskyjä. IO-moduuli koostuu 8–40 fyysisestä pisteestä, joihin liitetään talotekniikan kenttälaitteet kaapeleiden avulla. Valvonta-alakeskus koostuu jopa useista sadoista hälytys-, ohjaus-, mittaus- ja säätöpisteestä, jotka mahdollistavat tehokkaat nykyaikaiset suorittimet. Valvonta-alakeskus koostuu fyysisistä ja ohjelmallisista pisteistä. Talotekniikan fyysiset mitta- ja kenttälaitteet liitetään valvonta-alakeskusten IO-moduuleihin. Esimerkiksi IV-koneen tuloilman lämpötilatieto liitetään valvonta-alakeskuksen fyysiseen IO-pisteeseen, jolloin IV-koneen lämmityspatteria säädetään fyysisen IO-pisteen kautta. Lämmityspatteria säädetään kuitenkin myös lämpötilan asetusarvon perusteella, joka on ohjelmallinen eli fiktiivinen piste. (Härkönen ym. 2012: 102.)

2.2.1 Digitaalinen tulo

Digitaaliset sisääntulot perustuvat kosketintietoihin, jotka koostuvat hälytys- ja tilatiedoista. Digitaalisista sisääntuloista käytetään nimitystä DI (Digital Input). Digitaalinen tieto on päälle/pois-tietoa eli binääristä tietoa. Kenttälaitteen kosketin voi olla joko NO (Normal open) -tai NC (Normal closed) -asennossa. Nämä määritelmät ilmaisevat koskettimen asentoa normaalissa tilanteessa. Tällöin järjestelmä pystyy tunnistamaan kenttälaitteen koskettimen tilatiedon, oikosulun tai kaapelin rikkoutumisen. Laitteiden Indikoinnit ja hälytykset liitetään DI-pisteeseen. Esimerkiksi painehälyttimet tai puhaltimien käyntitilatiedot liitetään DI-pisteisiin. DI-pisteen jännitetaso on 24–48 voltia. DI-korttiin voidaan liittää myös energia- ja kulutusmittareita, jotka lähettävät pulssitietoa. Mittarin kosketin antaa pulssitietoa määrättyä kulutusmäärää kohden, joka voidaan skaalata ohjelman avulla kulutustiedoksi. Esimerkiksi 1 pulssi = 10 litraa vettä. (Härkönen ym. 2012: 102–107.)

2.2.2 Digitaalinen lähtö

Digitaaliset ulostulot ohjaavat laitteita päälle tai pois. Nämä lähdöt ovat myös binääristä tietoa, jotka antavat on/off tyyppistä tietoa. Digitaalisista ulostuloista sanotaan nimitystä DO (Digital Output). DO-pisteet koostuvat releistä, joihin voidaan liittää enintään 230 V jännitettä. Näillä pisteillä voidaan antaa käyntikäskyjä kiertovesipumpuille tai puhaltimille. Niillä voidaan myös ohjata valaistuksia tai muita sähkölaiteita. (Härkönen ym. 2012: 102–107.)

2.2.3 Analoginen tulo

Analogiset sisääntulot mittaavat analogista tietoa talotekniikan kenttälaitteilta. Analoginen tieto ilmoitetaan desimaalilukuina. Analogisesta sisääntulosta sanotaan nimitystä AI, joka tulee sanoista Analog Input. Lämpötila-, paine- ja muut mittausturit antavat mittaustiedon analogisena. AI-korttiin voidaan liittää antureita, joiden mittaussignaali on joko vastusmittausta, 0–10 VDC:n jänniteviestiä tai 4–20 mA:n virtaviestiä. Vastusarvoja mittaavat anturit ovat yleensä lämpötila-antureita. 0–10 VDC:n jänniteviestillä toimivat anturit ovat usein paine- tai virtausantureita. 4–20 mA:n virtaviestillä toimivia antureita käytetään erittäin harvoin. Nämä anturit ovat useimmiten teollisuudessa käytettäviä pitoisuusantureita. (Härkönen ym. 2012: 102–107.)

2.2.4 Analoginen lähtö

Analogiset ulostulot lähettävät säätöviestejä kenttälaitteille analogisessa muodossa. Analogisista ulostuloista käytetään nimitystä AO (Analog Output). Venttiilit, säätöpellit ja taajuusmuuttajalla varustetut puhaltimet liitetään valvonta-alakeskuksen AO-pisteisiin. Kenttälaitteita säädetään useimmiten 0–10 VDC:n tai 2–10 VDC:n jännitteellä. AO-piste mahdollistaa sen, että venttiili voidaan asettaa 50 % auki-asentoon, jolloin AO-kortti syötää toimilaitteelle 5 VDC jännitettä. (Härkönen ym. 2012: 102–107.)

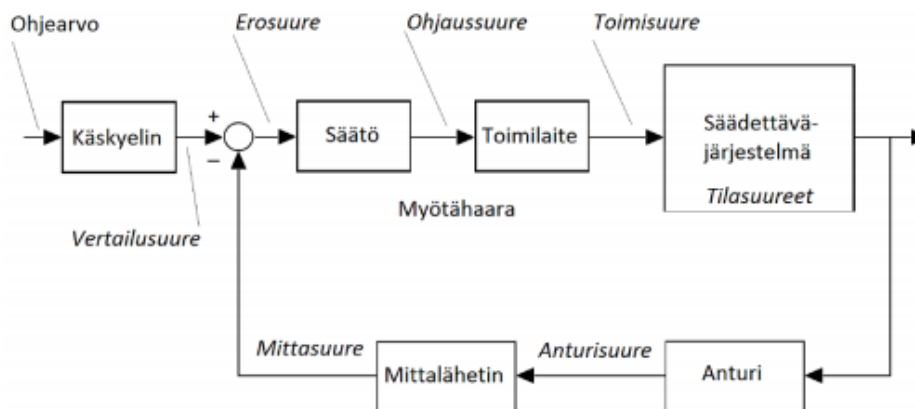
3 Ulkolämpötilan kompensointi

3.1 Säädin

Säätötekniikalla on erittäin tärkeä merkitys talotekniikan järjestelmien toimivuuden kannalta. Hyvin toimiva säädin on merkittävä tekijä parantamaan sisäilman olosuhteita ja rakennuksen energiankulutusta. Ilmanvaihtokoneista ja lämmitysjärjestelmistä löytyy lukuisia säätimiä, joilla voidaan säätää lämpötilaa, virtausta tai painearvoa. (Härkönen ym. 2012: 55.)

Säätimen tehtävänä on pitää mitattu arvo halutussa asetusarvossaan. Säätöjärjestelmän perusrakenne on säätöpiiri. Suljettu säätöpiiri syntyy, kun säädettävän suureen mittauksen ja asetusarvon erotuksella eli eroviestillä ohjataan prosessia toimiyksikön välityksellä. Suljettu säätöpiiri sisältää myös takaisinkytkennän. Mikäli takaisinkytkentää ei ole, kyseessä ei ole suljettu vaan avoin säätöpiiri. Mitatun mittasuureen ja asetusarvon välisen erosuureen perusteella säädin tekee laskennan, jonka perusteella syntyy ohjaussuure. Ohjaussuure ohjaa toimiyksikköä eli esimerkiksi venttiiliä tai puhallinta. Toimisuure kertoo venttiilin asennon tai puhaltimen kierrosnopeuden. Tällä suljetulla säätöpiirillä säädetään säädettävää suuretta. Suljetun säätöpiirin takaisinkytkentä koostuu anturin aiheuttamasta anturisuureesta ja mittalähettimen antamasta mittasuureesta. Säätöpiirin oikean toiminnan kannalta takaisinkytkennällä on tärkeä merkitys. Anturi, joka mittaa haluttua arvoa voi olla väärin kytketty tai anturi voi olla epätarkka. Näissä tilanteissa syntyy merkittäviä poikkeamia, jolloin säätö on miltei mahdotonta. Kuvassa 2 on esitetty suljetun säätöpiirin toimintaperiaate, jonka perusteella säädin toimii. Se koostuu

säätimelle tulevasta mittaustiedosta, ohjearvon erosuureesta ja ulostulevasta ohjauksuureesta, mikä välitetään toimilaitteelle. (Härkönen ym. 2012: 56.)



Kuva 2. Säätimen toimintaperiaate

3.2 Lämpökäyrän määrittäminen

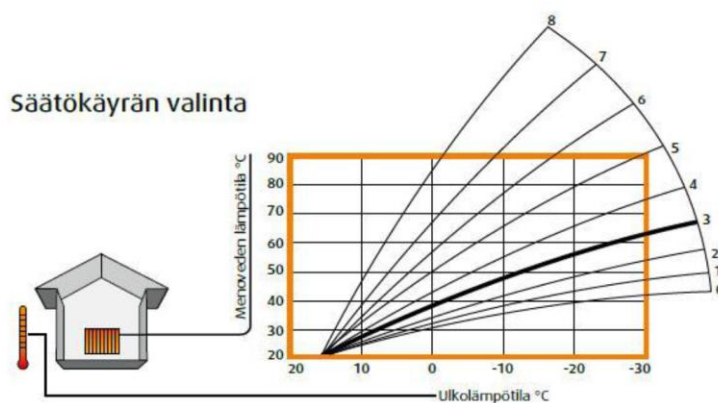
Kiinteistöjen lämmitysenergia voidaan tuottaa monella eri tavalla. Suurten kiinteistöjen yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Omakotitaloissa käytetään myös sähkö- tai öljylämmitystä sekä erilaisia lämpöpumppuja. Kaikki eri lämmitysmuodot sisältävä automaatiikka, jonka avulla lämpöä tuotetaan mahdollisimman energiatehokkaasti. Tässä työssä tulen vertailemaan kahta kiinteistöä, jossa lämmitysenergian tuotto on toteutettu kaukolämmöllä. (Suomäki & Vepsäläinen 2013: 9.)

Kaukolämpöjärjestelmä koostuu lämmönjakopaketista, jossa on useita lämmönsiirtimiä. Käyttövesisiirrin, patteriverkoston lämmönsiirrin ja ilmanvaihdon lämmitysverkoston lämmönsiirrin sisältävät säätimen, jolla voidaan säätää verkostoon menevää nesteen lämpötilaa.

Normaalisti rakennusten patteriverkoston tai ilmanvaihdon lämmitysverkoston veden lämpötila määräytyy ulkolämpötilan perusteella, jolloin säätimelle syötettävä asetusarvo muuttuu ulkolämpötilan mukaan. Ulkolämpötilakompensoidussa säädössä ulkolämpötila-anturi mittaa ulkolämpötilaa, jonka perusteella lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa ohjataan. Tästä syntyy lämpökäyrä, jota voidaan muokata käyttäjän haluamalla tavalla. (Suomäki & Vepsäläinen 2013: 9.)

Lämmityksen säädön perustavoitteena on pitää sisäilmanlämpötila halutussa arvossa niin, että asukkailla on mahdollisimman hyvät ja viihtyisät olosuhteet. Ulkolämpötilakompensoinnilla voidaan hakea optimaaliset sisäolosuhteet ulkolämpötilan perusteella, mutta tässä säätötavassa ei kuitenkaan huomioida rakennuksessa syntyviä, sähkölaitteiden ja ihmisten aiheuttamia sisäisiä lämpökuormia tai auringon säteilyn ja tuulen aiheuttamia ulkoisia lämpökuormia.

