



Lämmitysverkostojen tarkastelulla pa- rannusta sisäolosuhteisiin ja energian käyttöön TAMKin päätalossa

Kimmo Ruoho

Opinnäytetyö
Helmikuu 2014
Talotekniikan koulutusoh-
jelma
LVI - talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

Kimmo Ruoho:

Lämmitysverkostojen tarkastelulla parannusta sisäolosuhteisiin ja energian käyttöön TAMK:n päätalossa

Opinnäytetyö 66 sivua, joista liitteitä 11 sivua
Helmikuu 2014

Opinnäytetyössä selvitettiin Tampereen ammattikorkeakoulun Kuntokadun kampuksen päätalon lämpöverkostojen ja ilmanvaihdon lämmityspiirin tilaa. Opinnäytetyön yhteydessä tehtiin verkostojen perussäätö sekä pumppujen säädöt. Myös lämmityksen säätökäyrät ja ilmanvaihdon lämmityspattereiden säätökäyrät tutkittiin ja muutettiin vastaamaan alkuperäisiä asetuksia. Säätökäyrät eivät vastanneet suunnitelmia. Pattereiden termostaattisista venttiileistä suureen osaan oli asetettu väärä esisäätöarvo. Verkostojen virtaamat eivät olleet suunnitelman mukaisia, ja kaksi patteriverkostoa oli kytketty ristiin.

Rakennuksen energiankäyttöä simuloitiin Ilmatieteen laitoksen nykyilmaston testivuoden tietojen perusteella. Simuloinnilla saatiin tietoa säätö- ja muutostöiden vaikutuksista rakennuksen energiankäyttöön. Ilmanvaihtokoneiden tuloilman lämmityskäyrien säädöllä saavutettiin simuloinnin perusteella 30 MWh:n vuotuinen energian säästö. Patteriverkostojen paluuveden lämpötilaa ei tunnettu, joten simuloinnin perusteella näyttäisi siltä, että rakennus käyttää säädön jälkeen energiaa enemmän kuin ennen perussäätöä. Simulointi ei kuitenkaan ottanut huomioon ulkoisten lämpökuormien vaikutusta eikä termostaattisten patteriventtiilien huonelämpötilan rajoitusta. Huonelämpötilojen mittausten perusteella perussäädöllä saavutettiin 100 MWh:n vuotuinen energian säästö.

Työssä tutkittiin myös lämmityspatterien lämmönluovutuskykyyn vaikuttavia tekijöitä. Patterit oli mitoitettu 80/60-verkostoon. Rakennusautomaation säätö toimii kuitenkin 70/40-verkoston mukaisilla toiminta-arvoilla. Suurimmat patterin lämmönluovutuskykyyn vaikuttavat tekijät ovat patterin keskimääräinen lämpötila sekä lämmönluovutukseen käytettävissä oleva pinta-ala. Keskimääräisen lämpötilan pudottaminen mitoituslämpötilasta käytettyyn lämpötilaan pienentää lämmönluovutuskykyä yli 40 %.

Säätötyön tuloksena tuloilma on viileämpää, jolloin se sekoittuu paremmin huoneilmaan kuin aikaisemmin. Luokka- ja työhuoneisiin saatiin aikaisempaa tasaisemmat lämpötilat, ja käytävienkin lämpötilat alenivat.

Lämmitysverkostojen energiatehokkuutta voitaisiin edelleen parantaa esimerkiksi vaihtamalla lämmitysverkostojen pumput taajuusmuuttajakäyttöisiin ja muuttamalla verkosto toimimaan vakio-paine-ero-ohjattuna. Lisäksi olisi hyödyllistä tutkia, ovatko nykyiset patterit selvästi ylimitoitettuja, jolloin patteriverkoston virtaamia voitaisiin pienentää.

Asiasanat: perussäätö, patteriverkosto, nykyilmasto, konvektio, energialaskenta, lämmönluovutus

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Program in Building Service Engineering
Option of HVAC Services

Kimmo Ruoho:

Investigating Heating Systems in Order to Improve Indoor Conditions and Energy consumption in TAMK Main House

Bachelor's thesis 66 pages, appendices 11 pages
February 2014

This bachelor's thesis investigated the state of the heating systems of the main building in the Kuntokatu campus area of Tampere University of Applied Sciences. The investigation included both radiator heating systems and air heating systems. During the process of the thesis the heating lines and pumps were adjusted to the planned working values. The adjustment diagrams of heating and air heating were also controlled and reset to their original values. The adjustment diagrams did not correlate with the original plans. Most of the thermostatic radiator valves had wrong pre-set values. Water flows were set to wrong positions and two heating systems were connected together in a wrong way.

The energy consumption of the main building was simulated on the basis of the data from the test year of contemporary climate by Finnish Meteorological Institute. The simulation gave data on how the adjustments and changes affected the energy consumption of the building. The simulation showed that adjusting the heating of the incoming air of the ventilation system to planned values gave 30 MWh annual savings. In radiator heating systems, the temperature of the return water was not known. Counted from the decreased indoor temperature, the adjustment work gave 100 MWh savings in the radiator systems..

The thesis also investigated the factors that affect the heat transfer capability of the heating radiators. The radiators were rated for 80/60 system. However, the adjustment of the building automation is rated for the values of 70/40 system. The main factors in the heat transfer capability of the radiators are the average temperature of the radiator and the surface area available for heat transfer. Decreasing the average temperature of the radiator from the rated to the one used in the automation system, diminished the heat transfer capability by more than 40 %.

As a result, the supply air is cooler than before, so it blends better with the indoor air. In classrooms and offices the temperatures are now more equable and also the temperatures in the corridors are lower than before.

Energy efficiency could be improved by changing the heat pumps to the ones driven by variable speed and have the system controlled by differential constant pressure. A further study could be carried out to see if the radiators in the system are oversized, in which case the flow rates could be lowered.

Key words: basic adjustment, radiator-heating system, current weather, convection, energy calculation, heat transfer capability

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	LÄMMITYSVERKOSTON PERUSSÄÄTÖ.....	9
2.1	Perussäädön periaatteet.....	9
2.2	Perussäädön merkitys energian kulutukseen	10
3	TULOILMAN LÄMMITYS.....	11
3.1	Tuloilmakoneet	11
3.2	Tuloilman lämpötila.....	11
3.3	Pitkien ilmanvaihtokanavien vaikutus	12
4	PÄÄTALON LÄMMITYSVERKOSTOT	14
4.1	Patteriverkosto PV11	17
4.2	Patteriverkosto PV12	19
4.3	Patteriverkosto PV13	21
4.4	Patteriverkosto PV14	24
5	PATTERIVERKOSTON JA ILMANVAIHDON LÄMMITYKSEN TILA SÄÄDÖN JÄLKEEN.....	27
5.1	Ilmanvaihto ja tuloilman lämpötila.....	27
5.2	Lämmitysverkostot	28
5.3	Muutokset huonelämpötiloissa	29
5.4	Ikkunoiden vaikutus sisätilojen olosuhteisiin.....	30
6	MUUTOKSET RAKENNUKSEN ENERGIAN KULUTUKSESSA.....	33
6.1	Laskennan lähtökohdat	33
6.2	Muutokset ilmanvaihdon tuloilman lämmityksessä	35
6.3	Muutokset patteriverkostojen energiankäytössä linjojen virtaamien mukaan.....	38
6.4	Muutokset energiankulutuksessa huonelämpötilan muutoksen mukaan	42
7	EDELLYTYKSIÄ TOIMIVALLE LÄMMITYSJÄRJESTELMÄLLE	45
7.1	Työn valvonta, omavalvonta, työmoraali	45
7.2	Eri suunnittelualojen tietojen yhdenpitävyys.....	46
7.3	Pohjakuvat ja uudet muutokset	47
7.4	Patterien koko ja konvektio	48
7.5	Taajuusmuuttajaohjatut pumput ja vakiovirtaussäätimet	51
8	YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSEHDOTUKSET.....	52
	LÄHTEET.....	54
	LIITTEET	55
	Liite 1. Termostaattisten patteriventtiilien esisäädöt.....	56
	Liite 2. LVI-työselostus.....	59

Liite 3. Muutostyöpiirustukset 62

LYHENTEET JA TERMIT

A	vuosi
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
LSV	linjasäätöventtiili
IV	Ilmanvaihto
TRY 2012	Ilmatieteen laitoksen nykyilmaston testivuosi
AU	Automaatio
LVI	Lämpö-, vesi- ja ilmanvaihto
KWH	Kilowattitunti

1 JOHDANTO

Tampereen ammattikorkeakoulun Kuntokatu 3:ssa sijaitsevan kampusalueen pääatalo, eli B-talo on rakennettu vuosina 1961 ja 1967. Rakennukseen on tehty peruskorjaus vuosina 2001 - 2003. Saneerauksen yhteydessä uusittiin mm. lämpöverkosta sekä tehtiin talon vesikatolle iv-konehuone. Pääatalo on esitetty kuvassa 1.1.



KUVA 1.1. Tamk pää- eli B-talo ilmakuvassa. (Tamk viestintäpalvelut 2007)

Kampusalueella olevia rakennuksia on hallinnoinut vuoteen 2010 saakka Tampereen Kaupungin Tilakeskus. Vuonna 2010 rakennusten hallinnointi siirtyi ammattikorkeakoulun kiinteistöpalveluille.

Päätalossa on vuosikausia ollut ongelmana huonetilojen epätasaiset lämpöolot. Lisäksi määrättyinä vuodenaikoina on joissain tiloissa jatkuvasti valitettu huonosta sisäilman laadusta, tunkkaisuudesta. Talossa on valitettu kuumuudesta ja kylmyydestä, ja erilaisista huoltomiesten tekemistä säätötoimenpiteistä huolimatta valitukset jatkuvat. Joissain työhuoneissa on tarvittu lisälämmönlähteenä sähkökäyttöisiä siirrettäviä pattereita.

Päätalon saneerauksen jälkeen vuonna 2013 on päätalon lämmitysverkoston tehty muutoksia tuotantokeittiön peruskorjauksen yhteydessä. Tuotantokeittiön lämmitysverkosto on liitetty suoraan päätalon lämmityspiiriin. Urakoitsija ei saanut suunniteltua virtaamaa mitattua tuotantokeittiön linjasäätöventtiileille. Tämäkin asia puolsi tarvetta lämmitysverkoston tarkempaan tutkimiseen.

Vuonna 2012 rakennetun uuden G-siiven vuoksi päätalosta poistettiin muutamia pattereita, mutta patteriverkostoa ei toimenpiteen jälkeen säädetty. Poistettujen pattereiden lisäksi päätaloon on vaihdettu ikkunoita vuosina 2009 ja 2013. Ikkunoiden vaihdon seurauksena rakennuksen lämpöhäviöt ovat pienentyneet, mutta näidenkään remonttien yhteydessä ei lämmitysverkostoa ole uudelleen säädetty.

Näiden seikkojen vuoksi oli siis ajankohtaista tutkia päätalon lämmitysjärjestelmien toiminta kunnolla ja tehdä tarvittavat säädöt. Tutkimustyön tarvetta siivitti osaltaan myös ammattikorkeakoulun liittyminen energiansäästösopimukseen, jossa ammattikorkeakoulu on sitoutunut vähentämään energiankäyttöänsä 9 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2016 mennessä.

Opinnäytetyössä esitetään lämmitysverkostojen tila ennen ja jälkeen säätötöiden tekemisen, sekä tehdyillä säätöillä saavutetut muutokset energian kulutukseen. Lisäksi työssä tutkittiin muita sisäolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä, kuten säteilyä. Opinnäytetyössä tutkittiin myös pattereiden lämmönluovutukseen vaikuttavia tekijöitä tavoitteena virtaamien pienentäminen ja sitä kautta saavutettava energian säästö. Työssä haettiin myös edellytyksiä toimivan lämmitysjärjestelmän aikaansaamiseksi.

2 LÄMMITYSVERKOSTON PERUSSÄÄTÖ

2.1 Perussäädön periaatteet

Perussäädössä lämmityspiirin jakolinjoihin säädetään tarvittavat virtaamat, jotta jokainen yksittäinen lämmityspatteri saa tarvitsemansa, suunnitelmien mukaisen vesivirtaaman. Perussäädön onnistuminen edellyttää, että patteriverkoston haarat on varustettu tarpeellisin linjasäätöventtiilein, ja että kunkin haaralinjan patterit on varustettu venttiileillä, joilla voidaan säätää yksittäisen patterin virtaamaa (Perussäädön esite).

Yksittäisen patterin virtaaman määrittämiseksi tulee tietää sen huoneen lämpöhäviöt, johon patteri on sijoitettu. Vastaavasti, jos samassa tilassa on useita pattereita, tulee tietää se osuus lämpöhäviöstä, joka patterilla katetaan. Tämä edellyttää talon rakenteiden tuntemista, sillä lämpöhäviö riippuu rakenteista ja vallitsevista ulko- ja sisälämpötiloista (LVI-12-10343).

Kun pattereista tarvittava lämmitysteho on tilan lämpöhäviöiden perusteella selvitetty, saadaan selville patterin tarvitsema virtaama. Tästä ja järjestelmän painehäviöistä saadaan selville patteriventtiilille asetettava esisäätöarvo (Ta-käsikirja).

Nykyisin patteriventtiileiden esisäätöarvot saadaan laskettua suoraan suunnitteluohjelmilla, jolloin inhimillisten erehdysten vaara pienenee. Cad-pohjaisia suunnitteluohjelmia käytettäessä pystytään jo suunnitteluvaiheessa laskemaan kaikkien verkoston komponenttien painehäviöt ja virtaamat, jolloin perusteet säädön onnistumiselle paranevat, etenkin, jos verkosto on rakennettu suunnitelmien mukaisesti.

Säätötyössä patteriventtiileistä poistetaan termostaattiosa ja asetetaan esisäädöt suunnitelman mukaiseksi. Tämän jälkeen varmistetaan kiertovesipumppujen toiminta ja asetetaan linjasäätöventtiilit suunnitelman mukaiseen esisäätöarvoon. Tämän jälkeen pumpun säätöventtiililtä mitataan pumpun tuotto ja säädetään tuotto vastaamaan tarvittavaa vesivirtaamaa (LVI-41-10230).