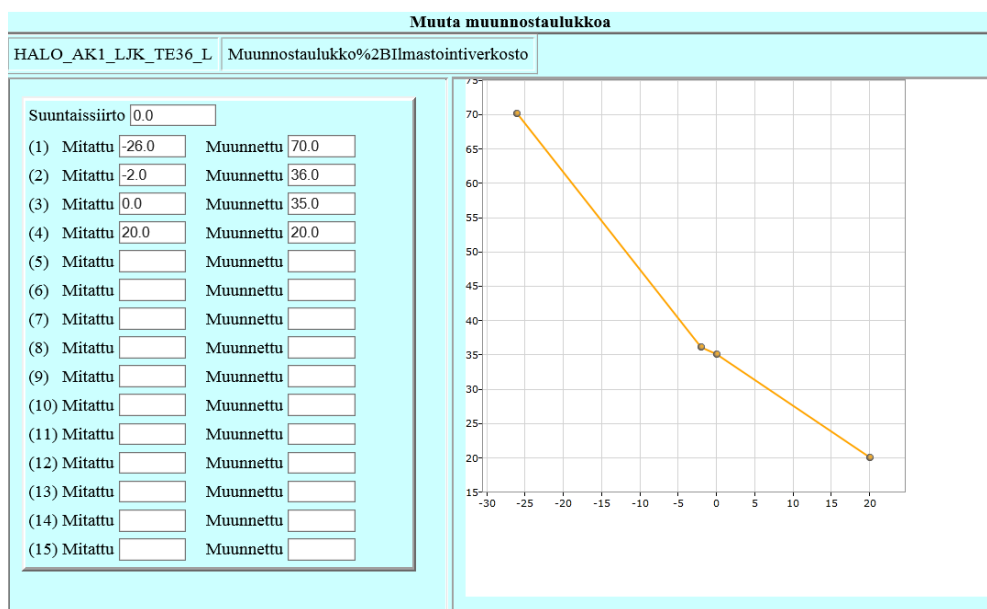
Lämmitysverkoston säätimissä käytetään usein lineaarista lämpökäyrää. Lämpökäyrä määritetään käyttäjän tarpeen mukaan niin, ettei rakennuksen tiloissa ole kylmä eikä kuuma sää olosuhteista riippumatta. Yleisimmin muutetaan säätökäyrän jyrkkyyttä tai sen suuntaissiirtoa. Huonelämpötilojen ollessa liian korkeat kovilla pakkasilla valitaan loivempi säätökäyrä. Tässä tilanteessa lämpimällä ilmalla menoveden lämpötila pysyy edelleen samana kuin aikaisemmin, joten menoveden lämpötila laskee vain kylmällä ilmalla. Mikäli huoneen lämpötila on liian alhainen kovilla pakkasilla, valitaan jyrkempi säätökäyrä. Jos huonelämpötilat ovat liian korkeat leudon sää aikana, suuntaissiirretään käyrää alaspäin eli valitaan pienempi säätökäyrä. Tämän jälkeen säädetään käyrän jyrkkyyttä niin, että menoveden lämpötilan asetusarvo on edelleen halutulla tasolla myös kovilla pakkasilla. Mikäli huonelämpötilat ovat liian matalat leudon sään aikana, tehdään suuntaissiirto nostamalla käyrää ylöspäin eli valitaan suurempi säätökäyrä. Tämän jälkeen säädetään käyrän jyrkkyyttä alaspäin niin, että menoveden lämpötila on edelleen sopiva myös kovilla pakkasilla. Näillä toimenpiteillä voidaan valita mahdollisimman hyvät sisäolosuhteet huoneistoissa. (Seppänen 1995: 185–186.) Kuvassa 3 on havainnollistettu lämpökäyrään vaikuttavat tekijät ja käyrävaihtoehdot. Kuvassa on myös käyriä, joita muuttamalla voidaan säätää käyrän jyrkkyyttä.



Kuva 3. Säätökäyrän säätäminen

Fidelix Oy:n rakennusautomaatiojärjestelmän digitaalinen säätökäyrä mahdollistaa kuitenkin ei-lineaarisen lämpökäyrän, jolloin halutun lämpötilan saavuttaminen on tarkempaa. Käyrä muodostetaan muunnostaulukon arvoista, jossa jokaiselle ulkolämpötilalle on syötetty haluttu menoveden lämpötilan asetusarvo. Digitaaliset säätimet mahdollistavat tarkemman säädön, jolla saadaan energiakulutusta laskettua merkittävästi.

Patteri- ja lattialämmitysverkoston ulkolämpötilakompensoinnin oletuskäyrän maksimi- ja minimilämpötilat arvioidaan kokemuksen mukaan. Yleensä maksimi lämpötilaksi kovalla pakkasella valitaan patteriverkoston mitoituslämpötila ääriolosuhteissa. Mitoituslämpötilojen ollessa 70/40 °C maksimilämpötilaksi valitaan 70 °C ja minimilämpötilaksi yleensä 20 °C. Matalalämpötila verkostoissa, joissa mitoituslämpötila on 40/30 °C, maksimilämpötilaksi valitaan 40 °C ja minimilämpötilaksi valitaan 20 °C. Maksimi- ja minimilämpötilat yhdistetään, jolloin syntyy lineaarinen säätökäyrä. Kuvassa 4 on havainnollistettu Fidelix Oy:n rakennusautomaatiojärjestelmän muunnostaulukko, jossa lämpökäyrä on muodostettu taulukosta saatujen arvojen perusteella. Muunnostaulukon avulla käyrästä on tehty tarpeen mukainen. (Linna 2016.) Kuvasta havaitaan, että nollakelillä ei tarvita niin kuumaa vettä, kuin lineaarinen käyrä vaatisi.



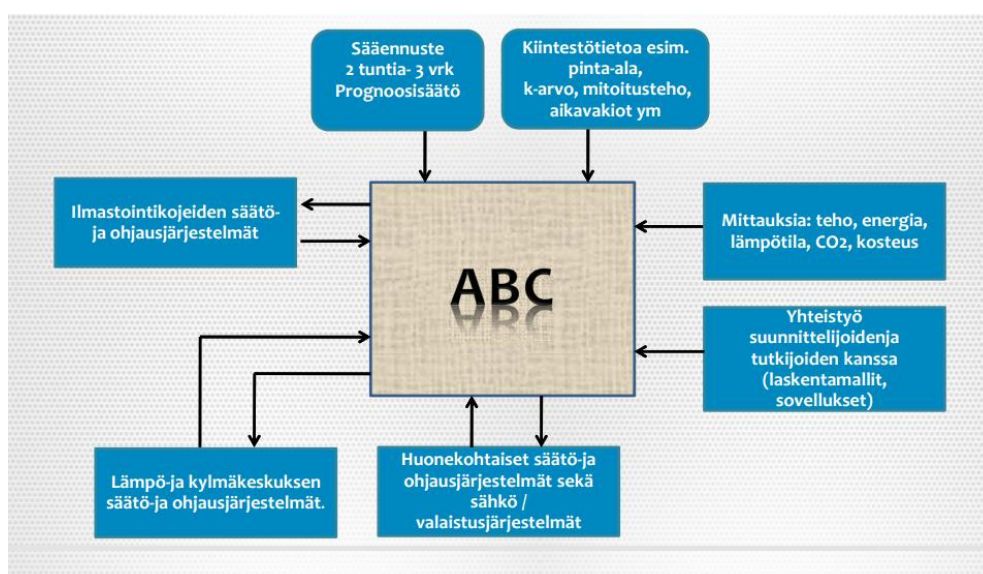
Kuva 4. Fidelix-järjestelmän muunnostaulukko

Jos ilmastointikoneessa on käytössä vesikiertoinen lämmityspatteri, sille tulee tuottaa lämmintä vettä kiinteistön lämmitysjärjestelmän kautta. Kaukolämpöpaketti koostuu

myös ilmanvaihdon lämmitysverkoston siirtimestä, jossa säädin säätää ilmanvaihtoverkostoon menevän lämpimän veden lämpötilaa oman säätökäyrän perusteella. Säätökäyrä valitaan yleensä niin, että menoveden lämpötila on 10–20 °C korkeampaa kuin patteriverkostossa. Tämä on järkevää vain silloin, jos ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottolaitteiston hyötysuhde on heikko, jolloin lämmöntalteenotolla ei saada lämmitettyä tarpeeksi tuloilmaa.

4 ABC -adaptiivinen säätö

Ajatteleva automaatio eli ABC (Adaptive Building Control) on Fidelix Oy:n kehittämä säästöstrategia, joka pienentää energialaskua ja CO₂ -päästöjä samalla, kun kiinteistön käyttökate paranee. ABC-konsepti on kehitetty rakennuksen energiankulutuksen sääntöön. ABC-konsepti säätää rakennuksen automatiikkaa myös tuulen, auringon säteilyn, sisälämpötilan, hiilidioksidipitoisuuksien ja rakennuksen sisäisten lämpökuormien perusteella. ABC-konsepti pystyy myös ennakoimaan rakennuksen lämpötasapainoon sääennustuksiin perustuen, jolloin rakennusta lämmitetään todellisen lämmöntarpeen mukaan. ABC-konseptilla pyritään optimoimaan energiankulutusta pattereiden- ja ilmanvaihtojärjestelmien lämmitysverkostossa sekä optimoimalla ilmanvaihtokoneiden toimintaa. (Kuva 5.)

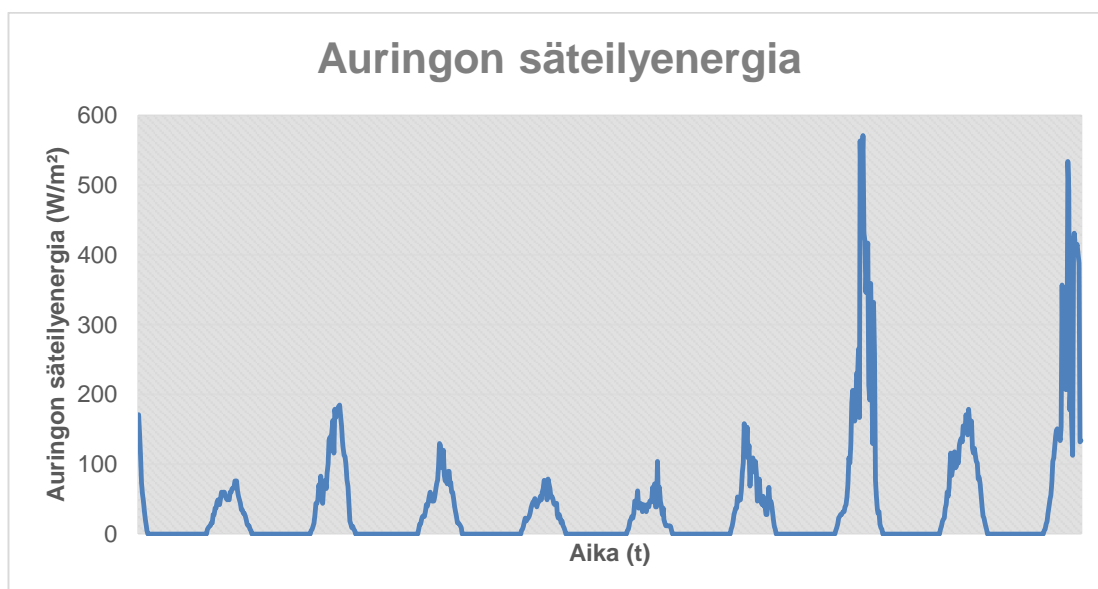


Kuva 5. ABC-konseptin rakenne

4.1 Vuodenaikojen ja vuorokauden muutokset

Rakennuksen todellinen energiantarve muuttuu vuodenaikojen ja vuorokauden muutosten myötä jatkuvasti. Keväällä ja kesällä auringon säteilyenergia on suurimmillaan, jolloin auringosta saadaan suuri määrä hyödynnettyä energiaa. Passiivisessa tekniikassa auringon säteilyenergian hyödyntäminen edellyttää ikkunoiden suuntaamisen siten, että rakennuksen lämmitysenergian käyttöä voidaan vähentää. Rakennuspaikan sijainti on myös merkittävä tekijä energiasäästön kannalta. Rakennuksen vaippa varastoi lämpöä, jolloin lämmitysenergian tarve on pienempi. (Seppänen 1995: 335, 411.)