Kun vesivirtaama on oikea, käydään lähimmäisestä haaralinjasta lähtien haarojen linjasäätöventtiilit lävitse, mitaten ja säätäen virtaamat suunnitteluarvoihin (LVI-41-

10230). Kun kaikki linjat on säädetty, suoritetaan vielä varmistusmittaus, sillä verkoston yhden haaran virtaaman muuttaminen vaikuttaa aina muiden haarojen virtaamiinkin.

Kun kaikki verkoston haaralinjat on saatu säädettyä, voidaan kiinnittää pattereiden termostaatti-osat paikoilleen (LVI-41-10230). Termostaatin tehtävänä on pienentää patterin lävitse kulkevaa vesivirtaamaa silloin kun huoneeseen tulee lämpökuormaa patteriverkoston ulkopuolisista lähteistä, esimerkiksi auringon säteilystä tai ihmisistä (Tä käsikirja).

2.2 Perussäädön merkitys energian kulutukseen

Perussäädöllä varmistetaan että patteriverkostossa on suunnitelmien mukaiset virtaamat (Perussäätö-esitys). Oikein säädettyinä pystytään verkostossa varmistamaan riittävä jäähdytys, joka osaltaan pienentää lämpöhukkaa putkistossa. Samalla se varmistaa pattereiden optimaalisen, kohteeseen suunnitellun lämmönluovutuksen (LVI-41-10230).

Jos patteriverkosto on säädetty väärin, tai verkostoa ei ole säädetty lainkaan, joudutaan tilanteeseen, jossa osa tiloista pysyy aina liian kylmänä ja osa liian lämpimänä. Lämpöä joudutaan tuomaan tiloihin aina matalimman lämpötilan vaatimusten mukaisesti. Tällöin liian pienen virtaaman seurauksena joudutaan tuottamaan liian suuri virtaama (Tä käsikirja). Pumpulta joudutaan virtaamaa lisäämään niin kauan, että pienimmällä virtaamalla olevan tilan lämmönluovutus on vaaditulla tasolla. Samalla ylisuureksi asetettu virtaama muualla verkostossa lisääntyy, ja näiden tilojen lämpötila nousee (Tä käsikirja).

Pattereiden termostaattiset venttiilit toimivat viiveellä, johtuen termostaattiosassa käytetystä vahasta, jonka lämpölaajenemisliikkeet ovat hitaita. Tämä hitaus osaltaan aiheuttaa sen, että liian suurella virtauksella patteri ehtii lämmittää tilaa liikaa ennen kuin termostaatti ehtii rajoittaa virtaamaa (Tä käsikirja).

3 TULOILMAN LÄMMITYS

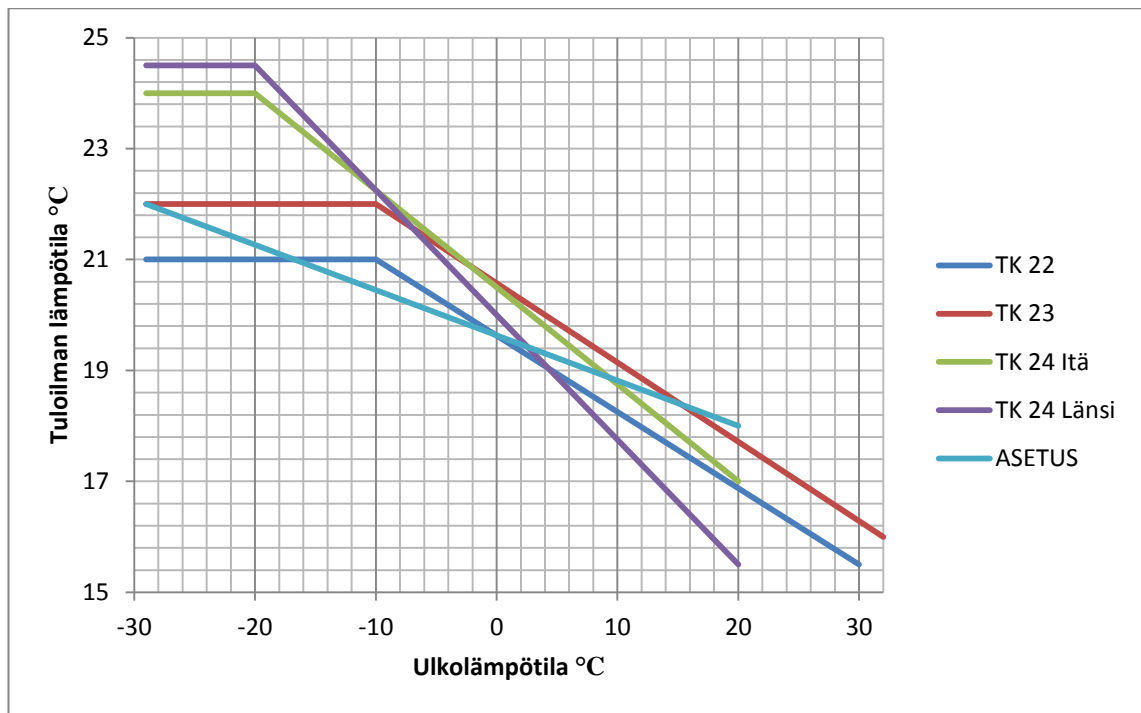
Yksi ratkaiseva tekijä rakennuksen sisäilman laadussa on tuloilman lämpötila. Koska kohteen tiloissa on käytössä sekoittavan ilmanjaon päätelaitteet ja poistot sijoitettu huoneiden yläosaan, täytyy tuloilman olla viileämpää kuin vallitseva huonelämpötila on. Jos näin ei ole, tuloilma ei sekoitu huoneilmaan kunnolla, vaan kulkeutuu suoraan huoneen yläosassa poistokanavaan.

3.1 Tuloilmakoneet

Päätalon ilmanvaihdosta huolehtii kolme tulo- ja poistoilmakonetta, jotka on varustettu pyörivällä lämmön talteenotolla. TK 22 palvelee talon itäsivun kerroksia 2-6, TK 23 länsisivun kerroksia 2-6 ja TK 24 palvelee kaikkien kerrosten käytäviä sekä 1-kerrosta. TK 24 on varustettu kahdella erillisellä jälkikäsitteily-yksiköllä, jolloin sekä 1-kerroksen länsisivulle ja itäsivulle saadaan ohjattua eri lämpöistä tuloilmaa.

3.2 Tuloilman lämpötila

Tutkimuksessa käytiin lävitse päätalon tuloilmakoneiden lämmityspatterien säätökäyrät. Käytössä olleet säätökäyrät on esitetty kuvaajassa 3.2.1. Kuvaajaan on piirretty myös päätalon saneerauksen eli tuloilmakoneiden rakentamisen aikaiset säätöarvot, jotka esitettiin saneerauksen luovutusmateriaaleista. Ilmanvaihtokoneet on suunniteltu toimivan näillä luovutusmateriaalissa esitetyillä arvoilla.



KUVAAJA 3.2.1. Tuloilmakoneiden lämpötilan säätökäyrät

Kuvaajasta 3.2.1 nähdään, että säätökäyriä on muuteltu luovutuksen jälkeen. Samalla selviää yksi syy valituksiin, joita eri puolilta taloa on vuosien mittaan tullut käyttäjiltä. Pakkaskeleillä ilmanvaihtokoneelta lähtee huoneisiin yllämpöistä ilmaa. Ilma on huoneeseen tullessa happipitoista ja raitista, mutta yllämpöisyydestä johtuen se ei sekoitu huoneessa olevaan ilmaan, vaan jää katon rajaan ja kulkeutuu sieltä suoraan poistokanavaan.

Kevättalvella 2013 mitattiin hiilidioksidianturilla ja lämpömittarilla 1-kerroksen B1-55 tilaa, kun huoneesta valitettiin tunkkaisuudesta ja huoneessa työskentelevät epäilivät ilmanvaihdon toimimattomuutta. Huoneen hiilidioksidipitoisuus oli 540 ppm 1,2 metrin korkeudelta mitattuna ja huoneen lämpötila oli 23,2 °C. Huoneeseen tulevan ilman lämpötila oli 23,6 °C ja ilmavirta oli suunnitelmien mukaisella tasolla. Ainoaksi tunkkaisuutta selittäväksi tekijäksi jäi tuloilman ja huoneen lämpötilan välinen lämpötilaero ja sitä seurannut ilman sekoittumattomuus.

3.3 Pitkien ilmanvaihtokanavien vaikutus

Päätalossa ilmanvaihtokanavia on asennettu yläpohjaan. Pisimmillään kanavat kulkevat lähes koko etelään pituuden 25 metriä yläpohjassa. Kanavapituuden ja sen kulkureitin

vaikutuksia ilman lämpötilan muutokseen selvitettiin jo kesällä 2012 kiinteistöpalveluiden harjoittelijoiden toimesta. Selvityksessä tultiin lopputulokseen, että aurinkoisena kesäpäivänä kanaviston pituus aiheuttaa 1-kerroksen tuloilmaan 1 celsiusasteen lämmön nousun matkalla ilmanvaihtokoneelta huoneeseen. Talviaikaista lämpötilan muutosta ei ole selvitetty. Kesäaikaisen lämpötilamuutoksen mukaisesti voidaan olettaa, että tuloilman lämpötila ei juurikaan muutu lähtöarvostaan, sillä oletettavasti se jäähtyy yläpohjan osuudella ja lämpiyttä pystyhormiosuudella.

4 PÄÄTALON LÄMMITYSVERKOSTOT

Tutkimuksessa tutkittiin kaikki päätalon neljä lämmitysverkostoa. Jokainen lämmityspatterin termostaattiventtiilin termostaattiosa poistettiin ja selvitettiin termostaattisen patteriventtiilin runko-osaan asetettu esisäätöarvo. Esisäätöarvoja verrattiin saneerauksen loppupiirustuksissa olleisiin esisäätöjen suunnitteluarvoihin. Tulokset on kirjattu taulukoihin liitteessä 1. Taulukoista voidaan huomata, että lähes jokaisella nousulinjalla oli virheellisesti asetettuja esisäätöarvoja. Lisäksi löytyi termostaattisia patteriventtiilirunkoja, jotka ovat niin sanottua suurtehomallia, eli tarkoitettu suuria lämmitystehoja vaativiin kohteisiin.

Virheellisesti asetetut esisäätöarvot yksittäisessä nousussa aiheuttavat virtaamien väärän jakauman. Termostaattiset patteriventtiilit rajoittavat lämpötilaa huoneissa, mutta mitoituspakkasilla, kun kaikki huoneet tarvitsevat lämpöä, tilanne kärjistyy. Silloin liian isolle esisäätöarvolle asetetut patterit ”ryöstävät” lämmön muilta ja lopputuloksena liian suureksi säädetyn esisäätöarvon omaava patteri lämmittää huonetta hyvin, toisten huoneiden jäähtyessä (Ta-käsikirja).

Linjojen mitoitusohot ovat yksi ratkaiseva tekijä tilojen lämpimänä pysymiseen mitoitusolosuhteissa. Mikäli todellinen mitoitusoho jää pienemmäksi kuin suunniteltu oho, on tuloksena tilojen jäähtyminen. Kuinka paljon tilat viilenevät mitoitusohon vallitessa, riippuu ohonpuutteen määrästä. Tämä käy ilmi, kun tutkitaan rakennuksen lämmitystehon tarpeen kaavaa 4.1 (Rak.MK osa D5 2012). Kaavassa rakenneosien U-arvo ja pinta-alat, sekä mitoittava ulkolämpötila pysyvät vakiona. Tästä seuraa, että lämmitystehon muuttuessa on sisälämpötilan muututtava.

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \sum U_i \cdot A_i \cdot (T_s - T_{u,\text{mit}}) \quad (4.1)$$

jossa $\Phi_{\text{lämmitys}} = \text{lämmitystehon tarve } W$

$U_i = \text{rakennusosan } i \text{ lämmönläpäisykerroin } W/(m^2 \text{ K})$

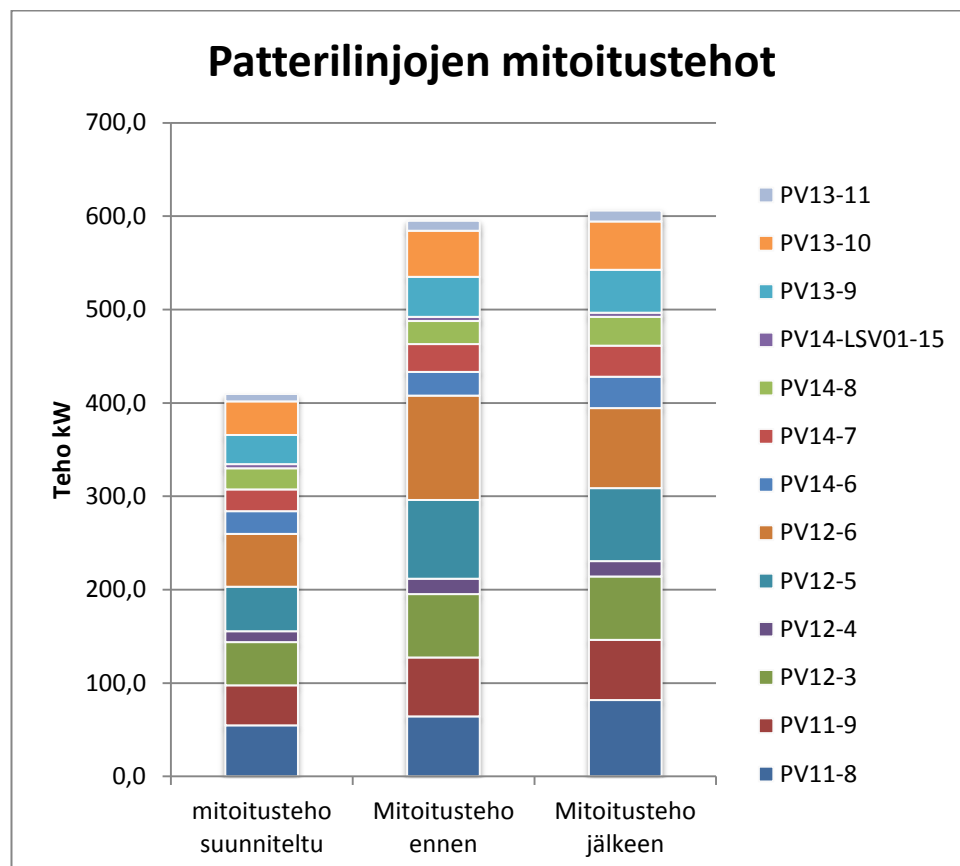
$A_i = \text{rakennusosan } i \text{ pinta-ala } m^2$

$T_s = \text{sisälämpötila}$

$T_{u,\text{mit}} = \text{mitoittava ulkolämpötila}$

Kuvaajassa 4.0.1 on esitetty päätalon patterilinjojen mitoitus-teho nousulinjoittain. Kuvaajassa vasemmalla olevaan pylvääseen on laskettu lvi-suunnitelmien mukaiset mitoitus-tehot, josta saadaan koko talon mitoitus-tehoksi 409 kW. Todellinen mitoitus-teho ennen säätöä oli 595 kW eli 186 kW enemmän kuin oli suunniteltu. Säädön seurauksena mitoitus-teho nousi 606 kilowattiin, joka on 48 % enemmän kuin alun perin oli suunniteltu. Laskelmissa suunniteltu mitoitus-teho on laskettu menoveden lämpötilalla + 80 °C ja paluulämpötila + 60 °C, ennen ja jälkeen säädön lasketuissa mitoitus-tehoissa menoveden lämpötilana on käytetty + 70 °C ja paluulämpötilana + 40 °C.