ABC-konsepti vaatii sääaseman, joka asetetaan rakennuksen katolle. Sääasema mittaa auringon säteilyenergiaa ja tuulen nopeutta, joista saadaan kerättyä analogista tietoa rakennusautomaatiojärjestelmään. Auringon säteilyenergian perusteella voidaan kompensoida menoveden lämpötilaa niin, että aurinkoisina päivinä ja -vuodenaikoina saadaan hyödynnettyä mahdollisimman suuri määrä auringon aiheuttamaa ilmaisenergiaa. Kuvassa 6 on havainnollistettu auringon säteilyenergian muutoksia kahden viikon ajalta Plaza Halossa, jonka perusteella lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa säädettiin. Auringon säteilyenergian ollessa korkealla ABC-konsepti käyttää hyödyksi auringosta saatavaa lämpöenergiaa, jolloin se pudottaa menoveden lämpötilaa tarpeeksi alhaiseksi.

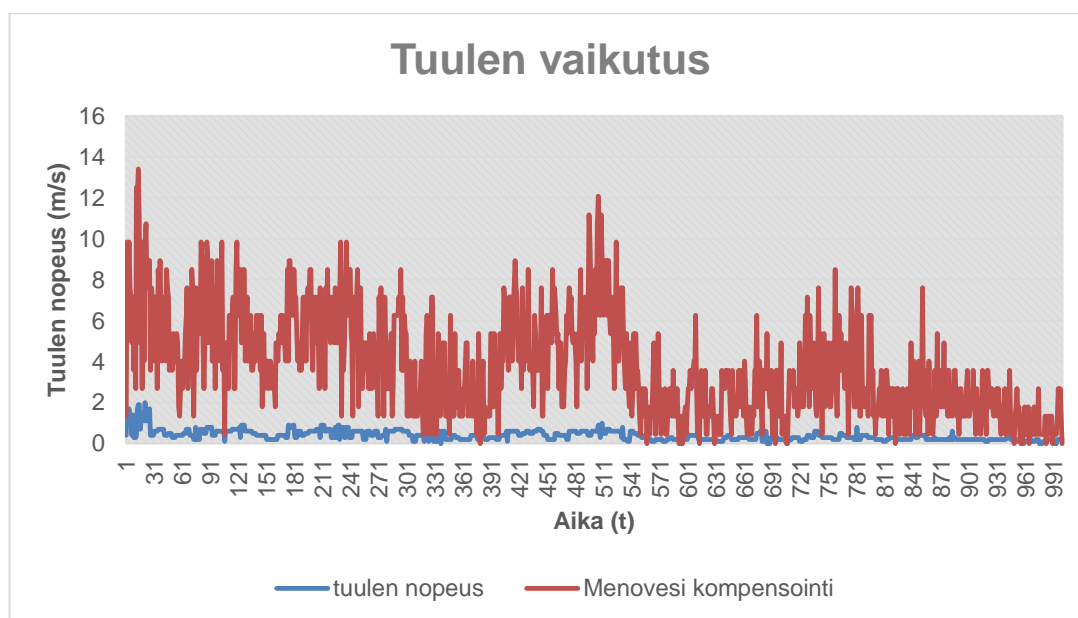


Kuva 6. Auringon säteilyenergian määriä Plaza Halossa Vantaalla

Tuulen vaikutus rakennuksen energiantarpeeseen on merkittävä tekijä. Tilastojen mukaan, kun ulkolämpötila on lähellä nollaa, ulkona tulee ja sataa. Tämä aiheuttaa suhteessa suurempia lämpöhäviöitä, kun taas pakkaspäivät, jolloin ei tuule eikä sada. Rakennuksen sisäilmaston olosuhteiden parantamisen kannalta tuulen vaikutus on oleellista ottaa huomioon myös lämmitysjärjestelmän säädössä. (Liedes 2013.)

Tuulen vaikutus rakennuksen energiankulutuksessa on erittäin vaikea ottaa huomioon. Tuulen nopeuden arviointiin voidaan käyttää yksinkertaista mallia, jossa tuulen nopeus mitataan havaintoasemalla räystäskorkeudelta. Tällaisia tuloksia voidaan käyttää vain havaintoasemien läheisyydessä erittäin tasaisessa maastossa. ABC-konseptiin liitettyllä sääasemalla voidaan kuitenkin mitata hetkellistä tuulen nopeutta ja -suuntaa, jolla voidaan parantaa patteriverkoston säädön tarkkuutta. Tuulisuuden mukaan voidaan nostaa lämpökäyrää niin, että patteriverkoston saadaan riittävästi lämpöä, jottei asukkaiden tarvitse tuntea kylmyyttä milloinkaan. (Seppänen 1995: 34.)

Kuvassa 7 on esitetty tuulen nopeuden muutokset kahden viikon aikana. Tuulisuuden kasvaessa rakennuksen ilmapuodot ovat suuremmat, jolloin lämpöenergiaa tarvitaan lisää. Menoveden lämpötilaa kompensoidaan tuulisuuden mukaan.



Kuva 7. Tuulisuudesta historiaseuranta, jota on mitattu ABC-konseptiin liitettyllä sääasemalla

Rakennuksen sisäisiä lämpökuormia syntyy ihmisistä, valaistuksesta ja kiinteistön sähkölaitteista. Lämpökuormien vaikutus vaihtelee tilakohtaisesti, mutta myös vuorokauden ajankohdan mukaan. Energiatalouden parantamiseksi on kiinnitettävä huomiota sisäisten lämpökuormien hyväksikäyttöön. Rakennuksen lämpökuormien hyödyntäminen edellyttää oikein toimivaa lämmityksen säätöjärjestelmää, jolloin lämmitystä voidaan laskea silloin, kun rakennuksen lämpökuormat ovat suurimmillaan. (Seppänen 1995: 411.)

Yhden henkilön aiheuttama lämpöenergia on keskimäärin 85 W, joten rakennuksen henkilömäärän perusteella voidaan arvioida ihmisistä aiheutuva hetkellinen lämpömäärä. Valaistusten ja sähkölaitteiden ottamasta sähkötehosta voidaan laskea myös hetkellinen lämpömäärä, joiden perusteella voidaan minimoida rakennuksen lämmitystarvetta. ABC-konsepti perustuu hetkelliseen sähkötehon mittaamiseen, joka saadaan luettua kiinteistön sähkömittarilta. Toimiston sähkönkulutus on suurimmillaan päivällä, kun kiinteistön käyttöaste on suurimmillaan ja pienin yöllä, kun toimistossa ei ole toimintaa. Sähkönkulutuksen perusteella voidaan arvioida lämpökuormien aiheuttama lämpöenergia, jolla lasketaan sen hetkistä patteriverkoston menoveden lämpötilaa. (Rakennuksen lämmitysenergian ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012.)

ABC-konsepti sisältää myös yöaikaisen lämpökäyrän kompensoinnin. Valvonta-alakeskukseen ohjelmoidaan aikaohjelma, jonka perusteella voidaan pudottaa ABC-konseptin pohjalla olevaa lämpökäyrää. Vuorokauden ajankohtaan perustuvalla lämmönsäädöllä pyritään säästämään energiaa. Jaksottaisen lämmityksen tavoite on lämpömäärän pienentäminen. Toimistoissa, kouluissa ja päiväkodissa ei ole jatkuvaa toimintaa, joten rakennusta on turha lämmittää yöaikaan. Viihtyisiä lämpöoloja pidetään vain rakennuksen käyttöjakson aikana.

Adaptiivisen säädön keskeisin osa-alue on ennakointi. Sääennusteilla voidaan ennakoita rakennuksen lämmöntarvetta vertaamalla ennustettavaa lämpötilaa nykyiseen lämpötilaan. Fidelix Oy:n rakennusautomaatiojärjestelmä lukee säätietoja palveluntarjoajan kautta.

Raskarakenteisissa kerrostaloissa ja toimistorakennuksissa suuren lämpökapasiteetin vuoksi sisälämpötila ei seuraa lämmitystehossa tapahtuvia muutoksia välittömästi, vaan siinä on viivettä. Lämpökapasiteetin avulla saadaan laskettua rakennuksen aikavakio eli

lämmönvarastointikyky. Raskasrakenteisissa rakennuksissa lämpötilamuutokset tapahtuvat hitaammin kuin kevytrakenteisissa rakennuksissa, jolloin ennakointi on oleellista, jotta sisäolosuhteet voidaan pitää miellyttävinä. Lämmitystarpeen ennakkoinnin kannalta on tärkeää tietää rakennuksen aikavakio. ABC-konseptin ennakointia varten menoveden lämpötilan asetusarvon muutoksien nopeuteen vaikuttaa merkittävästi rakennuksen aikavakio, mikä on laskettu liitteessä 1 kaavalla 1 ja 2. (What's the time constant of the building 2015.)

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}} \quad (1)$$

τ on Rakennuksen aikavakio, h
 C_{rak} on Rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K
 H_{tila} on Rakennuksen tilojen tehollinen ominaislämpöhäviö, W/K

$$C_{rak} = C_{rak\ omin} A_{lämm\ netto} \quad (2)$$

$C_{rak\ omin}$ on Rakennuksen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvo, Wh/mK (rakennusmääräyskokoelma, osa D5 taulukko 5.6.)
 $A_{lämm\ netto}$ on Rakennuksen lämmitetty nettopinta-ala

4.2 Lämmityspiiri

ABC-konseptin toiminta patteriverkostossa kohdistuu menoveden lämpötilan optimointiin. Lämmitysverkoston adaptiivisen säädön pohjalla on sama ulkolämpötila perusteinen muunnostaulukko, jota käytetään myös normaalissa säätöjärjestelmässä. Patteriverkoston menoveden lämpötilan asetusarvo muuttuu jatkuvasti ennakkoinnin ja muiden ulkoisten tekijöiden mukaan.

Menoveden lämpötilan asetusarvoa optimoidaan sisäisten lämpökuormien, rakennuksen hetkellisen sähkötehon, sisälämpötilan ja sääasemasta saatujen tuulisuuden ja auringon säteilyenergian muunnostaulukoiden perusteella.

ABC-konsepti kompensoi lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa, mutta samalla myös valvoo sisäilmanlämpötilaa. Automaatiojärjestelmä tarkkailee kiinteistön huone-

lämpötilamittausten perusteella sisälämpötilaa ja kompensoi samalla verkoston säätökäyrää absoluuttisesti. Menoveden lämpötilakäyrän poikkeutukselle asetellaan prosentuaalinen maksimipoikkeama peruskäyrästä ylös ja alaspäin. Sisälämpötilamittaukset estävät liiallisen käyrän poikkeutuksen, vaikka muut kompensoinnit sitä vaatisivat, jolloin sisäilma pysyy halutussa arvossaan. Järjestelmä poimii kylmimmän ja kuumimman huone-tilan kiinteistössä ja huolehtii, että kaikki mittaustiedot pysyvät vaaditulla alueella.

4.3 IV-koneen säätöominaisuudet

ABC-konsepti tarkkailee ilmastointikoneiden lämmityspattereiden säätöventtiileitä pyrkien pitämään eniten auki olevan venttiilin asetusarvossa 80 %. ABC-konsepti kompensoi lämpökäyrää automaattisesti niin, että venttiili pysyy asetusarvossaan. Käyrän kompensoinnille asetetaan yläraja- ja alaraja-arvot, jotta kylmimmän patterin lämpötila ei pääsisi kuitenkaan alittamaan aseteltua alarajaa. Poikkeutus asetetaan välittömästi nol-laksi, jos patterin paluueden lämpötila laskee liian alhaiseksi.

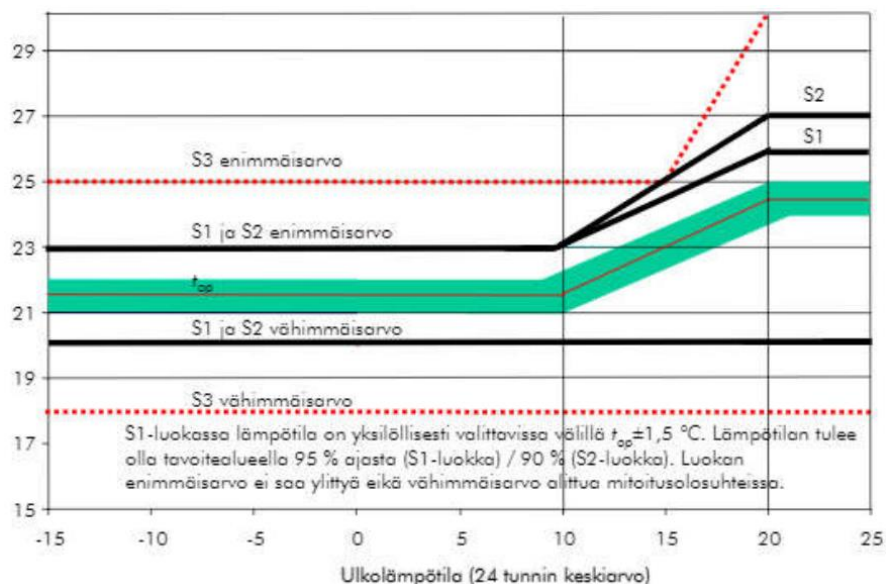
ABC-konseptissa IV-koneen lämpötilan säätö muutetaan poistoilmakaskadiksi, jolloin poistoilman asetusarvo pyritään pitämään sisäilmaluokitusten mukaisena. Tuloilmalle määritetään minimi- ja maksimiarvot, joita ABC-konsepti seuraa jäähdytys- ja lämmityskäytöllä. Kun jäähdytys kytkeytyy päälle niin jälkilämmitys tai LTO-patteri ei pyydä lämmitystä. Kone siirtyy lämmityskäytölle, kun kaikki jäähdytyspatterit ovat kiinni. ABC-konsepti määrittelee myös kiertoilmapeltien ja puhaltimen toimintaa hiilidioksidipitoisuuksien perusteella.

4.4 Yleiset laatuvaatimukset

Rakennuksen energiankulutuksen optimoinnissa on tärkeää tarkkailla myös laatuvaatimuksia, jotta olosuhteet pysyvät määräysten mukaisina. Sisäilmalle laaditut laatuvaatimukset ovat tärkein tekijä, kun optimoidaan rakennuksen energiankulutusta. Sisäilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden täytyy pysyä suunnitelluissa ja vaadituissa arvoissa.

Rakennuksen sisälämpötilalle on annettu tarkat raja-arvot, jotka täytyy toteutua jokaisessa kiinteistössä. Sisäilmalle on asetettu vaatimustasot LVI-kortissa, sisäilmaluokitus

2008, mikä käsittelee sisäilman tavoitearvoja, suunnitteluohjeita ja tuotevaatimuksia. Sisäilmaluokitukset ovat tarkoitettu käytettäväksi työ- ja asuin tiloihin, kuten asuinrakennuksiin, kouluihin, toimistoihin ja päiväkoteihin. Näitä luokituksia noudatetaan uudisrakentamisessa, mutta voidaan käyttää myös saneeraus- ja perusparannuskohteissa. Sisäilmaluokat ovat jaettu kolmeen osaan, jotka ovat S1, S2 ja S3. Sisäilmaluokitus ei ole viranomaisohje vaan se on suunnittelijoiden laatima tavoitearvo, joka on omistajien ja asiakkaiden välisissä sopimuksissa erikseen mainittu. Sisäilmaluokka S1 on vaativin ja S3 on heikoin. Sisäilmaluokka S3 toteuttaa kuitenkin rakennusmääräyskokoelmassa vaaditut vähimmäis- ja enimmäisvaatimukset. Kuvassa 8 on esitetty sisäilmaluokat S1, S2 ja S3. Sisäilmaluokituksen enimmäis- ja vähimmäisarvot kuvaavat sisälämpötilan raja-arvoja, joiden rajoissa kunkin luokituksen mukaan täytyy pysyä. (Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto 2008.)



Kuva 8. Sisälämpötilan raja-arvot, jotka on laadittu sisäilmaluokitus 2008:n mukaan

Sisäilmaluokituksissa on määritetty myös raja-arvot hiilidioksidipitoisuuksille. Nämä arvot on hyvä huomioida ABC-konseptin mukaisessa IV-koneen ilmavirtojen säädössä. Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D2 ohjeistetaan, että hiilidioksidipitoisuus saa olla enintään 1200 ppm. Tätä määräystä noudattaa sisäilmaluokitus S3. Hiilidioksidipitoisuuksille on myös luokitukset S1 ja S2, joita voidaan noudattaa, jos suunnittelija on suunnitelmissaan siitä erikseen maininnut. (Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto 2008.)

5 Energiakulutuksen vertailu

Työssäni oli tarkoituksena tehdä myös energiankulutuksen vertailuja ABC-konseptin ja normaalin säätömenetelmän välillä. Valitsin työhöni kaksi vierekkäistä toimistorakennusta: Plaza Business Park Halo ja Tuike. Toimistorakennuksissa oli jo ennestään Fidelix Oy:n rakennusautomaatiojärjestelmä, mikä mahdollisti lopputyön toteuttamisen. Ohjelmoin Plaza Business Park Haloon ABC-konseptin, ja Tuike jätettiin toimimaan normaalin säätömenetelmän mukaan. Kohteiden talotekniikan aikaohjelmat ja asetusarvot säädettiin keskenään identtisiksi mahdollistaakseen energiavertailuja.

Ennen kohteiden valintaa selvitin rakennusten energiantarpeet ja muut taloteknisiin järjestelmiin liittyvät tiedot energiatodistuksista, joiden perusteella Halo ja Tuike valittiin piilottikohteiksi.

Toimistorakennukset sijaitsevat Vantaalla Äyritiellä, ja rakennukset ovat valmistuneet vuonna 2014. Optiplan Oy:n laatimien energiatodistusten mukaan kummankin rakennuksen energiatehokkuusluku on 93 kWh/brm²/vuosi. Energiatodistuksen mukaan lämmitysenergiankulutus on Halossa 426 166 kWh/vuosi ja Tuikkeessa 409 526 kWh/vuosi. Rakennukset ovat lähes identtiset, mutta eroavaisuutta on hieman bruttoneliöistä johtuen. Toimistorakennus Halon bruttopinta-ala on 8 016 brm² ja Tuikkeen pinta-ala on 7 467 brm². Energiatodistuksesta selvisi myös, että rakennusten yläpohjan, alapohjan, seinien, ikkunoiden ja ovien pinta-alat eivät olleet yhdenvertaiset, joten Halon suuremman pinta-alan takia voimme olettaa, että Halon energiatarve on patteriverkostossa suurempi kuin Tuikkeen patteriverkostossa. Toimistorakennusten talotekniset järjestelmät ovat muuten identtiset, mutta Tuikkeessa on yksi ilmanvaihtokone vähemmän, kuin Halossa. Toimistorakennusten sisäisiä lämpökuormia oli erittäin vaikea arvioida keskenään, joten rakennusten energianvertailu suoritettiin vertailemalla rakennuksien todellisia energiakulutuksia ennen ABC-konseptin käyttöön ottoa ja ABC-konseptin käyttöönoton jälkeen.

Työn tarkoituksena oli verrata energiankulutuksia patteriverkostossa ja ilmanvaihdon lämmitysverkostossa sekä kokonaislämpöenergian kulutuksessa. Molemmissa rakennuksissa oli kyseisille verkostoille omat lämmönsiirtimet. Fidelix Oy:n rakennusautomaatioon oli liitetty patteriverkoston ja ilmanvaihdon lämmitysverkoston meno- ja paluuveden lämpötila-anturit, joiden perusteella lämpötilatietoja saatiin kerättyä historiaseurantaan.

Rakennusautomaatioon oli liitettynä valvomo, jonka historiaseurantaan lisättiin tarvittavien mittauspisteiden tiedot.

Rakennusautomaatiojärjestelmään ei ollut liitetty patteriverkostojen ja IV-lämmitysverkoston virtausantureita, joten virtaamien historiaseuranta oli mahdotonta. Lämmitysverkostojen virtaamat mitattiin Metropolialta saadun virtausmittarin avulla verkostojen linjasäätöventtiilistä. Virtaamien mittaukset suoritettiin yhdellä kerralla, koska jatkuva virtaamien mittaaminen olisi vaatinut virtausmittarin jokaisen kaukolämpösiirtimen toisipuolen linjasäätöventtiiliin. Tarkempien virtausmittauksien seurantaan olisi tarvittu neljä virtausmittaria, ja jokaiseen virtausmittariin olisi täytynyt liittää dataloggeri, jolla virtaaman muutokset olisi voitu tallentaa kuukauden ajalta. Oletan työssäni, että yhdellä kerralla mitatut vesivirtaamat ovat suuntaa antavia ja kertovat riittävän tarkan lopputuloksen patteriverkoston ja IV-verkoston energiankulutuksen mittaamisessa.

5.1 Patteriverkosto

Toimistorakennusten patteriverkostojen kuluttama energia mitattiin maaliskuun ajalta, jona aikana tarvittavat tiedot tallennettiin valvomon historiaseurantaan. Patteriverkoston meno- ja paluueden lämpötilatiedot mitattiin 15 minuutin välein. Toimistorakennusten patteriverkoston liitettiin virtausmittari, jolla mitattiin patteriverkoston hetkellistä virtausta. Virtausmittari liitettiin verkoston linjasäätöventtiiliin, josta saatiin mitattua hetkellinen virtaama KV-arvon ja venttiilin paine-eron perusteella.