Kuvaajasta 4.0.1 nähdään, että vaikka mitoitus-tehot ennen ja jälkeen säädön ovat kokonaisuudessaan lähes samat, on nousulinjojen välillä tapahtunut muutoksia. Joidenkin nousulinjojen teho on laskenut ja joidenkin noussut. Tämä kuvastaa sitä tosiasiaa, että nousulinjat ovat olleet epätasapainossa ja aiheuttaneet suuriakin eroja tilojen lämpötiloihin.



KUVAAJA 4.0.1. Patteriverkoston mitoitus-tehot

Patteriverkoston toiminnan kannalta on tärkeää, että verkostoa säätelevä automatiikka toimii moitteetta ja oikein. Tässä kohden oikein toimimisella tarkoitetaan, että järjes-

telmä toimii siten kuin sen on suunniteltukin toimivan. Oleellisena osana tätä ovat lämmönsäätökäyrät, joiden tulee olla suunnitelmien mukaiset. Tutkimuksessa selvitettiin patteriverkoston lämmönsäätökäyrät ja asetettiin ne suunnitelmien mukaisiin arvoihin.

Pumput käytiin lävitse ja niiden tuotto mitattiin pumpunsäätöventtiilin avulla. Pumppujen virtaamat ennen ja jälkeen säädön on esitetty taulukossa 4.0.1. Taulukosta huomataan, että verkoston PV12 tuotto oli säädetty reilusti yli suunnitellun. Verkoston PV13 ja PV14 pumppujen tuottoihin ei tehty muutoksia.

TAULUKKO 4.0.1. Päätalon patteriverkoston virtaamat

Verkosto	Suunniteltu virtaama (dm ³ /s)	Virtaama ennen säätöä (dm ³ /s)	Virtaama säädön jälkeen (dm ³ /s)
PV 11	1,2	1,15	1,24
PV 12	2,2	3,1	2,21
PV 13	1,1	1,25	1,25
PV 14	0,84	0,6	0,6

Pumpun PV14PU41 toiminnassa todettiin vikaa, sillä pumpun tuottoa ei pystytty nostamaan 0,6 litrasta pumpunsäätöventtiiliä säätämällä. Pumpunsäätöventtiilin asetusta muuttamalla pumpun ääni muuttui, ja venttiilin yli oleva painehäviö lähti heilumaan. Verkoston PV14 pumppu olisikin syytä vaihtaa uuteen. Mittauksia tehdessä verkoston säätöventtiili oli ajettu kiinni manuaalisesti, jolloin päälämpöverkon pumppu ei päässyt vaikuttamaan mittauksiin.

Säätötyö tehtiin lvi-piirustusten mukaisilla virtaamilla. Myöhemmin todettiin, että lvi-piirustusten virtaamat oli laskettu 80/60 -verkoston mukaisesti, mutta verkoston menoveden lämpötila oli säädetty 70/40 -verkoston lämpötiloilla. Tämä aiheuttaa mitoitus-tilanteeseen 10 astetta suuremman jäähtymän, jolloin verkoston teho on liian suuri. Jos patterit eivät pysty tätä tehoa siirtämään huoneilmaan, jää paluueden lämpötila korkeammaksi kuin on suunniteltu. Taulukkoon 4.0.2 on laskettu verkoston ja nousulinjojen virtaamat, joilla verkoston mitoitus-teho pysyisi 70/40 -verkostossa samana kuin alkuperäisissä suunnitelmissa.

TAULUKKO 4.0.2. Mitoitusvirtaamat patteriverkostoissa.

Verkosto tai nousu	Virtaama suunnitelmissa (80/60 mitoitus)	Samalla teholla virtaama 70/40 -verkostossa
PV 11	1,2	0,8
PV 12	2,2	1,47
PV 13	1,1	0,73
PV 14	0,84	0,56
PV11-8	0,65	0,43
PV11-9	0,51	0,34
PV12-3	0,55	0,37
PV12-4	0,14	0,093
PV12-5	0,57	0,38
PV12-6	0,67	0,45
PV13-9	0,37	0,25
PV13-10	0,43	0,29
PV13-11	0,092	0,061
PV14-6	0,29	0,19
PV14-7	0,28	0,19
PV14-8	0,27	0,18
PV14-LSV01-15	0,034	0,034

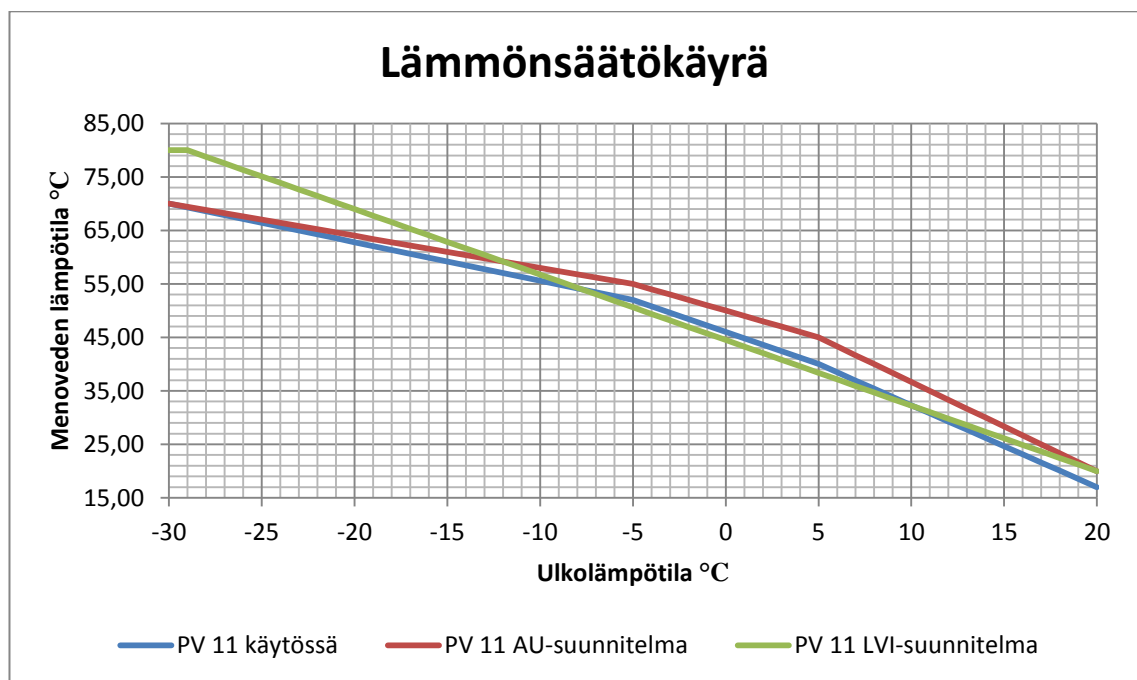
4.1 Patteriverkosto PV11

Patteriverkosto PV11 on päätalon eteläpään itäisivua palveleva verkosto, jossa on kaksi nousulinjaa, linjat PV11-8 ja PV11-9.

Liitteen 1 taulukoista nähdään, että patteriverkoston PV11 patteritermostaattien esisäädöistä 11 kappaletta 61 kappaleesta oli asetettu väärin. Näistä 11 kappaleesta kaksi termostaattirunkoa oli suurtehomallia. Virheellisiä esisäätöarvoja ja sitä myötä virtaamia oli siis 18 prosentissa verkoston pattereita.

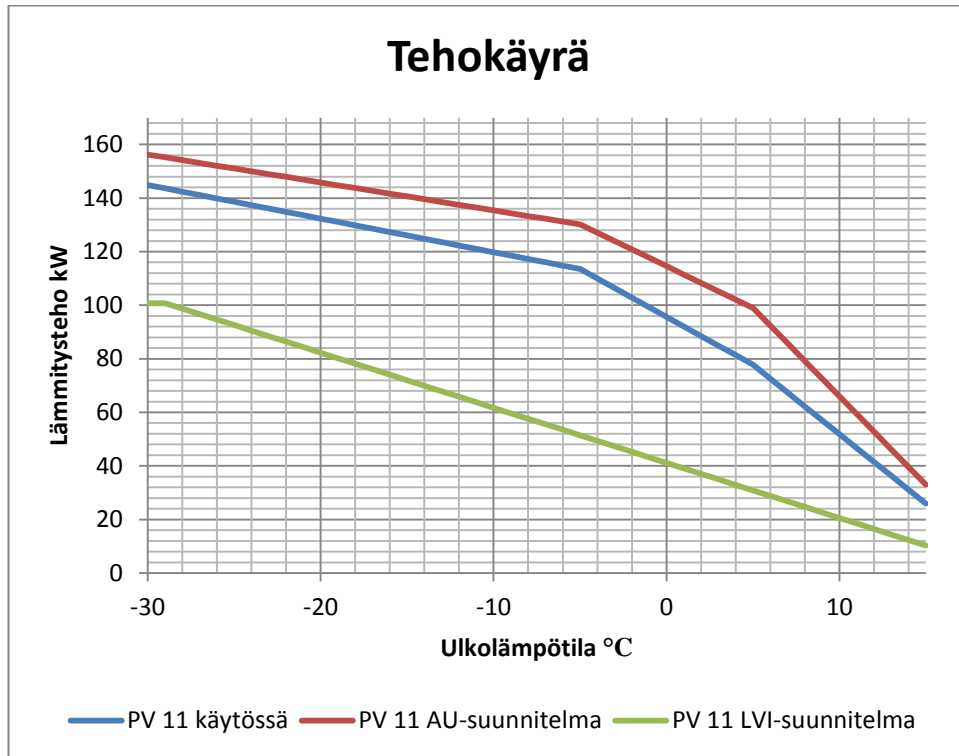
Väärin asetetut esisäätöarvot säädettiin kohdalleen, ja suurtehomalliset patteritermostaattirungot vaihdettiin normaaleihin, jolloin verkoston patterit saatiin suunnitelmien mukaiseen toimintapisteeseen.

Verkoston lämmönsäätökäyrä oli asetettu rakennusautomaatiojärjestelmään hieman liian alhaiseksi. Kuvaajassa 4.1.1 on esitetty sinisellä käyrä, joka oli rakennusautomaatioon asetettu. Lvi-suunnitelman mukainen käyrä on esitetty kuvaajassa vihreällä. Punaisella esitetty käyrä on automaatiosuunnitelmissa esitetty käyrä, joka myös verkoston perussäädön yhteydessä otettiin käyttöön. Käyristä huomataan, että esimerkiksi + 5 °C ulkolämpötilassa patteriverkostoon on ajettu 5 °C viileämpää vettä kuin automaatiosuunnitelmien mukaan pitäisi. Lvi-piirustusten mukaan verkostoon pitäisi kuitenkin ajaa samassa lämpötilassa yhden asteen verran viileämpää vettä.



KUVAAJA 4.1.1. Verkoston PV 11 säätökäyrät

Verrattaessa kuvaajassa 4.1.2 esitettyä käytössä ollutta lämmitystehoa lvi-piirustuksen ja automaatiosuunnitelman mukaisiin arvoihin, voidaan todeta käytetyn tehon olleen pienempi kuin automaatiosuunnitelmiin on merkitty, mutta paljon suurempi kuin lämmityssuunnitelmien mukainen teho olisi. Eriävyydet putki- ja automaatiosuunnitelmissa ovat johtaneet ylitehoiseen verkostoon, joka kuitenkin väärin tasapainotettuna ei ole toiminut halutulla tavalla.



KUVAAJA 4.1.2. Verkoston PV 11 tehokäyrät

4.2 Patteriverkosto PV12

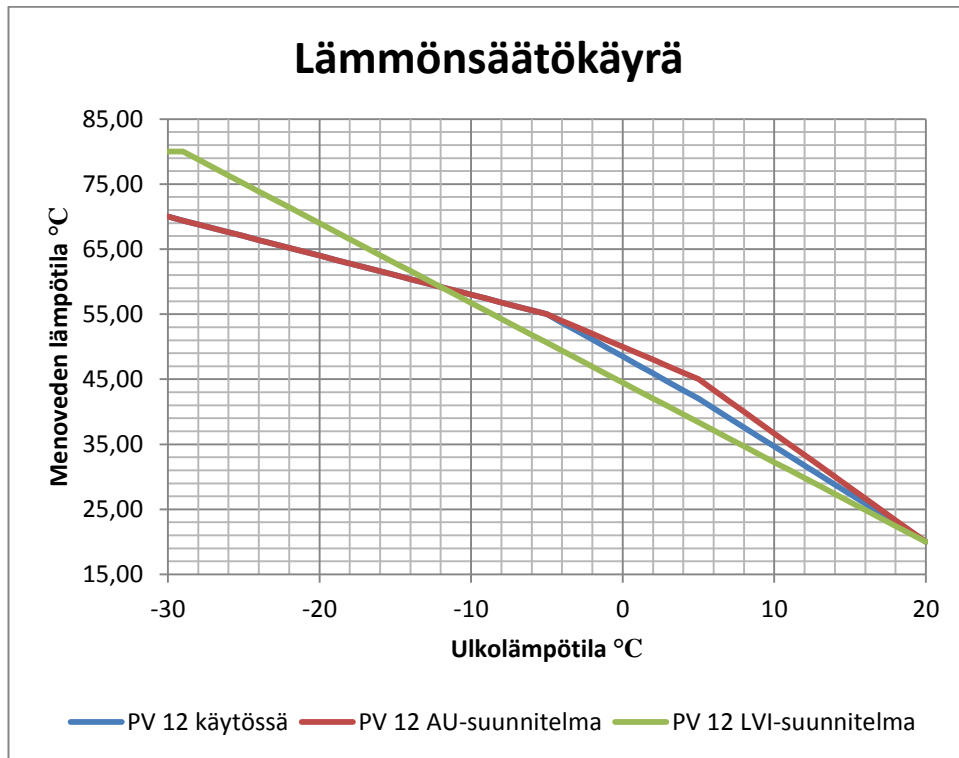
Patteriverkosto PV12 palvelee päätalon eteläpään länsisivua, sekä eteläpäässä olevaa porraskäytävää ja vahtimestarien tiloja. Tämän vuoksi patteriverkoston suunniteltu teho sekä virtaamat ovat huomattavasti suuremmat kuin verkoston PV11.