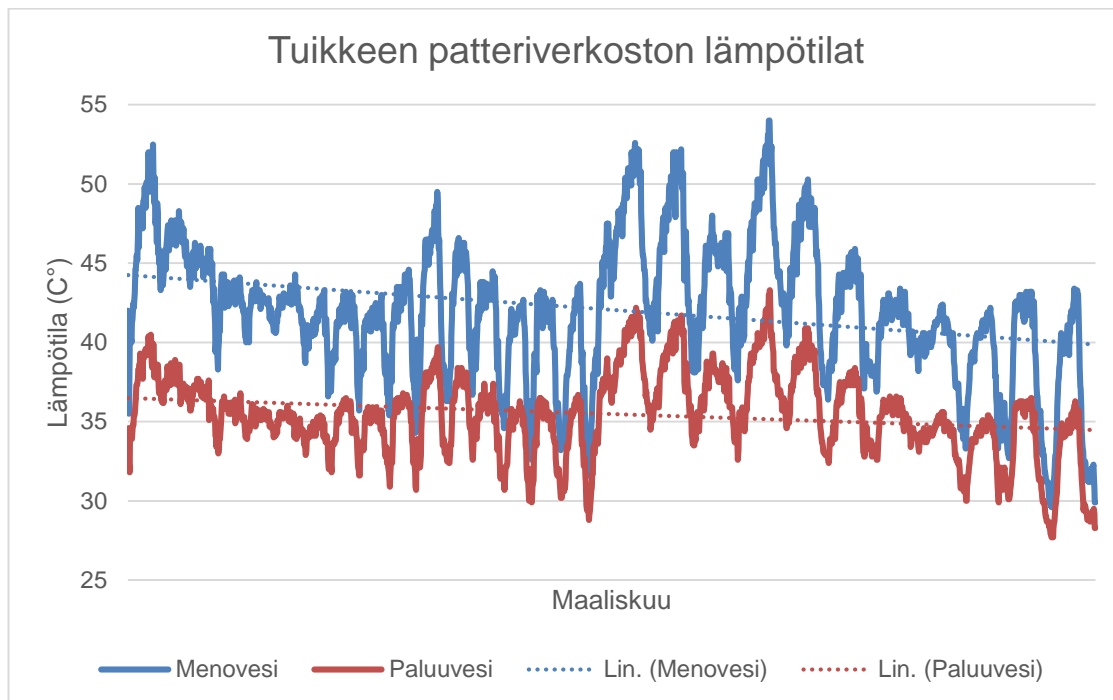
Toimistorakennus Halon menoveden lämpötila säätyi valvonta-alakeskukseen ohjelmoidulla ABC-konseptilla ja Tuikkeen menoveden lämpötila säätyi pelkän ulkolämpötilan perusteella. Kuvassa 9 näkyy, miten menoveden lämpötila vaihtelee Halossa ulkolämpötilan ja muiden ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta. Patteriverkoston lämpötilan jatkuva muuttuminen johtuu ajan muutoksista. Kuvaajasta näkyy, miten meno- ja paluueden lämpötila laskevat päivisin, kun aurinko paistaa. Yöllä, kun kompensoivia tekijöitä ei ole niin paljon, menoveden lämpötila on huomattavasti korkeampi. Kuvaajan perusteella menoveden lämpötila on maaliskuun alussa noin 38 °C ja maaliskuun lopussa laskee jo lähelle 30 °C:ta. Paluueden lämpötila on maaliskuun alussa noin 30 °C, mutta laskee

maaliskuun loppuun mennessä 28 °C:seen. Patteriverkoston meno- ja paluueden lämpötilaeron keskiarvoksi laskettiin 7,7 °C. Lämpötilaeron keskiarvo laskettiin kunkin hetken lämpötilaerojen keskiarvon perusteella.



Kuva 9. Halon patteriverkoston lämpötilat maaliskuussa

Tuikkeen patteriverkoston lämpötila säätyi pelkästään ulkolämpötilan perusteella. Kuvassa 10 näkyy meno- ja paluueden lämpötilan muutoksen maaliskuun aikana. Kuvasta nähdään, että menovedenlämpötilat ovat huomattavasti korkeammat Tuikkeen patteriverkostossa Haloon patteriverkoston verrattuna. Tuikkeen patteriverkoston menoveden lämpötila on keskimäärin noin 48 °C maaliskuun alussa ja 44 °C maaliskuun lopussa. Paluueden lämpötila on 42 °C maaliskuun alussa ja 34 °C maaliskuun lopussa. Tuikkeen patteriverkoston meno- ja paluueden lämpötilan keskiarvoksi laskettiin 6,2 °C. Kuvasta nähdään myös, miten normaali säätömenetelmä eli pelkkään ulkolämpötilaan perustuva säätö muuttaa myös menoveden lämpötilan asetusarvoa jatkuvasti. Tuikkeen menoveden lämpötilan muutokset johtuvat ulkolämpötilan vaihtelusta. Yöllä, kun on kylmempi, menoveden lämpötila on korkeampi kuin päivällä.



Kuva 10. Tuikkeen patteriverkoston lämpötilojen muutokset

Patteriverkoston energiankulutus maaliskuulta laskettiin kaavalla 4 meno- ja paluueden lämpötilaerojen keskiarvon, tilavuusvirran, tiheyden, ominaislämpökapasiteetin ja ajan perusteella.

$$E = \Delta T * qv * \rho * c_p * \Delta t \quad (4)$$

ΔT	on meno- ja paluueden lämpötila ero, °C
qv	on veden tilavuusvirta, l/s
ρ	on veden tiheys, kg/m ³
c_p	on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/K*kg
Δt	on aika

Kuvien 9 ja 10 sekä lämpötilaerolaskelmien perusteella huomaamme, että patteriverkoston meno- ja paluueden lämpötila-erot ovat suurempia Halossa kuin Tuikkeessa. Halon patteriverkoston virtaama oli 0,83 l/s ja Tuikkeessa virtaama oli 0,77 l/s. Lämpötila-ero sekä virtaama olivat suurempia Halossa kuin Tuikkeessa, joten myös Halon energiankulutus oli suurempi patteriverkoston osalta. Patteriverkostossa tapahtuvaa energiansäätöä ei voitu selvittää suoraan laskennallisesti, koska rakennuksen sisäiset lämpökuormat, kuten henkilömäärän, valaisimien ja elektroniikan aiheuttamat lämpökuormat eivät

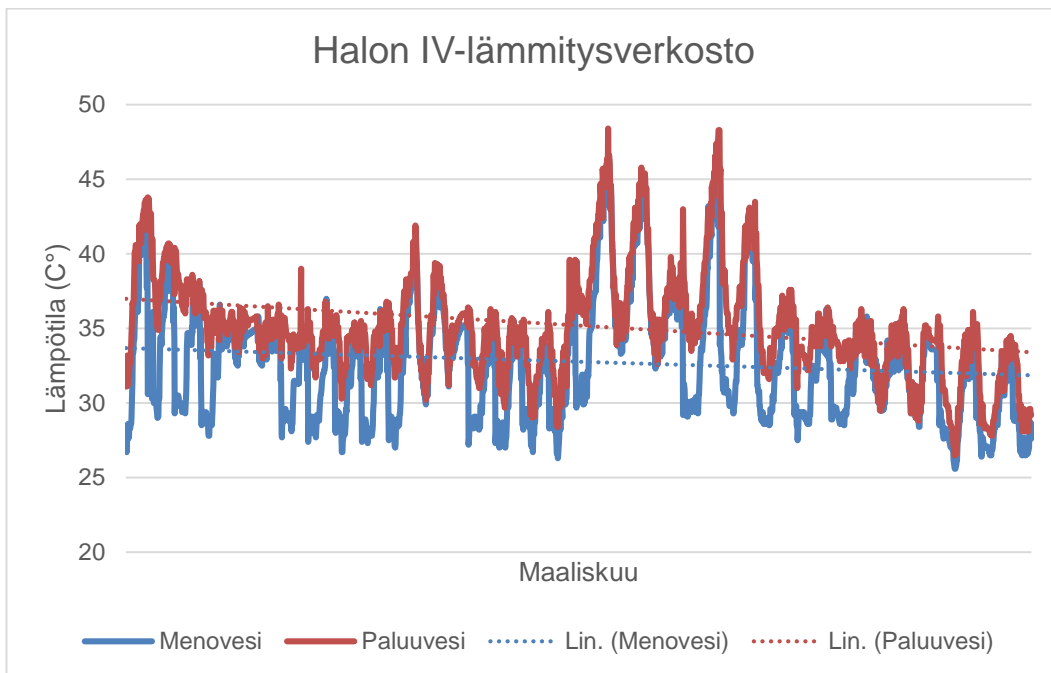
olleet yhtä suuria näissä rakennuksissa. Toimistorakennus Halon patteriverkoston energiankulutus laskettiin kaavalla 3, ja se oli maaliskuussa 20 MWh. Tuikkeen patteriverkoston energiankulutus oli 15,8 MWh. Energiatodistuksen mukaan Halon bruttopinta-ala on suurempi, mikä selittää halon patteriverkoston suuremman energiankulutuksen. Patteriverkostossa syntyneet energiasäästöt laskettiin liitteessä 2 lasketun Halon kokonaisenergiasäästöjen perusteella. Liitteessä 2 havaitaan, että patteriverkoston energiankulutus on laskenut 2,4 MWh kuukauden aikana.

5.2 IV-verkosto

Maaliskuun IV-lämmitysverkoston energiankulutus mitattiin myös valvomon historiadatan perusteella, johon meno- ja paluueden lämpötilatiedot tallentuivat. Virtaama mitattiin patteriverkoston linjasäätöventtiilistä, mutta se koettiin epäluotettavaksi mittaamenetelmäksi suurien virtaamamuutosten johdosta, joita IV-lämmitysverkostossa syntyy. IV-lämmitysverkoston virtaama laskettiin kaukolämmön kokonaisenergian, käyttövesi- ja patteriverkoston lämmitysenergian kulutusten perusteella. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia luettiin suoraan lämpimän käyttöveden energiamittarista. Ilmastoinnin lämmitykseen käytetty energia laskettiin myös kaavalla 3.

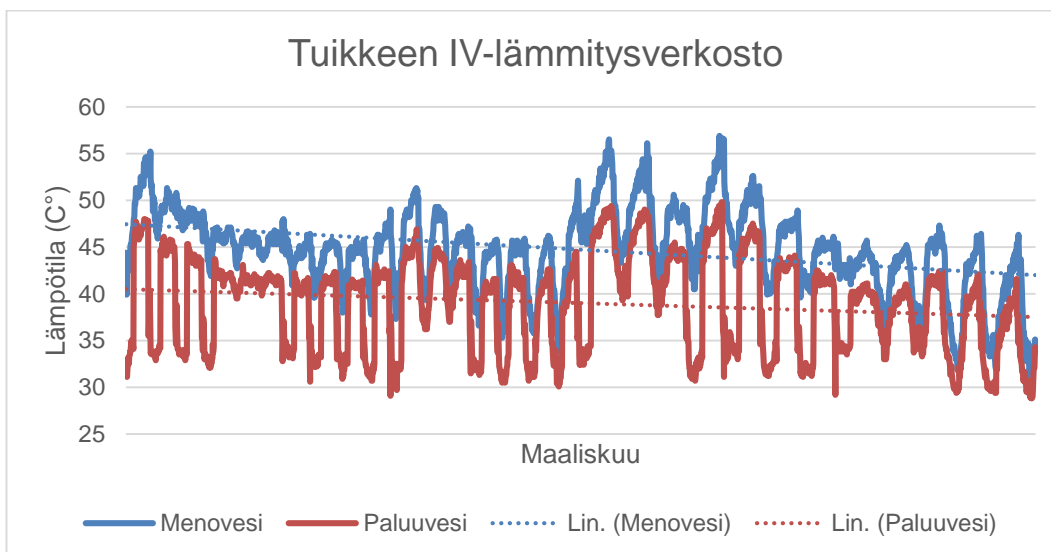
IV-lämmitysverkoston menoveden lämpötilat säättyivät ulkolämpötilan perusteella. Halon menovesikäyrää pudotettiin niin, että huonoimman hyötysuhteen omaavaan ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin venttiili avautui noin 80 % auki. Tuikkeen menoveden lämpökäyrä jätettiin vakioarvoille, jonka LVI-suunnittelija on laatinut suunnitelmissaan.

Kuvasta 11 näkyy Halon IV-lämmitysverkoston menoveden lämpötilat. Kuvaajasta nähdään, että menoveden keskilämpötila on noin 37 °C maaliskuun alussa ja laskee 35 °C:seen maaliskuun loppuun mennessä. Paluueden lämpötila on hieman matalampi. Meno- ja paluueden maaliskuun keskimääräiseksi lämpötilaeroksi laskettiin 2,4 °C.



Kuva 11. Halon IV-lämmitysverkoston meno- ja paluueden lämpötilat

Kuvassa 12 on Tuikkeen IV-lämmitysverkoston meno- ja paluueden lämpötilat maaliskuun ajalta. Menoveden lämpötilan keskiarvo on maaliskuun alussa noin 48 °C ja laskee 43 °C:seen maaliskuun loppuun mennessä. Paluueden lämpötila on noin 40 °C maaliskuun alussa ja laskee 38 °C:seen. IV-lämmitysverkoston keskimääräiseksi lämpötilaeroksi laskettiin 5,7 °C



Kuva 12. Tuikkeen IV-lämmitysverkoston meno- ja paluueden lämpötilat

Kuvista 11 ja 12 nähdään, miten menoveden lämpötilan laskeminen on vaikuttanut verkoston lämpötilaeroon. Halon lämpötila-eron pienentyessä virtausnopeus on kuitenkin samassa suhteessa kasvanut. Virtaama oli Halossa 1,0 l/s ja kuukauden energiankulutus 7,85 MWh. Tuikkeen ilmanvaihdon lämmitysverkoston virtaamaksi mitattiin 0,73 l/s ja kuukauden energiakulutukseksi laskettiin 12,91 MWh.

Halon IV-lämmitysverkostoon oli liitetty viisi ja Tuikkeeseen neljä ilmanvaihtokoneita, joiden kuukauden energiantarpeet on laskettu liitteessä 3 kaavalla 5. Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton jälkeisen lämpötilan ja tuloilman puhalluslämpötilan lämpötilaerot sekä tuloilmavirtaamat laskettiin valvomosta saatujen historiadataojen perusteella. Valvomosta saatiin myös ilmanvaihtokoneiden käyntiaikatiedot, joiden perusteella energiakulutuksia voitiin laskea.

$$E = t_d * t_v * \rho_i * C_{pi} * q_{v iv,tulo} * (T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) * \Delta t / 1000 \quad (5)$$

E	on ilmastoinnin energiantarve, kWh
t_d	on ilmastointikoneen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24h
t_v	on ilmastointikoneen keskimääräinen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/7vrk
ρ_i	on Ilman tiheys, 1,2 Kg/m ³
C_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 KJ/K*Kg
$q_{v iv,tulo}$	on tuloilma virtaama, m ³ /s
T_{sp}	on tuloilman lämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	on lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	on tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C
Δt	on aika, h

Toimistorakennus Halon ilmanvaihtokoneiden energiatarve oli yhteensä 7,76 MWh. IV-lämmitysverkoston kokonaisenergian kulutus oli 7,85 MWh, jolloin runkolinjoissa syntyvät lämpöhäviöt olivat 90 kWh. Tuikkeessa ilmanvaihtokoneiden energiankulutus oli 11,9 MWh ja IV-lämmitysverkostossa kokonaisenergiaa kului 12,9 MWh. Tuikkeen ilmastoinnin lämmitysverkoston runkolinjoissa tapahtuva lämpöhäviö oli 1 MWh. IV-lämmitysverkoston menoveden lämpökäyrän pudotuksen ansiosta energiakulutus tippui IV-lämmitysverkostossa jopa 900 kWh.

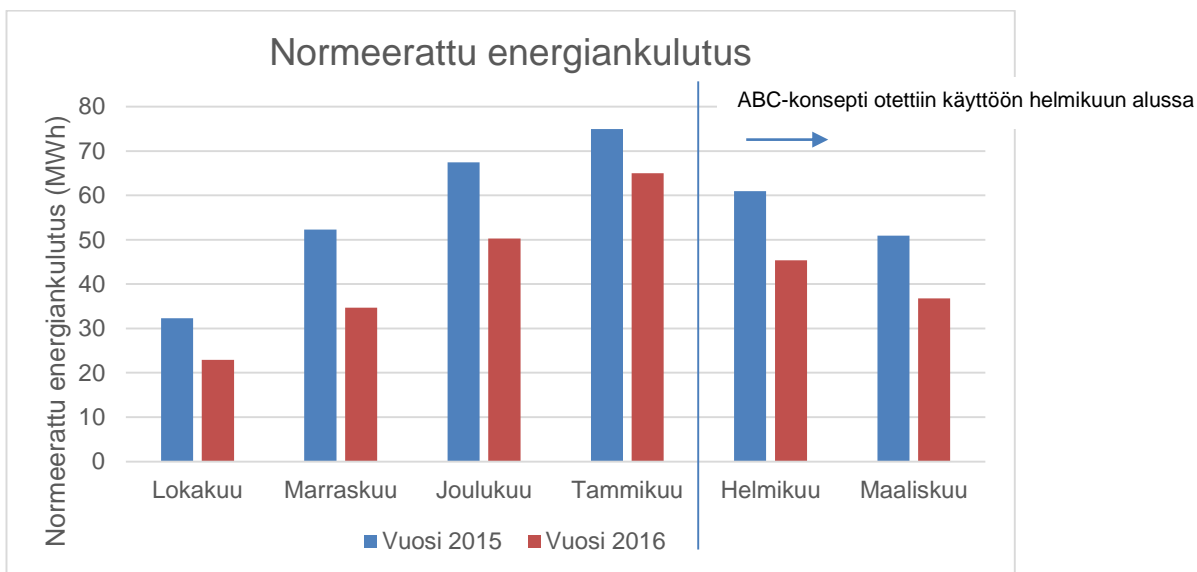
5.3 Kokonaisenergia

Toimistorakennusten kokonaisenergiankulutuksen vertailu toteutettiin vertailemalla rakennusten todellisia energiankulutuksia keskenään. Vantaan Energialta saatiin kaukolämmön energiankulutukset päivän tarkkuudella kahdelta viimeiseltä vuodelta, joiden perusteella energiankulutuksia voitiin tarkastella. Kokonaisenergiaan oli huomioitu käyttövesi-, patteri- ja IV-lämmitysverkoston kokonaiskulutukset, jolloin kokonaisenergiaa vertailemalla saatiin selville, mitä ABC-konsepti säästi. Rakennukset olivat hieman erilaisia, kuten luvussa 5 mainitaan. Halon suurempi bruttopinta-ala aiheutti suuremman energiankulutuksen patteriverkostossa, jolloin se näkyi myös kokonaisenergiankulutuksessa. Rakennuksien energiankulutuksia ei voitu vertailla suoraan keskenään. Toimistorakennusten energiankulutuksia verrattiin kuukausittain viimeisten kuuden kuukauden ajalta. Vertailu aloitettiin lokakuun alussa ja loppui maaliskuun lopussa.

6 Tulokset

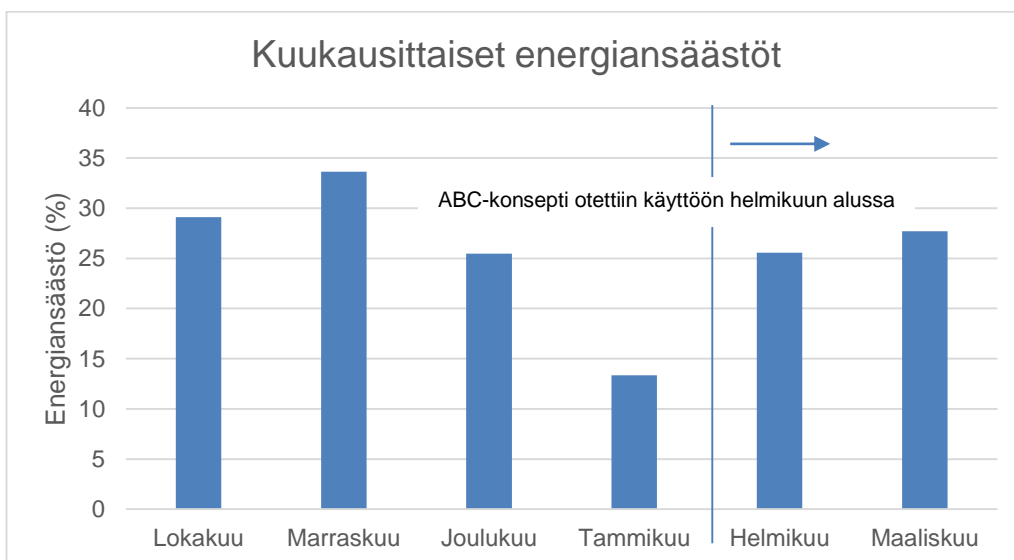
Toimistorakennus Halon energiasäästöt laskettiin kahdella eri menetelmällä. Ensimmäisessä menetelmässä käytettiin normeerattua energiankulutusta ja toisessa menetelmässä verrattiin Halon ja Tuikkeen todellisia energiankulutuksia keskenään puolenvuoden ajalta.

Ensimmäinen menetelmä, jossa käytettiin energiankulutuksen normeerausta, osoittautui epäluotettavaksi saatujen tulosten perusteella. Halon normeerattua energiankulutusta verrattiin aikaisempien vuosien normeerattuihin energiankulutuksiin kuukausitasolla. Toimistorakennus Halon energiankulutustiedot olivat tallennettu vuodesta 2014 Vantaan Energian energianseuranta palveluun, joiden avulla energiankulutuksen normeeraukset suoritettiin. Vuosien 2014–2016 energiankulutusten normeeraukset laskettiin Fidelix Oy:n käytössä olevan kulutusseuranta työkalun avulla. Kuvassa 13 on esitetty Halon normeeratut energiankulutukset lokakuusta maaliskuuhun vuodelta 2014–2016. Kuvassa nähdään, että normeerattu energiankulutus olisi ollut joka kuukausi suurempaa, vaikka ABC-konsepti käynnistettiin vasta helmikuun alussa. Suurten kuukausittaisten normeerattujen energiankulutuserojen perusteella voidaan päätellä, että rakennuksen käyttöaste on ollut suurempaa vuonna 2015 vuoteen 2016 verrattuna.



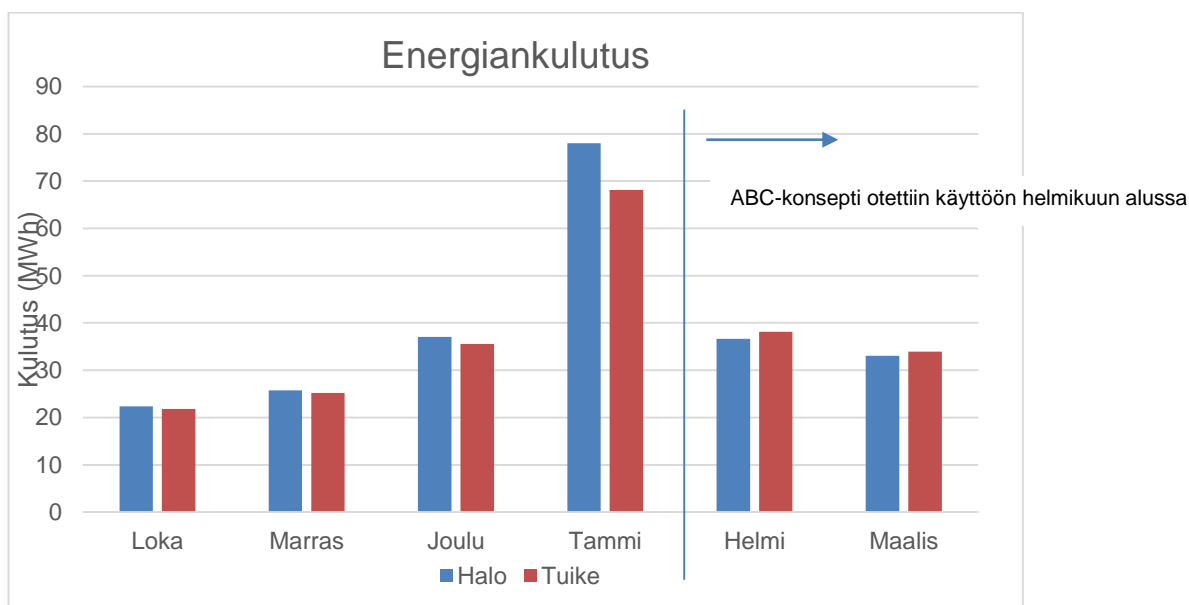
Kuva 13. Plaza Business Park Halon normeerattu energiankulutus

Kuvassa 14 on esitetty kunkin kuukauden energiasäästöt normeerattuihin energiankulutuksiin perustuen. Kuvassa näkyy, että energiasäästöä olisi syntynyt joka kuukausi lokakuusta maaliskuuhun, vaikka ABC-konsepti otettiin käyttöön vasta helmikuussa, jolloin energiasäästöä olisi syntynyt 25 %. Maaliskuussa normeerattujen energiakulutusten perusteella säästöä olisi syntynyt 27 %. Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että kohteessa on käyttöaste muuttunut erittäin paljon viimeisen vuoden aikana, joten tämä menetelmätapa osoittautui huonoksi.