Verkostosta PV12 löytyi useita saneerauksessa tehtyjä virheitä. Porraskäytävän, eli nousulinjan PV12-3 lähes kaikki patterit oli kytketty suoraan verkostoon ilman termostaattisia patteriventtiileitä. Tämän vuoksi porraskäytävän ylimpien kerrosten lämpötila kohoosi huomattavan korkealle, jopa + 27 - 28 °C lämpötiloihin. Lisäksi linjoilla PV12-5 ja PV12-6 oli toisessa kerroksessa kaikki termostaattiventtiilien rungot suurtehomallisia, jolloin toisen kerroksen patterit ovat tarvitessaan ryöstäneet kaiken käytettävissä olevan virtaaman itselleen. Tämä on johtanut siihen, että toisen kerroksen itäsivun huoneet ovat olleet ylikuumia, ja ylempien kerrosten huoneissa on lämpötila jäänyt suunniteltua alhaisemmaksi.

Kaikkiaan verkoston PV12 pattereiden termostaattiventtiileiden esisäädöistä 35 %, eli 30 kappaletta 86 patterista oli asetettu väärin. Jätettäessä linjan PV12-3, eli porraskäytä-

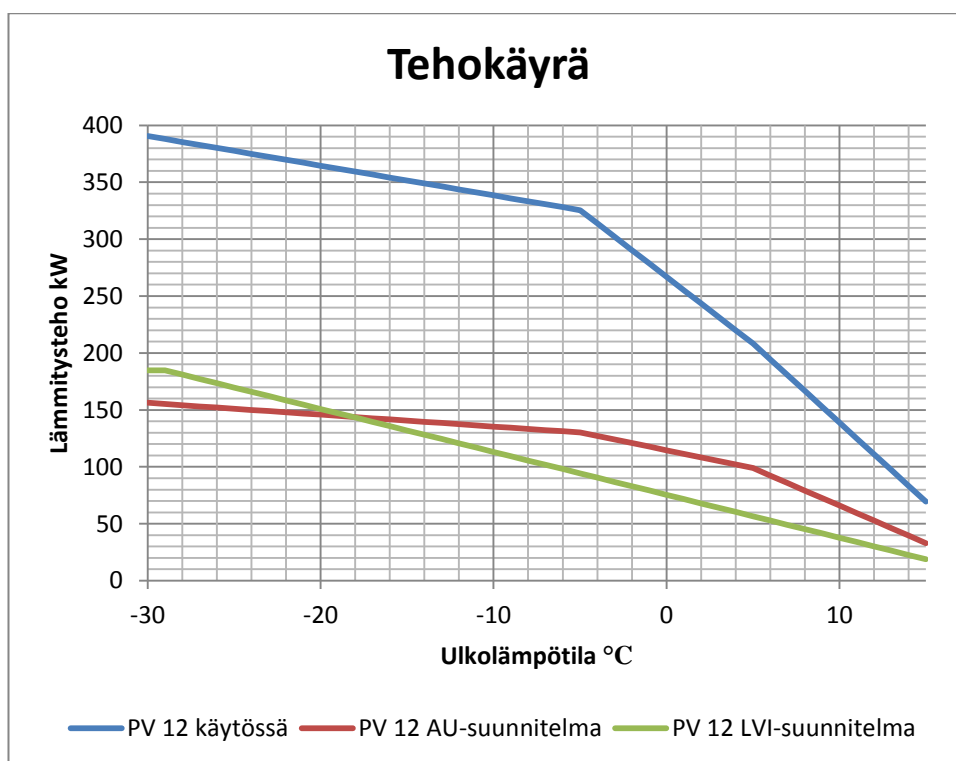
vän patterit pois laskuista, on virheellisesti esisäädettyjen patteriventtiilien määrä 19 %, eli 13 kappaletta 67 patterista.

Tutkittaessa verkoston PV12 lämmönsäätökäyrää, joka on esitetty kuvaajassa 4.2.1, voidaan huomata käytetyn käyrän olleen hyvin lähellä automaattisuunnitelman mukais- ta käyrää. Tämän perusteella voidaan todeta verkoston toimineen oikein.



KUVAAJA 4.2.1. Verkoston PV 12 säätökäyrät

Verkoston PV12 tehokäyrä on esitetty kuvaajassa 4.2.2. Tehokäyrää tutkittaessa huomataan, että käytössä ollut teho on ollut aivan liian suuri. Tämä johtui väärin säädetyistä pumpusta ja siitä, että linjan PV12-6 linjasäätöventtiili oli kokonaan auki, jolloin suurin osa muutenkin ylimääräisestä tehosta on ajettu lähinnä yhteen haaraan. Kuvaajassa 4.2.2 sinisellä piirretty käyrä kertoo käytössä olleen tehon, jonka maksimiarvo on noin 390 kilowattia. Automaattisuunnitelman mukainen teho, kuvaajaan punaisella piirretty käyrä, on maksimiarvoltaan vain 160 kilowattia. Vihreällä piirretyn lvi-suunnitelmien mukainen huipputeho olisi noin 185 kilowattia. Verkostoon on syötetty yli 200 kilowattia liikaa tehoa.



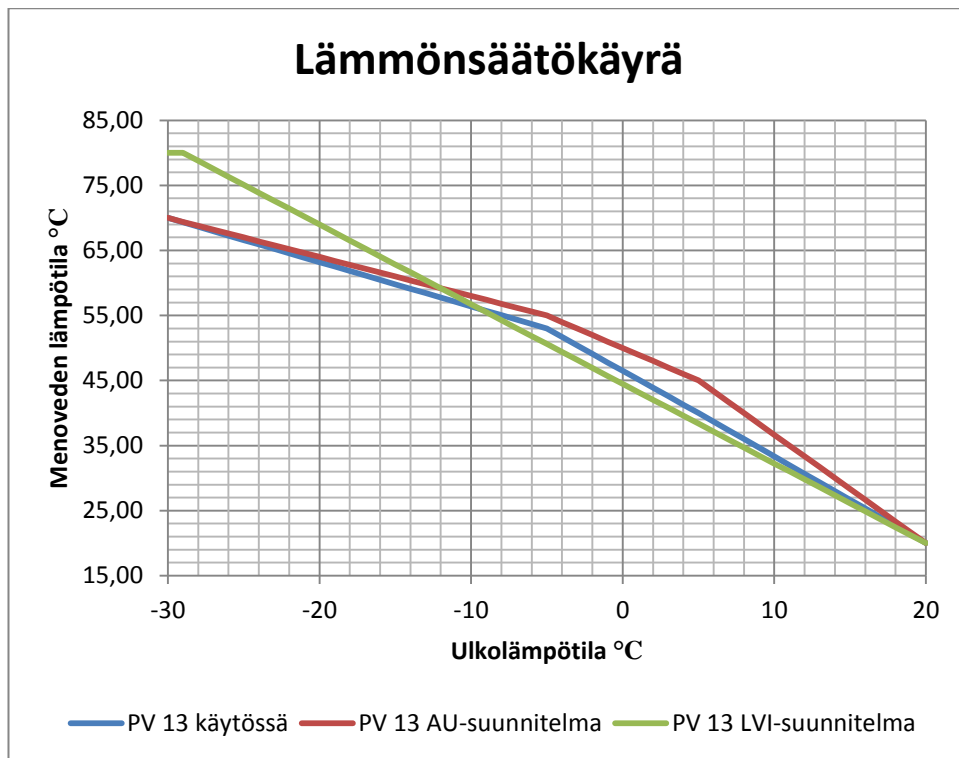
KUVAAJA 4.2.2. Verkoston PV 12 tehokäyrä

Verkoston PV12 säätämällä saatiin ko. verkoston energiankäyttö tippumaan huomattavasti. Myös korostuneet erot huoneiden sisälämpötiloissa tasoittuivat. Työn aikana suurtehomalliset termostaattiventtiilien rungot vaihdettiin vakiomallisiin. Eteläpään porraskäytävän pattereihin asennettiin termostaattiset patteriventtiilit. Tämän seurauksena porraskäytävän lämpötila tippui välittömästi alhaisemmalle tasolle, myös ylimmissä kerroksissa

4.3 Patteriverkosto PV13

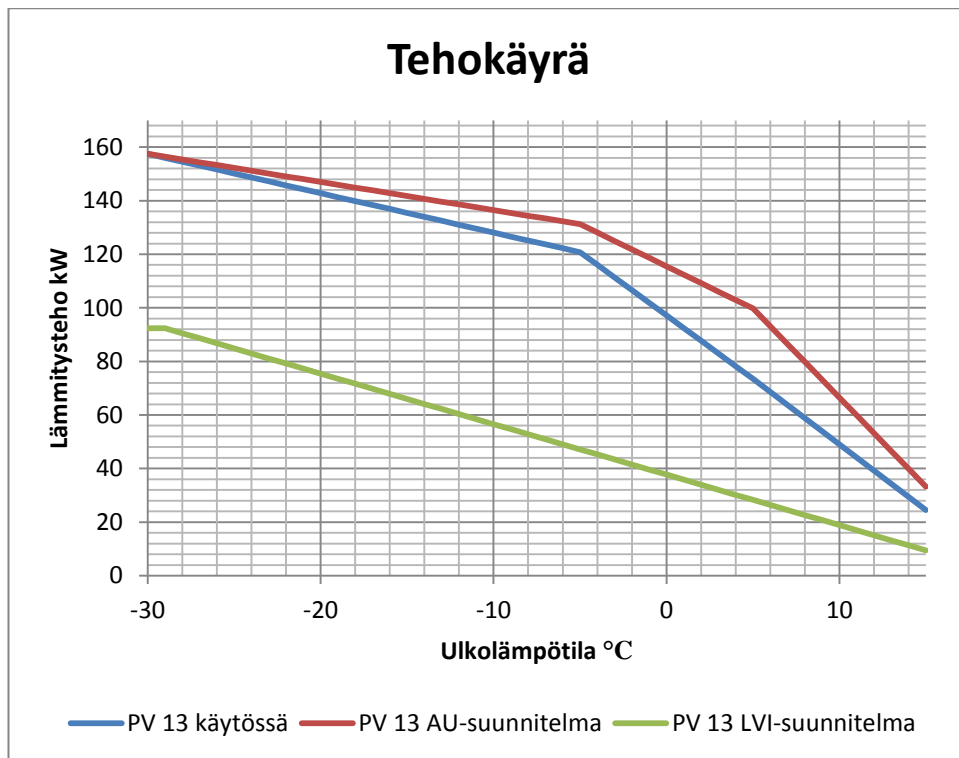
Patteriverkosto PV13 palvelee päätalon pohjoispään länsisivua. Tarkasteltaessa liitteessä 1 esitettyjä patteriverkoston liitettyjen pattereiden termostaattiventtiileiden esisäätöarvoja, voidaan todeta, että 6 % esisäätöarvoista oli asetettu väärin. Tämä on suhteellisen vähän, eikä tätä voida pitää ongelmia aiheuttavana.

Kuvaajassa 4.3.2 on esitetty verkoston PV13 lämmönsäätökäyrät. Punainen käyrä esittää suunnitelman mukaista asetusarvoa, ja sininen käyrä on käytössä ollut käyrä. Käyriltä voidaan huomata että nollakeleillä on lämpöverkoston johdetun veden lämpötila ollut jo huomattavasti viileämpää kuin on suunniteltu. Tämä osaltaan on ollut aiheuttamassa tilojen viilentymistä.



KUVAAJA 4.3.1. Verkoston PV 13 säätökäyrät

Tutkittaessa kuvaajassa 4.3.2 esitettyä verkoston tehokäyrää voidaan havaita, että verkosto on kärsinyt tehon puutteesta, kun ulkolämpötilat ovat olleet lämpimämpiä kuin - 5 °C. Kun katsotaan ilmanvaihtokoneen TK 23 lämpötilakäyrää kuvaajassa 3.2.1, huomataan, että patterien tehonpuutetta on korvattu tuloilman lämpötilaa korottamalla.



KUVAAJA 4.3.2. Verkoston PV 13 tehokäyrät

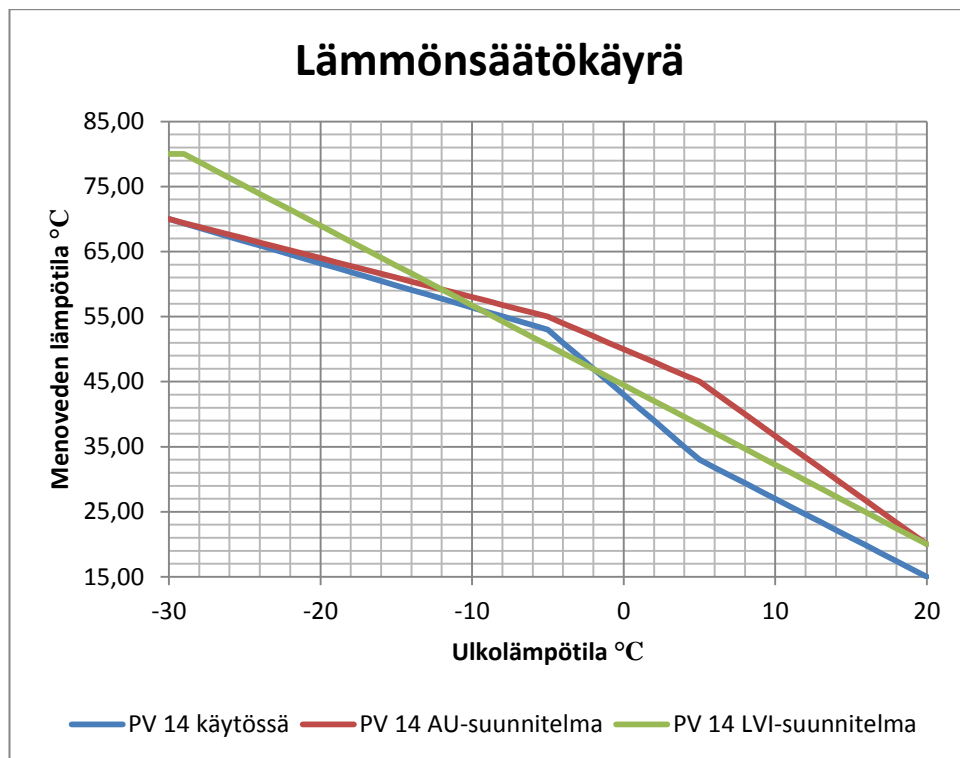
Verkoston tutkimuksissa selvisi, että verkoston putkistoissa oli tehty kytkentävirhe. Verkoston PV13 pumpulta lähtevät lämmitysputket oli kytketty ainoastaan nousulinjojen PV13-10 ja PV13-11 osalta oikein. Pumpun putkistoon oli nousujen PV13-9 ja puoli-Q sijaan kytketty koko rakennuksen pohjoispään itäsivun patterilinjat. Tämän vuoksi pumpun tuottama virtaama ei ole riittänyt, eikä linjoihin saatu säädöstä huolimatta suunniteltuja virtaamia, vaan virtaamat jäivät alle suunnitellun.

Havaitun vian korjaaminen vaatii muutoksia putkikytkentöihin. Tämä tarkoittaa keskeytystä päätalon pohjoispään patteriverkoston lämmönjakeluun. Toimenpide tulee tämän vuoksi suorittaa aikana, jolloin lämmitystä ei tarvita, sillä työn suorittamiseen menee arviolta kahdesta kolmeen työpäivään.

Havaittu vika selittää myös lämpötilaan liittyviä valituksia. Patteriverkoston PV13 menevän lämmitysveden lämpötilaa ohjataan rakennusautomaatiolla talon länsisivulla olevan ulkolämpötila-anturin antaman tiedon perusteella, pohjoispään lämpötilatiedolla painottaen. Tämä on putkikytkennästä johtuen johtanut siihen, että itäsivun patteriverkoston lämpötilaa on ohjattu länsisivun ulkolämpötilatiedon perusteella. Kun länsisivulle paistaa aurinko, verkoston lämpötilaa pudotetaan ja itäsivu jäähtyy.

4.4 Patteriverkosto PV14

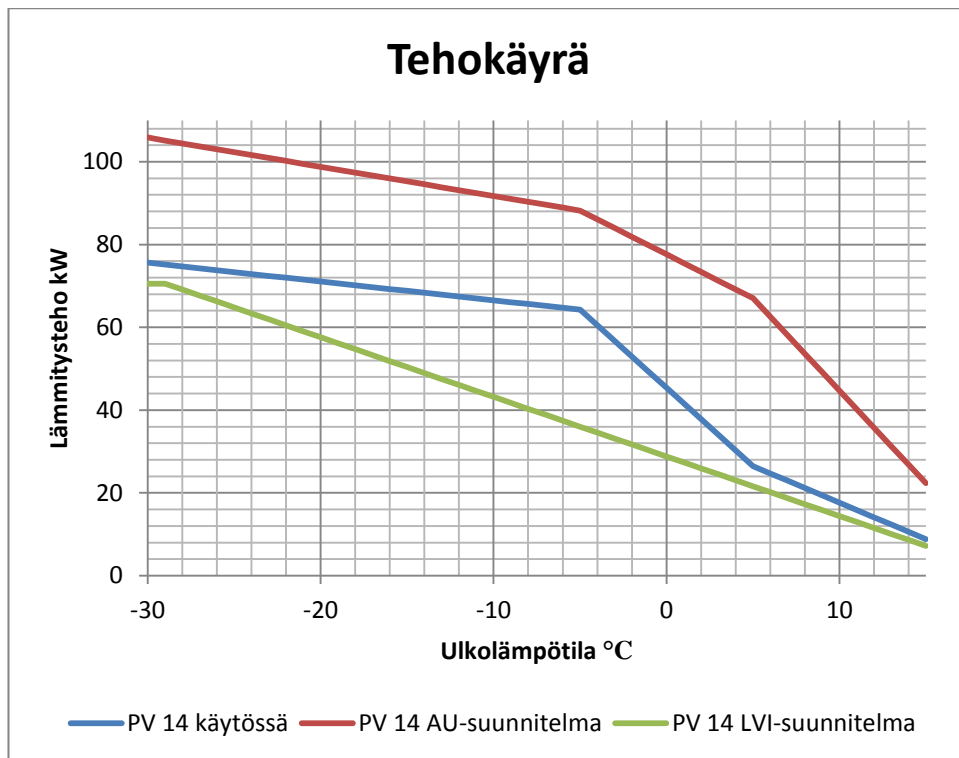
Patteriverkosto PV14 on suunnitelmien mukaan päätalon pohjoispään itäsivun lämmitysverkosto. Liitteessä 1 esitettyjen termostaattisten patteriventtiilien esisäätöarvoista verkostossa PV14 väärin säädettyjä oli 3 kappaletta ja poistettuja pattereita oli 5 kpl. Kuvaajassa 4.4.1 on esitetty verkoston lämmönsäätökäyrä. Käyrästä huomataan, että käytetty käyrä noudatti -5 °C ulkolämpötilaan asti suunnitelman mukaista käyrää, mutta tätä lämpoisemmällä ulkolämpötiloilla käyrää oli pudotettu reilusti.



KUVAAJA 4.4.1. Verkoston PV 14 säätökäyrät

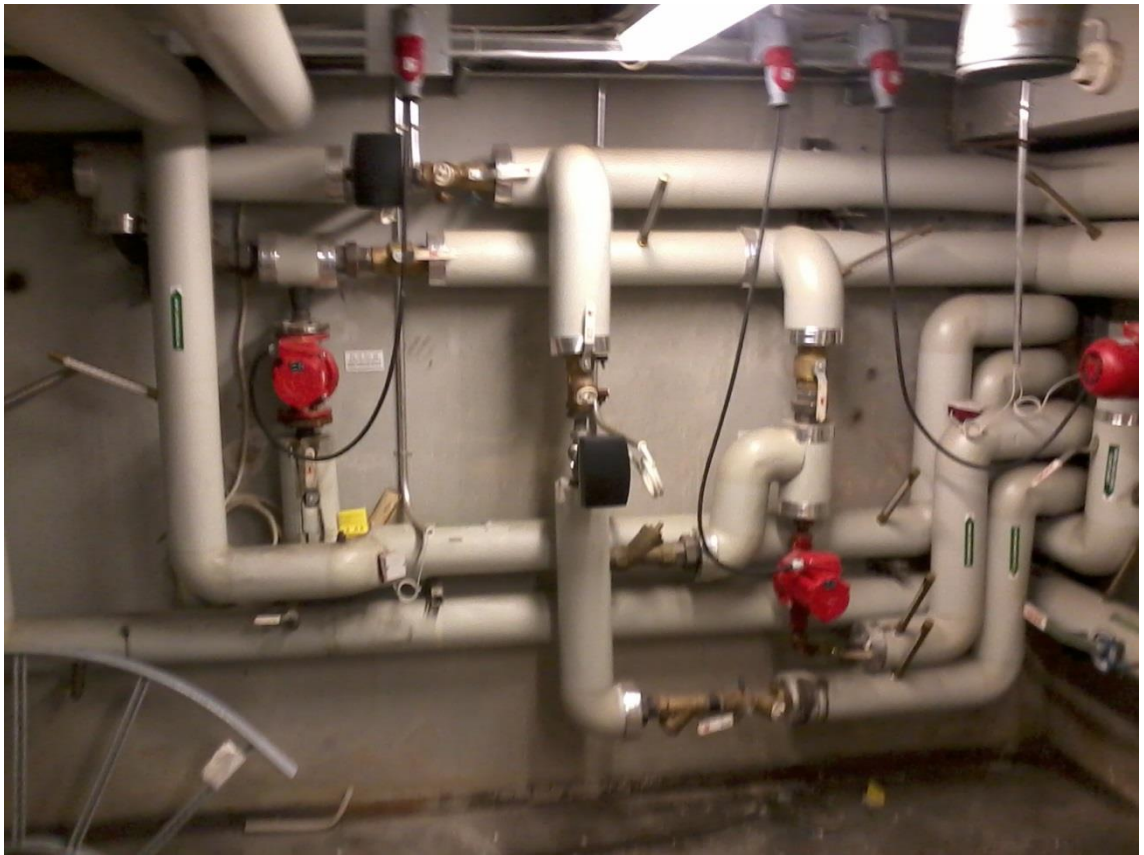
Verkoston tehokäyrä on esitetty kuvaajassa 4.4.2. Kuvaajasta nähdään, että koko verkosto on kärsinyt noin 30 kW:n tehonpuutteesta kaikilla ulkolämpötiloilla ja tästä syystä huoneissa on valitettu kylmyyttä, jota on paikattu tuloilmakoneiden sisäänpuhallusilman lämpötilaa nostamalla.

Verkoston PV14 pumpun olisi pitänyt tuottaa pohjoispään itäsivun pystylinjojen vaatimat virtaamat. Putkien kytkennässä tapahtuneen virheen vuoksi näin ei kuitenkaan ole tapahtunut, vaan patteriverkoston PV14 pumppu on tuottanut vesivirtaamia pohjoispään länsisivulle puoli-Q:n pattereille sekä yhdelle länsisivun nousulinjalle.



KUVAAJA 4.4.2. Verkoston PV 14 tehokäyrät

Pääatalon pohjoispään lämmönjakohuoneessa (Kuva 4.4.1) oli siis tehty kytkentävirhe, jonka seurauksena itäsivun patterilinjat, jotka olisi pitänyt kytkeä pumpun PV14PU41 perään, olikin kytketty pumpun PV13PU41 yhteyteen. Kytkentävirheen korjaamiseksi on liitteessä 2 esitetty muutostyön lvi-työselitys ja liitteessä 3 muutostyökuvat, joihin kuuluu lämmönjakohuoneen tasokuva, pääatalon pohjoispään tasokuva sekä lämmitysverkostojen kytkentäkaavio. Dokumenteissa on esitetty tarvittavat toimenpiteet, joilla pohjoispään lämmitysverkostot saadaan kytkettyä oikein ja toimimaan suunnitellulla tavalla. Liitteissä 2 ja 3 olevat dokumentit on lähetetty kiinteistön ylläpidosta vastaavalla taholla sähköisinä, 1:1 mittakaavaan tulostettuina pdf -tiedostoina.



KUVA 4.4.1. Päätalon pohjoispään lämmönjakohuone: Pumppuryhmä PV 13 ja PV 14.

Pumpun PV14PU41 taakse oli todellisuudessa kytketty länsisivun nousulinja PV13-9 sekä puoli-Q:n lämmityspatterit. Suunnitelmien mukaan pumpun takana pitäisi olla rakennuksen itäsivun nousulinjat. Näin ollen itäsivun pumpulla ja rakennusautomaation itäsivun säädöillä ei ole ollut mitään yhteyttä itäsivun pattereihin.

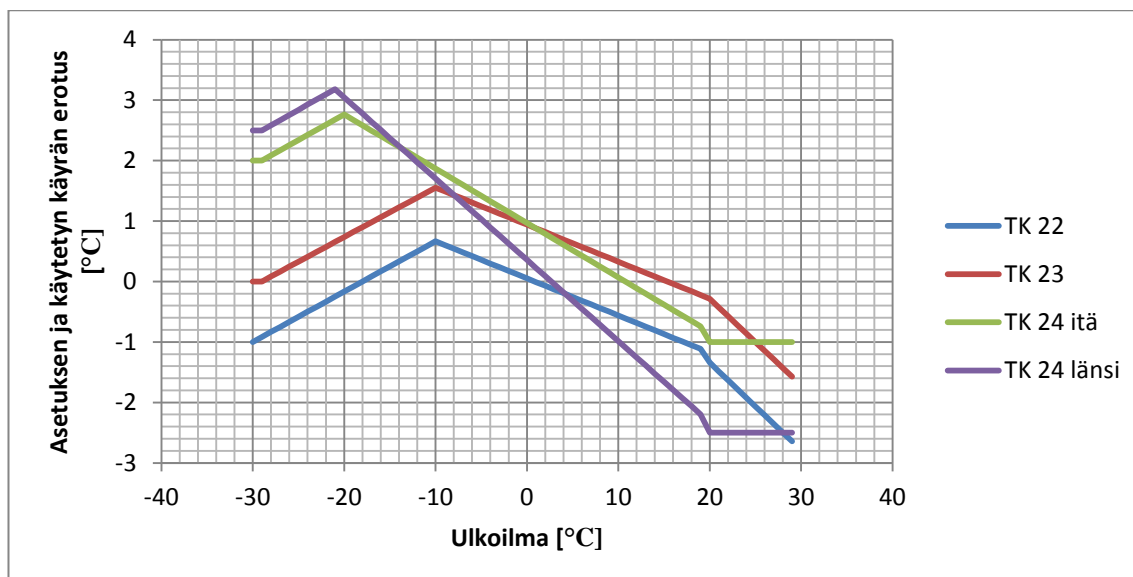
Aurinko paistaa enemmän rakennuksen itäsivulle kuin länsisivulle aikana, jolloin rakennuksessa pääasiassa oleskellaan. Tästä johtuen talvellakin, aurinkoisina päivinä kytkentävirhe on aiheuttanut ilmiön, jossa auringon säteily lämmittää itäsivun huoneita, ja itäsivun ulkolämpötila-anturin antaman tiedon perusteella patteriverkoston PV14 säädin on ajanut verkostoon menevän veden lämpötilan viileämmäksi, jolloin länsisivulla oleva puoli-Q ja pystylinjalla PV13-9 olevat tilat ovat alkaneet jäähtyä.