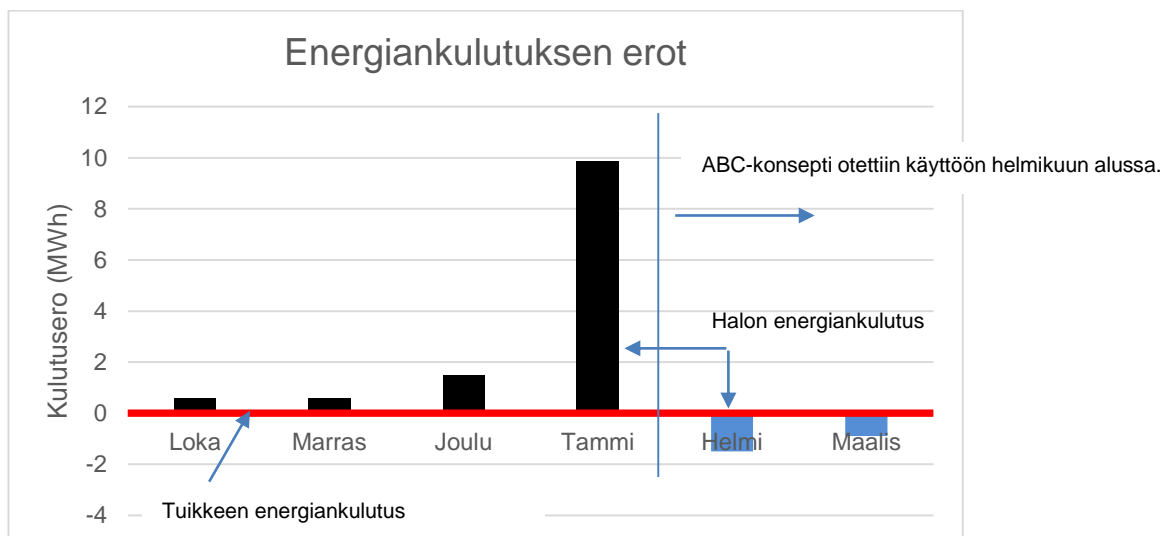


Kuva 14. Normeerausten perusteella syntyneet energiasäästöt

Toisessa menetelmässä verrattiin Tuikkeen ja Halon todellisia energiankulutuksia viimeisen puolenvuoden ajalta. Rakennusten energiankulutuksia ei voitu verrata suoraan keskenään, koska rakennuksen sisäisissä lämpökuormissa ja energiantarpeessa oli eroja. Rakennusten energiakulutuksia verrattiin viimeisen puolen vuoden ajalta, josta saatiin selville, millainen energiankulutus Halossa on ollut aiemmin Tuikkeeseen verrattuna. Liitteessä 4 on laskettu ABC-konseptin tuomat energiasäästöt toimistorakennus Halossa, jotka osoittautuivat todellisiksi energiasäästöiksi. Kuvassa 15 nähdään todelliset energiankulutukset lokakuusta maaliskuuhun. Kuvassa on Tuikkeen ja Halon kuukausittaiset energiankulutukset eriteltynä. Kuvassa 16 on havainnollistettu tarkemmin, kuinka paljon enemmän Halo on kuluttanut energiaa kuukausitasolla. Lokakuusta tammikuuhun energiankulutus on ollut Halossa keskimäärin 3 MWh suurempaa kuin Tuikkeessa. ABC-konsepti käynnistettiin helmikuun alussa, jonka jälkeen energiasäästöjä on syntynyt. Helmi- ja maaliskuussa Halon energiankulutus on ollut jo vähäisempää kuin Tuikkeessa, joten kuvista 15 ja 16 nähdään, että energiasäästöä on tapahtunut.

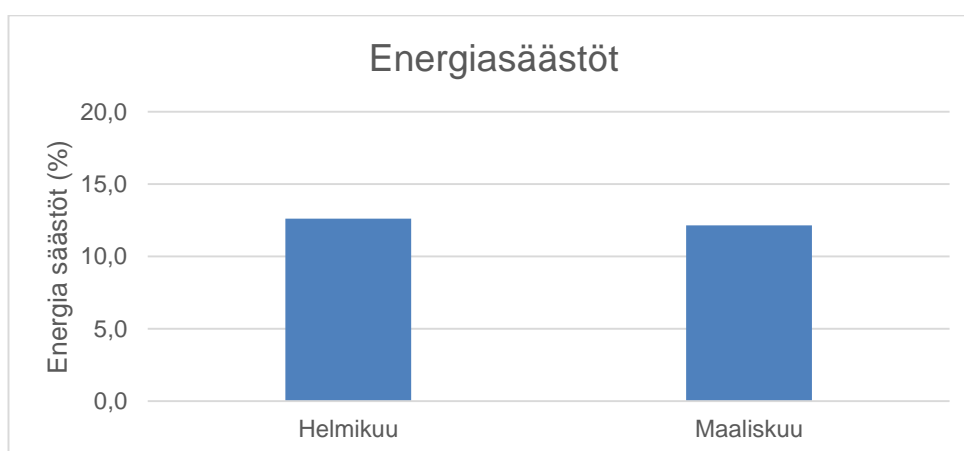


Kuva 15. Todelliset energiankulutukset Halossa ja Tuikkeessa viimeiseltä 6 kuukaudelta



Kuva 16. Energiankulutuksen erot toimistorakennus Tuikkeen ja Halon välillä

Todellisten energiankulutusten perusteella saatiin selvitettyä, kuinka paljon enemmän Halo kulutti lämmitysenergiaa kuukausitasolla ennen ABC-konseptin käyttöönottoa. Liitteessä 4 laskettiin Halon ja Tuikkeen lämmitysenergioiden kulutuseron keskiarvo ennen ABC-konseptin käyttöönottoa. Keskiarvon perusteella tiedettiin, kuinka paljon enemmän Halo olisi pitänyt kuluttaa lämpöenergiaa helmi- ja maaliskuussa. ABC-konseptin ansiosta helmikuussa Halon toimistorakennuksen energiankulutus oli jo vähemmän kuin Tuikkeessa, jolloin energian säästöt olivat 4,6 MWh. Maaliskuussa energiasäästöjä syntyi 4,05 MWh. Kuvassa 17 on esitetty ABC-konseptin tuomat energiasäästöt, jotka on laskettu liitteessä 5. Energiasäästöjä syntyi ABC-konseptin ansiosta helmikuussa 12,6 % ja maaliskuussa 12,1 %.



Kuva 17. Plaza Halossa syntyneet energiasäästöt helmi- ja maaliskuussa

7 Johtopäätökset

Rakennuksen energiankulutus perustuu energiantarpeeseen. Lämmitysverkoston energiantarve perustuu rakennuksen vaipan lämmönläpäisykertoimiin, pinta-aloihin sekä sisälämpötila- ja ulkolämpötilaeroihin. Energiantarve on määrätyn suuruinen, eikä sitä voida minimoida, jos sisälämpötila halutaan pitää määräysten mukaisessa arvossa. IV-lämmitysverkoston energiantarve on verrannollinen tuloilman puhalluslämpötilaan, lämmöntalteenoton jälkeiseen lämpötilaan ja tuloilmavirtaan. Nämä tekijät määrittävät, kuinka paljon energiaa tarvitaan rakennuksessa, eikä niistä pystytä saamaan yhtään säästöjä. IV-verkostossa merkittävä tekijä energian säästön kannalta on tuloilman sisäänpuhalluslämpötila. 1 °C:n nousu sisälämpötilassa lisää 5 % energiankulutusta. Sisälämpötilan oikea hallinta on tärkein elementti energiansäästöissä. (Sisälämpötila 2014, Rakennuksen lämmitysenergian ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012.)

ABC-konseptin kompensoivalla menoveden lämpökäyrällä saatiin säästettyä runkolinjoissa tapahtuvat lämpöhäviöt. Alhaisen menoveden lämpötilan ansiosta verkoston virtausnopeus kasvoi ja lämmönluovutus pieneni. Korkeammalla lämpökäyrällä virtaama oli pienempi, mutta lämmön luovutus suurempaa. Pattereista huoneistoon luovutettu lämpöenergia oli sama kuin normaalin säätömenetelmän lämpökäyrällä, koska huoneistojen huonesäätimet pitivät sisäilman lämpötilan asetusarvossaan. ABC-konsepti seurasi myös sisälämpötilaa ja esti sen liiallisen nousun, josta energiansäästöt myös aiheutuivat. ABC-konsepti pyrki pitämään verkostossa mahdollisimman alhaisen lämpötilan kuitenkin niin, että sisäilman lämpötila pysyi yli 21 °C:ssa. Tässä tilanteessa ylimmän kerroksen patteriventtiilit olivat lähes 100 % auki. Tällä säätötavalla lisättiin energiasäästöjä ja asuinviihtyvyyttä.

Patteriventtiilin ollessa 100 % auki saadaan patteri tasalämpöiseksi, jolloin huoneiston lämpötila tuntuu viihtyisältä. Normaalisissa säätötavassa, jossa patteriverkoston menoveden lämpötila on korkeampaa, patteriventtiili seilaa edestakaisin enemmän kuin alhaisemmalla menoveden lämpötilalla. Patteriventtiili päästää hetken kuumaa vettä patteriin, jolloin termostaatti huomaa, että huoneistossa on liian kuuma, joten se sulkeutuu. Patteriventtiilin jatkuva edestakainen liikkuminen vaikuttaa patteripinnan lämpötilaan. Näin patteri on lämmin ainoastaan ylhäältä, mutta kylmä alhaalta. (Pitkänen: 2016.)

Adaptiivisen säädön eli ABC-konseptin ja ulkolämpötila kompensointiin perustuvan säätötavan vertaileva tutkimus osoitti, että adaptiivisella säätötavalla voidaan säästää lämmitysenergiaa. Adaptiivinen säätömenetelmä vaati Fidelix Oy:n rakennusautomaatiojärjestelmän kohteessa, johon ABC-konsepti voitiin lisätä. Toimistorakennusten kokonaisenergian vertailu kaukolämpöenergian osalta onnistui, ja tästä saatu tulos kuvasi hyvin, kuinka paljon rakennuksessa voidaan saada energiansäästöjä. Lämmitysverkostoissa syntyvät energiasäästöt olivat suuntaa antavia, koska mittausmenetelmät eivät mahdollistaneet tarkkoihin tuloksiin. Kohteessa olisi pitänyt olla neljä virtausmittaria jokaisessa lämmitysverkostossa, jotka olisi pitänyt liittää valvonta-alakeskukseen. Vesivirtaamien historiadatan perusteella olisi voitu saada tarkkaa tulosta vesivirtaamista, joiden avulla verkostojen tarkat energiankulutukset olisi saatu selville, mutta se ei ollut mahdollista tässä työssä.