5 PÄTTERIVERKOSTON JA ILMANVAIHDON LÄMMITYKSEN TILA SÄÄDÖN JÄLKEEN

5.1 Ilmanvaihto ja tuloilman lämpötila

Ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterien säätökäyrät ovat kuvaajassa 3.2.1 esitetyn asetuksen mukaisia. Ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterien säätökäyrien palautus suunnitteluarvoihinsa tehtiin elokuun 2013 alussa. Elokuun loppupuolella olleiden helteiden aikana todettiin, että huonelämpötilat lähtivät iltapäivän aikana nousemaan. Tämän vuoksi kesäaikaista huonelämpötilaa tulisikin seurata. Mikäli tulevaisuudessa kesäaikainen lisjäähdytys näyttää tarpeelliselta, tulee säätökäyrää muuttaa niin, että käyrän kulmakerroin pysyy samana, mutta tuloilman minimilämpötila pienenee arvoon +16 °C. Tämä voidaan toteuttaa muuttamalla nykyinen tuloilman minimiarvo + 18 °C arvoon + 16 °C ja sitä vastaava ulkolämpötilan arvo +20 °C arvoon +32 °C.

Kuvaajassa 5.1.1 esitetään ilmanvaihtokoneiden pattereiden lämmityskäyrien ero käytössä olleiden ja suunnitelman mukaisten arvojen suhteen. Jos käyrä olisi ollut suunnitelman mukainen, kulkisi kuvaajan viiva y-akselin 0-asteen korkeudella vaakasuorassa. Kuvaajasta nähdään, kuinka suuri lämpötilaero säätökäyrissä on ollut suunnitteluarvoon verrattuna eri ulkolämpötiloilla. Kuvaajassa y-akselin positiiviset arvot kertovat, kuinka paljon käytössä ollut tuloilman lämpötila on ollut suunnitteluarvoa lämpimämpi, ja negatiiviset arvot, kuinka paljon käytössä ollut tuloilman lämpötila on ollut suunniteltua kylmempi.



KUVAAJA 5.1.1. Säätekäyrien ero suunnitteluarvoihin ulkolämpötilan funktiona.

5.2 Lämmitysverkostot

Viikolla 42/2013 suoritettiin verkoston perussäätö. Päätalon eteläpään verkostot PV11 ja PV12 saatiin säädettyä suunnitteluarvoihin. Säädön yhteydessä patteritermostaattien termostaattiosat asetettiin arvoon 4, joka suunnilleen vastaa huonelämpötilaa + 20,5 °C. Tämän johdosta on kuultu kahdesta työhuoneesta valitusta kylmyydestä, mutta nämäkin poistuivat, kun tilojen termostaattia käännettiin suuremmalle, sekä opastettiin tilan käyttäjiä termostaatin toiminnasta ja käyttäjän mahdollisuuksista itse säätää huonelämpötilaa.

Talon pohjoispään verkostojen säätö ei onnistunut putkikytkennän virheistä johtuen. Pohjoispään termostaattisten patteriventtiileiden esisäätöarvot asetettiin kohdalleen ja virtaamat säädettiin niin lähelle oikeaa kuin pumppujen tuottokyky huomioiden oli mahdollista. Pohjoispään verkostot on säädettävä uudelleen sen jälkeen, kun lämmönjakohuoneessa todettu virheellinen putkikytkentä on korjattu.

Pohjoispään sisätilojen olosuhteiden parantamiseksi tehtiin rakennusautomaation ohjelmamuutos. Ohjelmaa muutettiin niin, että verkostoa PV14 ohjataan itäsivun ulkolämpötilatiedon sijasta länsisivun lämpötilatiedon perusteella, pohjoispään ulkolämpötilatiedolla painotettuna. Vastaavasti verkoston PV13 ohjaus muutettiin seuraamaan rakennuksen itäsivun lämpötilatietoa, pohjoispään ulkolämpötilatiedolla painottaen. Näin

saatiin aikaan tilanne, jossa pohjoispään lämmityksen ohjauksesta 75 % toimii oikein aikaisemman 25 %:n sijaan.

Pohjoispään verkostojen kytkentävirheiden korjaamiseksi tehtiin liitteessä 2 ja 3 esitetyt dokumentaatiot, joilla TAMKin kiinteistöjen toiminnasta vastaava taho voi pyytää tarjoukset ja teettää tarvittavat muutokset. Liite 2 sisältää LVI-työselostuksen. Liitteessä 3 on esitetty muutospiirustukset, tasokuvat ja kytkentäkaavio. Työselostukseen on sisällytetty myös verkostojen nousulinjojen virtaamien säätäminen muutostyön viimeisenä osana. Tällä varmistetaan verkostojen virtaamat.

5.3 Muutokset huonelämpötiloissa

Tamkin Kuntokadun kampuksella suoritettiin syksyn 2012 ja joulun 2013 välisenä aikana Motivan mallin mukainen energiakatselmus, jonka yhteydessä mitattiin huoneiden lämpötiloja. Opinnäytetyössä hyödynnettiin näitä mittaustuloksia, kun verrattiin säädön jälkeisiä huonelämpötiloja ennen säätöä vallinneisiin lämpötiloihin.

Ennen patteriverkostojen säätöä rakennuksen lämpötilat vaihtelivat +20,0 ja +25,2 celsiusasteen välillä keskilämpötilan ollessa 22,7 °C. Säädön jälkeen lämpötilojen vaihteluväli oli 18,2 celsiusasteen ja 23,3 celsiusasteen välillä keskilämpötilan ollessa 21,1 °C. Säätyöyllä saatiin pudotettua rakennuksen keskilämpötilaa 1,6 °C. Pelkän huonelämpötilojen alenemisen perusteella saavutetaan laskennallisesti luvussa 6.4 esitetyn mukainen säästö vuotuisessa energiankulutuksessa.

Edellä esitetyt säädön jälkeiset lämpötilavaihtelut tuntuvat suurilta, mutta kun tarkastellaan tilannetta tarkemmin, huomataan että säätyöyllä saavutettiin tasaisemmat lämpötilat. Mittauksissa lämpötilat mitattiin joistain päätalon luokka- ja työhuoneista, sekä käytäviltä ja esimerkiksi Teiskontien puoleisen sisäänkäynnin edustalta aulatilasta. Työ- ja luokkahuoneiden ylin lämpötila ennen säätöä oli 24,1 °C ja kylmin 20,0 °C. Säädön jälkeen ylin lämpötila oli 22,1 °C ja kylmin 19,9 °C. Käytävillä, Teiskontien puoleista aulaa lukuun ottamatta, ylin lämpötila oli 26,3 °C ja viilein 21,0 °C. Säädön jälkeiset lämpötilat oli 22,8 °C ja 20,5 °C:n välillä. Huoneissa lämpötilojen vaihtelu kaventui säädöllä 4,1 °C:sta 1,2 °C:een. Käytävissä lämpötilojen vaihtelu pieneni 5,3 °C:sta 2,3 °C:een. Teiskontien puoleisen sisäänkäyntiaulan lämpötila putosi 23 °C:sta 18,2°C:een.

Aulassa kuljetaan paljolti ulkovaatteet päällä, joten sen lämpötila on perusteltua pitää viileähkönä.

5.4 Ikkunoiden vaikutus sisätilojen olosuhteisiin

Päätalossa on seinäpinta-alaa reilu 4 500 m². Tästä seinäpinta-alasta noin 36 % eli noin 1650 m² on ikkunoita. Tästä johtuen ikkunoilla on hyvin merkittävä vaikutus sisäolosuhteisiin. Päätalon länsisivun ja eteläpäädyn ikkunat on uusittu vuosina 2009 ja 2013. Vuonna 2009 uusittiin eteläpäädyn ja länsisivun eteläosan ikkunat, kesällä 2013 vaihdettiin länsisivun pohjoispään ikkunat. Itäisivulla on vielä alkuperäiset ikkunat. Alkuperäisten ikkunoiden U-arvo on 2,7 W/m²K, vuonna 2009 uusittujen ikkunoiden U-arvo on 1,8 W/m²K ja 2013 uusitut ikkunat ovat U-arvoltaan 1 W/m²K.

Länsisivulla on ikkunapinta-alaa noin 805 m². Ilmatieteen laitoksen nykyilmaston testi- vuosiaineiston mukaan saadaan lännen puoleisille seinäpinnoille lämmityskauden aikana lämpösäteilyä 275,87 kWh/m². Lämmityskautena laskelmassa on käytetty aikaa, jolloin ulkolämpötila on alle 14 °C. Kun lämpösäteilyn määrän laskemiseen otetaan mukaan säteilykulmasta johtuva kerroin 0,6 sekä lasista johtuva kerroin 0,75, saadaan länsipuolen ikkunoista testivuoden aineiston mukaisesti yhteensä lämpösäteilyä

$$Q_{As,länsi} = 275,87 \frac{kWh}{m^2} \cdot 805 m^2 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 99,93 MWh$$

jossa,

$$Q_{As,länsi} = \text{auringon lämpösäteily määrä länsisivulle}$$

Eteläpäädyssä on ikkunapinta-alaa noin 133 m². Nykyilmaston testivuoden aineistosta laskettuna päivisin, kello 10-14, jolloin auringolla on mahdollisuus paistaa eteläpäätyyn, saadaan pystypinnalle auringon säteilyä 225,2 kWh/m². Käyttämällä samoja suunta- ja ikkunakertoimia saadaan eteläpäädyn ikkunoista lämpösäteilyä yhteensä

$$Q_{As,etelä} = 225,2 \frac{kWh}{m^2} \cdot 133 m^2 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 13,5 MWh$$

jossa,

$$Q_{As,etelä} = \text{auringon säteily määrä eteläpäädyllä}$$

Itäisivun ikkunapinta-ala on noin 691 m². Nykyilmaston testivuoden aineiston mukaan itäisivulle saadaan kello 00 - 11 välisenä aikana lämmityspumppujen käyntiaikana au-

ringon säteilyä $235,92 \text{ kWh/m}^2$. Samoilla suunta- ja ikkunakertoimilla kuin länsisivulle ja eteläpäätyyn on käytetty, saadaan itäsivulta lämpösäteilyä yhteensä

$$Q_{As,itä} = 235,92 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 691 \text{ m}^2 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 73,36 \text{ MWh}$$

jossa,

$$Q_{As,etelä} = \text{auringon säteily määrä itäsivulle}$$

Kun nämä säteilymäärät lasketaan yhteen, saadaan koko päärakennukseen saatavan auringon säteilymäärän summa:

$$\begin{aligned} Q_{As,yhteensä} &= Q_{As,länsi} + Q_{As,etelä} + Q_{As,itä} \\ &= 99,93 \text{ MWh} + 13,5 \text{ MWh} + 73,36 \text{ MWh} = 186,8 \text{ MWh} \end{aligned}$$

jossa

$$Q_{As,yhteensä} = \text{auringon säteily määrä yhteensä}$$

Tämä säteily määrä olisi siis mahdollista saada rakennukseen sisälle, ja sillä pystyttäisiin pienentämään rakennuksen priimaenergian tarvetta. Todellisuudessa rakennuksessa on aina enemmän ja vähemmän sälekaihtimia ja verhoja vedetty ikkunoiden eteen, joten todellinen auringon säteilyn hyödyntäminen jää murto-osaan sen potentiaalista. Nykyinen opetustapa, jossa tuntiaineisto heijastetaan videotykillä valkokankaalle, ei onnistu, mikäli verhot luokkatilassa olisivat auki. Tämän vuoksi auringon tarjoama ilmaisenergia jää lähes kokonaan käyttämättä.

Ikkunoilla on myös vaikutusta huoneen oleskeluvyöhykkeen operatiiviseen lämpötilaan. Operatiiviseen lämpötilaan vaikuttaa sekä ilman lämpötila, että säteilylämpö. Tärkein tähän vaikuttava tekijä on ikkunan pintalämpötila, joka on huonomman U-arvon omaavalla ikkunalla alhaisempi kuin paremman U-arvon omaavassa ikkunassa. Huoneen lämpötila voi olla suositusten mukainen, mutta huoneessa olija saattaa tuntea huone-lämpötilan liian alhaiseksi ikkunan pintalämpötilan aiheuttaman kylmän säteilyn vuoksi. Tämä ikkunan kylmän säteily korostuu tiloissa, joissa ikkunapinta-ala on suuri.

Vanhojen, länsisivulla olevien ikkunoiden U-arvo on huono, $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mitoitusolosuhteissa ikkunan pintalämpötila putoaa hyvin alhaiseksi, $3,4 \text{ }^\circ\text{C}$:een. Tämä aiheuttaa ikkunasta tulevan kylmän säteilyn tehoksi

$$\begin{aligned}
\Phi_{\text{säteily}} &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{kap}}^4 - T_{\text{ymp}}^4) \\
&= 0,95 \cdot 5,6705 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot 2,4m \cdot 2,25m \cdot (277,4K^4 - 294K^4) \\
&= -450,8 W
\end{aligned}$$

jossa

$\Phi_{\text{säteily}}$ = lämpösäteilyn teho wattia [W]

ε = pinnan emissiivisyyskerroin

σ = Stefan – Boltzmannin vakio

A = säteilevän kappaleen pinta – ala

T_{kap} = kappaleen lämpötila

T_{ymp} = ympäristön lämpötila

Itäsivulle vuonna 2009 uusittujen ikkunoiden U-arvo 1,8 W/m²K aiheuttaa mitoituspak-
kasella ikkunan sisäpinnan lämpötilaksi 9,4 °C. Tällaisella pintalämpötilalla ikkunan
säteilytehoksi muodostuu

$$\begin{aligned}
\Phi_{\text{säteily}} &= 0,95 \cdot 5,6705 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot 2,4m \cdot 2,25m \cdot (282,4K^4 - 294K^4) \\
&= -323,2 W
\end{aligned}$$

Itäsivun pohjoispäähän kesällä 2013 uusitut ikkunat olivat U-arvoltaan 1,0 W/m²K. Täl-
laisilla laseilla ikkunan sisäpinnan lämpötila on 14,5 °C, kun ulkona on pakkasta -29 °C.
Kyseisellä ikkunan pintalämpötilalla ikkunan säteilytehoksi muodostuu

$$\begin{aligned}
\Phi_{\text{säteily}} &= 0,95 \cdot 5,6705 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot 2,4m \cdot 2,25m \cdot (287,5K^4 - 294K^4) \\
&= -185,9 W
\end{aligned}$$

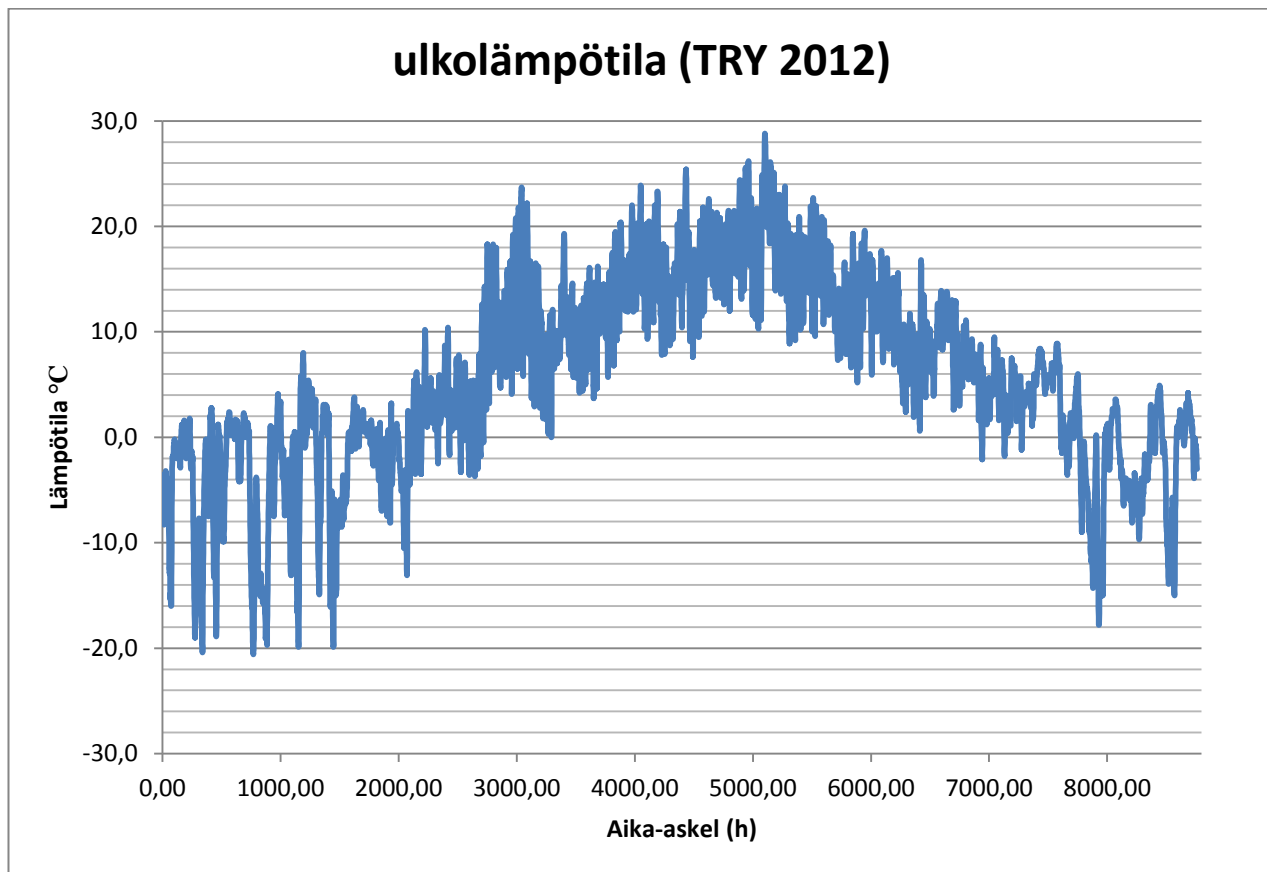
Vuonna 2013 uusituista ikkunoista aiheutuu mitoituspakkasilla jopa 264,9 Wattia (58
) pienempi kylmän säteilyteho kuin alkuperäisistä laseista. Edellä lasketun säteilyte-
hon lisäksi huonomman U-arvon omaava ikkuna aiheuttaa myös suuremman lämmitys-
tarpeen kuin paremmalla U-arvolla oleva ikkuna, jossa johtumislämpöhäviö on pienem-
pi. Johtumislämpöhäviöiden pienentämisen lisäksi vanhojen ikkunoiden uusimista voi-
daan suositella myös säteilyhäviön pienentämisen vuoksi. Mitä pienempi säteilyteho
ikkunasta aiheutuu, sitä paremmaksi muodostuu sisäolosuhteet. Säteilylämmön hukkaa
eli kylmän säteilyn tuomia viihtyvyysoongelmia on yleensä paikattu sisälämpötilaa nos-
tamalla, joka myös nostaa rakennuksen energiakustannuksia.

6 MUUTOKSET RAKENNUKSEN ENERGIAN KULUTUKSESSA

6.1 Laskennan lähtökohdat

Energiankulutuksen ja energiansäästön laskelmat perustuvat Ilmatieteen laitoksen julkaisemaan aineistoon Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 (TRY2012), johon on koostettu nykyilmastoa kuvaava vuoden lämpötilatiedot tunnin välein kirjattuna.

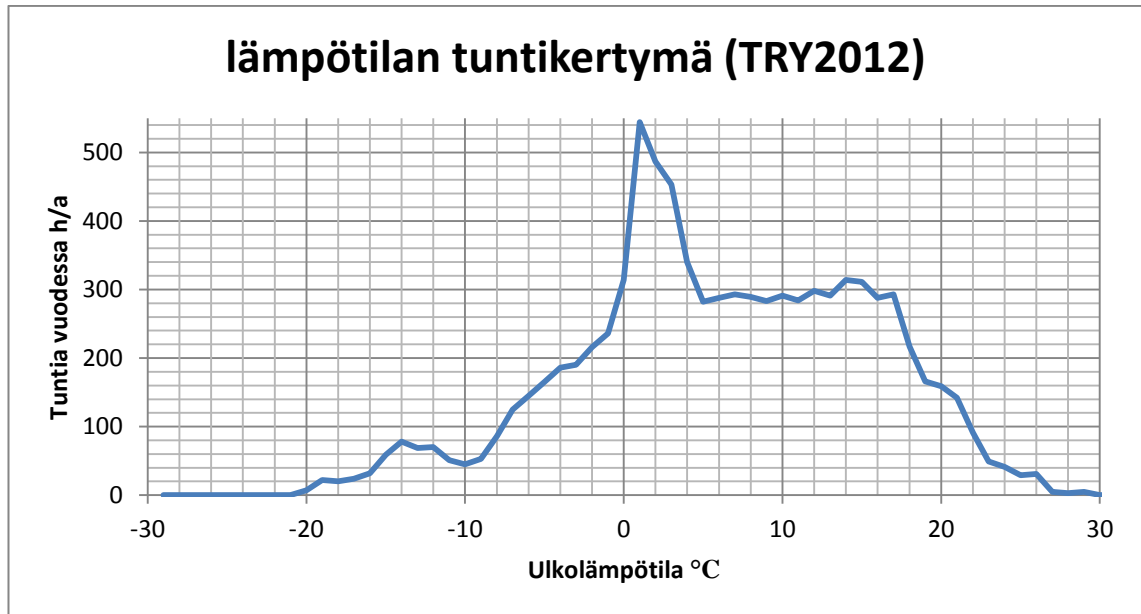
Aineistoon sisältyy lämpötilatiedon lisäksi myös tiedot auringon säteilystä, tuulesta ja ilman kosteudesta, joiden merkitys rakennuksen lämmitykseen on vähäisempi kuin lämpötilan. (Jylhä ym.) Testivuoden lämpötilat on esitetty kuvaajassa 6.1.1.



KUVAAJA 6.1.1 Testivuoden TRY 2012 lämpötilat ajan funktiona

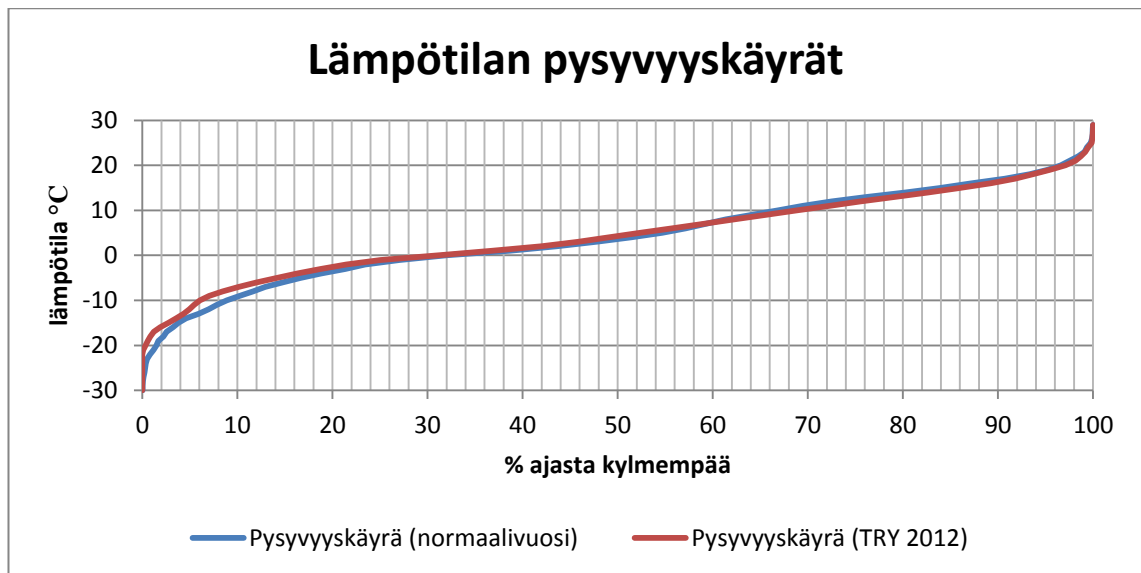
Jotta testivuoden aineistoa pystyttäisiin käyttämään hyödyksi energialaskennassa, tulee aineisto muuttua sellaiseen muotoon, josta nähdään kunkin lämpötila-arvon esiintymisaika vuodessa. Opinnäytetyössä lämpötila-askeleeksi valittiin 1 °C, ja aika-askeleeksi raportin aika-askel, joka on yksi tunti. Ulkolämpötilan tuntikertymä on esitetty kuvaajassa 6.1.2. Kuvaajaa luettaessa tulee huomata, että ulkolämpötila 0 °C sisältää lämpötila-

lat väliltä $-0,9\text{ °C}$ - $0,0\text{ °C}$, ulkolämpötila 1 °C lämpötilat $0,1\text{ °C}$ - $1,0\text{ °C}$, ja niin edelleen.



KUVAAJA 6.1.2 Testivuoden TRY2012 lämpötilojen tuntikertymät

Testivuosiaineistosta laskettiin lämpötilan pysyvyyskäyrä ja tätä verrattiin vielä nykyisinkin käytettyyn vanhaan, vuoden 1979, eli normaalivuoden lämpötilan pysyvyyskäyrään. Nämä on esitetty kuvaajassa 6.1.3. Kuvaajasta havaitaan, että TRY2012 -testivuoden pysyvyyskäyrä noudattaa hyvinkin tarkasti normaalivuoden pysyvyyskäyrää. TRY2012 aineistossa kylmin esiintyvä lämpötila on $-20,6\text{ °C}$, kun normaalivuodessa kylmin lämpötila on -29 °C . Arvioiden mukaan rakennusten lämpöenergian kulutus tulee laskemaan pelkästään ilmastonmuutoksen johdosta 4 - 7 % vuoteen 2030 mennessä (Jylhä ym.).



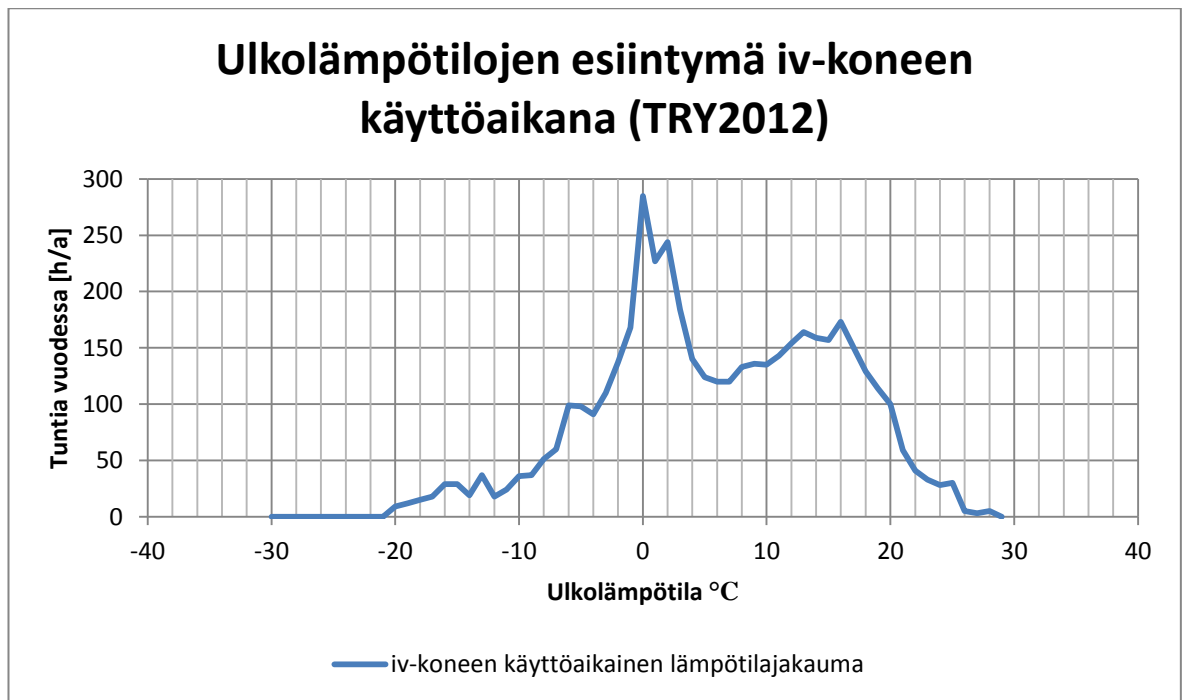
KUVAAJA 6.1.3 Lämpötilojen pysyvyyskäyrät

6.2 Muutokset ilmanvaihdon tuloilman lämmityksessä

Ilmanvaihdon lämmityskäyrän palauttaminen alkuperäiseen säätöarvoonsa aiheuttaa suoraan lämpötilan pudottamisen mukaisen säästön energiankäytössä. Koska taloa lämmitetään patteriverkostolla, on ilmanvaihdolla tuotu lisää lämpöä huoneeseen, ja kun tämä ylimääräisen lämmön tuonti poistetaan, jää sen osuus säästöksi.