Työn tuloksien perusteella Fidelix Oy sai faktatietoa ABC-konseptin energiasäästöistä, joita voidaan saada energiatehokkaassakin rakennuksessa. Tutkimustulosten perusteella Fidelix Oy sai markkinointia varten tietoa, jota he voivat käyttää hyväksi tulevaisuudessa. Sain myös riittävän kuvan ABC-konseptin toiminnasta, jolloin se helpottaa myös tulevien energiasäästöratkaisujen kehittämisessä.

Lähteet

Härkönen, Pentti, Mikkola Juhana, Piikkilä Veijo, Sahala Antti, Sahlsten Toivo, Sandström Börje, Sirviö Arto, Spangar Tapani, Sulku Jukka. 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Liedes, Riikka. 2013. Rakennuksen lämpökuormat sekä lämmityksen ennakoiva ja sääennustepohjainen säätö. Aalto yliopisto.

Linna, Sari. 2016. Diplomi-insinööri, Metropolia, Helsinki. Keskustelu 13.3.2016.

Pitkänen, Risto. 2016. Aluepäällikkö, Wilo, Helsinki. Puhelinkeskustelu 28.3.2016

Rakennuksen lämmitysenergian ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakennusmääräyskokoelma osa, D5. Helsinki. Ympäristöministeriö.

Rakennusautomaatiojärjestelmä. 2015. Verkkodokumentti. Fidelix Oy. www.fidelix.fi/documents/FI/Yleisesite Päivitetty 12.10.2015. Luettu 3.3.2015.

Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2008. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.

Seppänen, Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Helsinki. Suomen LVI-yhdistysten liitto ry.

Sisälämpötila. 2014. Verkkodokumentti. Motiva Oy. www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/nain_saastat_energiaa/lammonsaasto/sisalampotila Päivitetty 18.12.2014. Luettu 24.3.2016.

Suomäki, Jorma ja Vepsäläinen, Sami. 2013. Talotekniikan automaatio. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy.

What's the time constant of the building. 2015. Verkkodokumentti. Emu building science. <http://emubuildingscience.com/2015/10/19/whats-the-time-constant-of-a-building> Päivitetty 19.10.2015. Luettu 20.3.2016.

Rakennuksen aikavakio

Rakennuksen aikavakio lasketaan kaavalla 1 ja 2.

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}} \quad (1)$$

τ on rakennuksen aikavakio, h

C_{rak} on rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti Wh/K

H_{tila} on rakennuksen tilojen tehollinen ominaislämpöhäviö, W/K

$$C_{rak} = C_{rak\ omin} A_{lämm\ netto} \quad (2)$$

$C_{rak\ omin}$ on rakennuksen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvo, Wh/m²K (rakennusmääräyskokoelma D5 taulukko 5.6.)

$A_{lämm\ netto}$ on rakennuksen lämmitetty nettopinta-ala

Halon toimistorakennuksen nettopinta-ala on 8016 brm². Rakennusmääräyskokoelman tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvo on 160 Wh/mK raskaassa toimistorakennuksessa. (Rakennusmääräyskokoelma, D5, taulukko 5.13.) Halon tehollinen ominaislämpöhäviö on mainittu energiatodistuksessa.

$$C_{rak} = 8016 \text{ brm}^2 * 160 \frac{\text{Wh}}{\text{mK}} = 1\,282\,560 \text{ Wh/K}$$

$$\tau = \frac{1282\,560 \frac{\text{Wh}}{\text{K}}}{3728 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 344 \text{ h}$$

Patteri- ja IV-lämmitysverkosto

Toimistorakennus Halon ja Tuikkeen lämmitysverkoston ja IV-lämmitysverkoston energiankulutukset laskettiin kaavalla 4.

$$E = \Delta T * qv * \rho * c_p * \Delta t \quad (4)$$

ΔT on meno ja paluuveden lämpötila ero, °C

qv on veden tilavuusvirta, l/s

ρ on veden tiheys, Kg/m³

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti, KJ/K*Kg

Δt on aika

Taulukko 1. Lämmitysverkoston energiankulutukseen tarvittavat lähtötiedot.

	HALO	TUIKE
Lämpötila-ero °C	7,68	6,57
Tilavuusvirta m³/s	0,000833	0,00077
Veden tiheys kg/m³	1000	1000
Veden ominaislämpökapasiteetti KJ/K*Kg	4,2	4,2
Aika (t)	744	744

Taulukko 2. IV-lämmitysverkoston energiankulutukseen tarvittavat lähtötiedot.

	HALO	TUIKE
Lämpötila-ero °C	2,41	5,7
Tilavuusvirta m³/s	0,00104	0,00073
Veden tiheys kg/m³	1000	1000
Veden ominaislämpökapasiteetti KJ/K*Kg	4,2	4,2
Aika (h)	744	744

Halon patteriverkoston käyttämä energian määrä maaliskuun aikana.

$$E = 7,68 \text{ °C} * 0,000833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{K}} * \text{Kg} * 744 \text{ h} = 19\,990 \text{ kWh}$$

Tuikkeen patteriverkoston käyttämä energian määrä maaliskuun aikana.

$$E = 6,57 \text{ }^\circ\text{C} * 0,00077 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{K}} * \text{Kg} * 744 \text{ h} = 15\ 756 \text{ kWh}$$

Halon IV-lämmitysverkon käyttämä energian määrä maaliskuun aikana.

$$E = 2,41 \text{ }^\circ\text{C} * 0,00104 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{K}} * \text{Kg} * 744 \text{ h} = 7\ 845 \text{ kWh}$$

Tuikkeen IV-lämmitysverkon käyttämä energian määrä maaliskuun aikana.

$$E = 5,7 \text{ }^\circ\text{C} * 0,0073 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{K}} * \text{Kg} * 744 \text{ h} = 12\ 913 \text{ kWh}$$

Patteriverkoston runkolinjoissa säästetty energiankulutus maaliskuun ajalta.

$$E_{\text{patteri säästö}} = E_{\text{energia säästöt}} - E_{\text{iv säästö}}$$

$$E_{\text{patteri säästö}} = 4015 \text{ kWh} - 919 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{patteri säästö}} = 3096 \text{ kWh}$$

Ilmastointikoneiden lämmityspattereiden energiantarve

Ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden käyttämät energiankulutukset laskettiin kaavalla 5.

$$E = t_d * t_v * \rho_i * C_{pi} * q_{v\ iv,tulo} * (T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) * \Delta t / 1000 \quad (5)$$

E	on ilmastoinnin energiantarve, kWh
t_d	on ilmastointikoneen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	on ilmastointikoneen keskimääräinen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
ρ_i	on ilman tiheys, 1,2 Kg/m ³
C_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 KJ/K*Kg
$q_{v\ iv,tulo}$	on tuloilmavirtaama, m ³ /s
T_{sp}	on tuloilman lämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	on lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	on tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h

Taulukko 3. Halon ilmanvaihtokoneiden energiankulutukseen vaikuttavat tekijät.

	TK01	TK02	TK02	TK03	TK04	TK05
Ilmamäärä	6,1	2	1	1,4	3,3	1,1
Lämpötilaero	1,14	4,7	4,7	0,258	0,57	3,48
Tiheys	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
lämpökapasiteetti	1	1	1	1	1	1
Puhallin lämpötila	0	0		0	0	0
Päivä kerroin	0,46	0,42	0,25	0,42	0,46	0,75
Viikkokerroin	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Aika	744,00	744,00	744,00	744,00	744,00	744,00
Energian kulutus	2032,55	2497,71	749,31	95,98	549,79	1830,88

$$E_{iv\ kokonais} = E_{TK01} + E_{TK02} + E_{TK03} + E_{TK04} + E_{TK05}$$

$$E_{iv\ kokonais} = (2032,55 * 2497,71 * 749,31 * 95,98 * 54,79 * 1830,88)kWh$$

$$= 7756 kWh$$

Taulukko 4. Tuikkeen ilmanvaihtokoneiden energiankulutukseen vaikuttavat tekijät.

	TK01	TK02	TK03	TK04
Ilmamäärä	4,86	1,098	1,099	4,717
Lämpötilaero	0,57	2,37	0,76	7,49
Tiheys	1,2	1,2	1,2	1,2
lämpökapasiteetti	1	1	1	1
Puhallin lämpötila	0	0	0	0
Päivä kerroin	0,46	0,42	0,15	0,46
Viikkokerroin	0,71	0,71	0,71	0,71
Aika	744,00	744,00	744,00	744,00
Energian kulutus	809,69	691,46	77,68	10326,55

$$E_{iv\ kokonais} = E_{TK01} + E_{TK02} + E_{TK03} + E_{TK04}$$

$$E_{iv\ kokonais} = (809,69 * 691,46 * 77,68 * 10326,55)kWh = 11905 kWh$$

Halon IV-koneiden energian tarve oli 7756 kWh ja IV-lämmitysverkoston käyttämä energianmäärä oli 7845 kWh. Hukkalämpöä muodostui 89 kWh.

Tuikkeen IV-koneiden energiantarve oli 11905 kWh ja IV-lämmitysverkoston käyttämä energia oli 12 913 kWh. Hukkalämpöä muodostui 1008 kWh.

ABC-konseptilla saadut energiasäästöt, jotka saatiin kuristettua runkolinjoista:

$$E_{iv\ säästö} = E_{tuike\ iv\ hukka} - E_{halo\ iv\ hukka} = 1008 kWh - 89 kWh = 919 kWh$$

Energiankulutusvertailu

Taulukko 5. Toimistorakennusten energiankulutuserot viimeisen kuuden kuukauden aikana.

	Halo		Tuike			Energiakulutus ero MWh
Loka	22,38	MWh	21,8	MWh		0,58 MWh
Marras	25,77	MWh	25,2	MWh		0,57 MWh
Joulu	37,04	MWh	35,55	MWh		1,49 MWh
Tammi	78,02	MWh	68,16	MWh		9,86 MWh
Helmi	36,67	MWh	38,17	MWh		-1,5 MWh
Maalis	33,05	MWh	33,94	MWh		-0,89 MWh
Keskiarvo						3,125 MWh

Ennen ABC-konseptin käyttöönottoa Halo kulutti lokakuun- tammikuun aikana keskimäärin 3,125 MWh enemmän energiaa kuin Tuike. ABC-konseptilla saadut energiansäästöt laskettiin Halon ja Tuikkeen todellisen energiankulutusten perusteella.

$$E_{\text{halo kulutusero keskiarvo}} + E_{\text{halo kulutus helmikuu}} = 3,125 \text{ MWh} + 1,5 \text{ MWh} = 4,625 \text{ MWh}$$

$$E_{\text{halo kulutusero keskiarvo}} + E_{\text{halo kulutus maaliskuu}} = 3,125 \text{ MWh} + 0,89 \text{ MWh}$$

$$= 4,015 \text{ MWh}$$

Energian säästöt Helmikuun aikana:

$$\frac{E_{\text{halo kulutusero keskiarvo}} + E_{\text{halo kulutusero helmikuu}}}{E_{\text{halo helmikuu}}} = \frac{3,125 \text{ MWh} + 1,5 \text{ MWh}}{36,67 \text{ MWh}}$$

$$= 12,6\%$$

Energia säästöt maaliskuun aikana:

$$\frac{E_{\text{halo kulutusero keskiarvo}} + E_{\text{halo kulutusero maaliskuu}}}{E_{\text{halo maaliskuu}}} = \frac{3,125 \text{ MWh} + 0,89 \text{ MWh}}{33,05 \text{ MWh}}$$

$$= 12,1\%$$