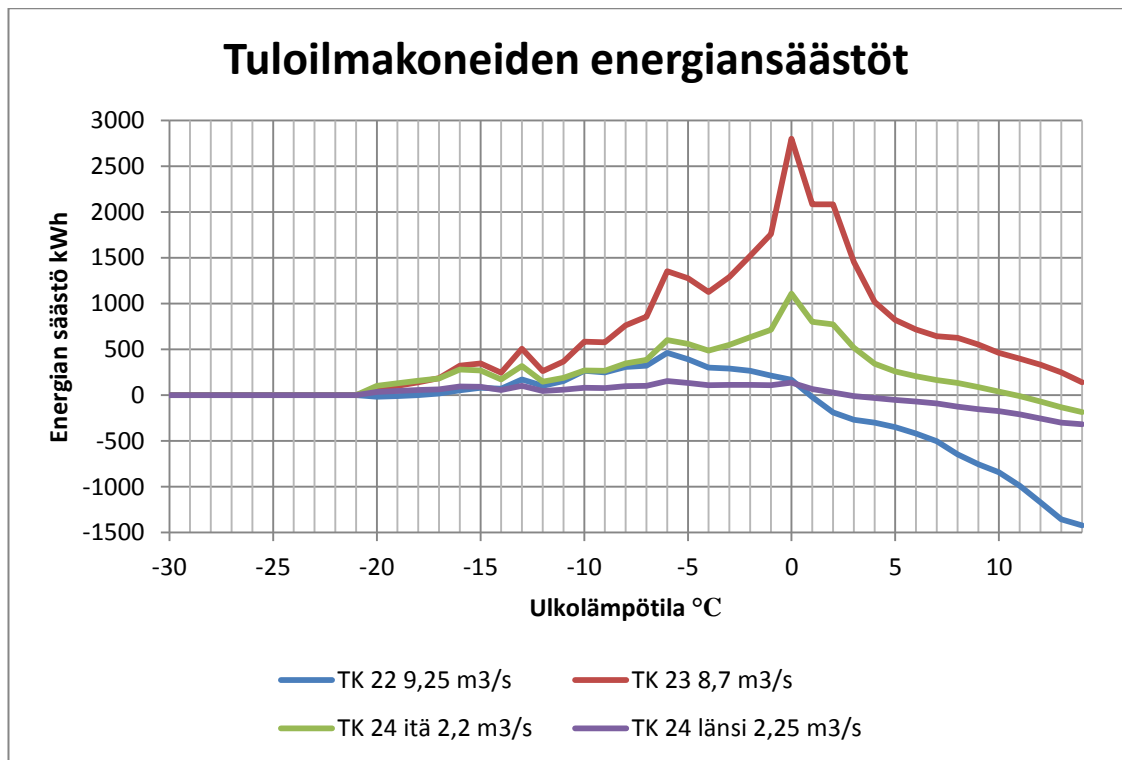
Ilmanvaihdon lämmityksen säätökäyrän muuttamisella saavutetun säästön määrittämiseksi tulee ilmanvaihtokoneen toiminta simuloida. Simulointi suoritettiin laskemalla yhden Celsius-asteen kokoisilla portailla koko vuoden käyttö. Ulkolämpötilana käytettiin Ilmatieteen laitoksen nykyilmaston testivuoden tuntiaineistoa, johon on koottu I ja II - säävyöhykkeen ulkolämpötilatiedot tunnin välein.

Testivuoden tuntiaineistosta kerättiin ilmanvaihtokoneen käyntiaikojen mukaiset lämpötilatiedot. Saadusta aineistosta laskettiin kunkin ulkolämpötilan esiintymisaika ilmanvaihtokoneiden käyntiaikana. Tuntikertymät on esitetty kuvaajassa 6.2.2. Tuntikertymän kuvaajasta nähdään, että suurin osa ilmanvaihtokoneen käyttöajasta tapahtuu ulkolämpötilan ollessa -5 - +15 astetta.



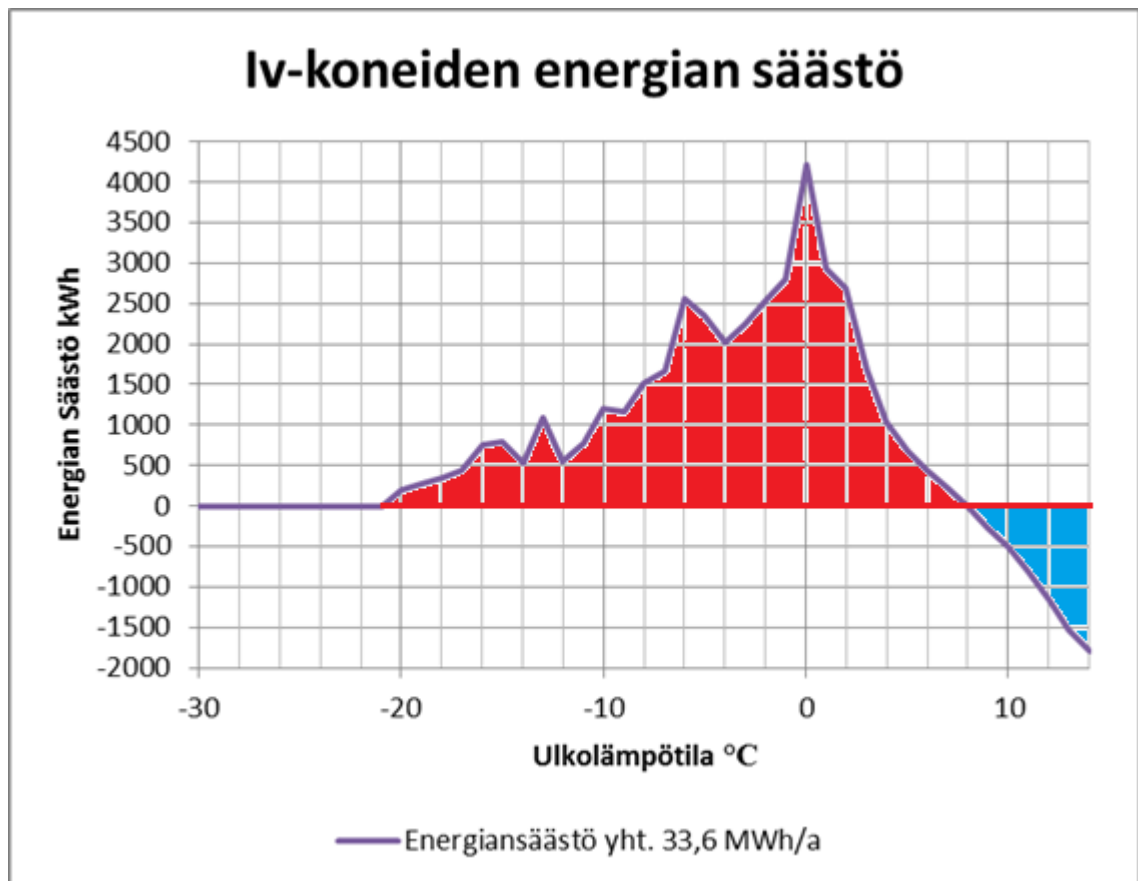
KUVAAJA 6.2.2 Testivuoden ulkolämpötilojen tuntikertymä ilmanvaihtokoneiden käyntiaikoina.

Seuraavaksi laskettiin kutakin ulkolämpötilatietoa vastaava tuloilman lämpötilan erotus käytössä olleen ja työn suoritusvaiheessa asetetun lämpötilan välillä. Lämpötilaeroa laskettiin + 14 °C ulkolämpötilaan asti. Lämpimämmillä keleillä voidaan olettaa lämmön talteenoton yksin pystyvän lämmittämään tuloilman haluttuun lämpötilaan. Asetuksen ja käytössä olleen käyrien erotuksista syntyvät energiansäästöt on esitetty ilmanvaihtokoneittain kuvaajassa 6.2.3. Kuvaajassa positiivisella y-akselilla olevat arvot kuvaavat kyseessä olevan ulkolämpötilan aikana saatua energiansäästöä, negatiivisella y-akselin alueella kuvataan lisääntyntä energian käyttöä. Kuvaajasta nähdään, että TK 22 on ollut ennen säätöä hyvin lähellä suunnitelman mukaista säätökäyrää ja TK 23:n säätökäyrä on ollut kauimmaisena suunnitellusta säätökäyrästä, jolloin TK 23:n säätökäyrän muutoksella saatiin aikaiseksi suurin energiansäästö.



KUVAAJA 6.2.3 Ilmanvaihtokoneiden lämmityskäyrän säätämällä saavutetut energian säästöt ulkolämpötilan funktiona.

Kokonaisuutta ajateltaessa täytyy edellä esitetyt ilmanvaihtokonekohtaiset säästöt laskea yhteen, jolloin saavutetaan ilmanvaihtokoneiden lämmityskäyrien säädöllä saavutettu kokonaisenergiansäästö. Tämä on esitetty kuvaajassa 6.2.4. Simuloinnin tuloksena saatiin kokonaisenergiansäästöpotentiaaliksi 33,6 MWh/a. Kuvaajasta kuitenkin nähdään, että ulkolämpötilan ylittäessä + 8 °C, kääntyy energiansäästö negatiiviseksi, jolloin ilmanvaihtokoneet kuluttavat lämpöenergiaa enemmän kuin aikaisemmin. Tämä energian kulutuksen lisäys on viihtyvyyden kannalta hyvä asia. Aikaisemmin lämpöisillä keleillä ilmanvaihdolla kompensoitiin patteriverkoston ja ilmaisenergioiden tuomia lämpökuormia. Kun patteriverkosto toimii oikein, tällaista tarvetta ei synny, sillä termostaattiset venttiilit rajoittavat lämmitystä ilmaisenergioiden riittäessä pitämään huonelämpötila haluttuna. Kylmä tuloilma lisää vedon tunnetta, joten säädön jälkeinen lämpimämpi, mutta silti huonelämpötilaan verrattuna alilämpöinen tuloilma sekoittuu huoneeseen pienemmällä vedon tunteen riskillä.



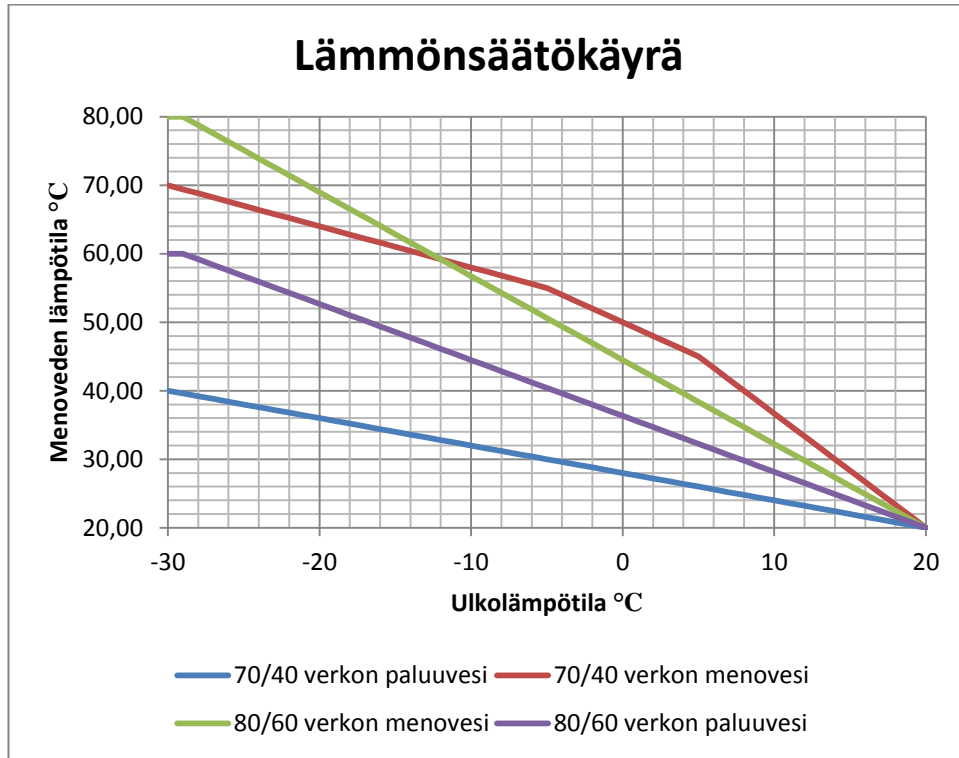
KUVAAJA 6.2.4 Ilmanvaihtokoneiden yhteenlaskettu energiansäästö ulkolämpötilan funktiona.

6.3 Muutokset patteriverkoston energiankäytössä linjojen virtaamien mukaan

Lämmitysverkoston energiankulutusta simuloitiin nykyilmaston testivuoden (TRY 2012) lämpötilatiedoilla. Kiinteistön rakennusautomaatioon oli määritelty pumppujen käyntirajaksi +15 °C, joten energiankäytön simulointiin otettiin mukaan kaikki tätä lämpötilaa alhaisempien lämpötilojen tuntikertymät. Käyntirajalla tarkoitetaan rakennusautomaatioon asetettua ulkolämpötilaa, jota kylmemmällä kelillä pumput on käyntilupa, ja jota lämpimämmällä kelillä pumput ovat pois päältä.

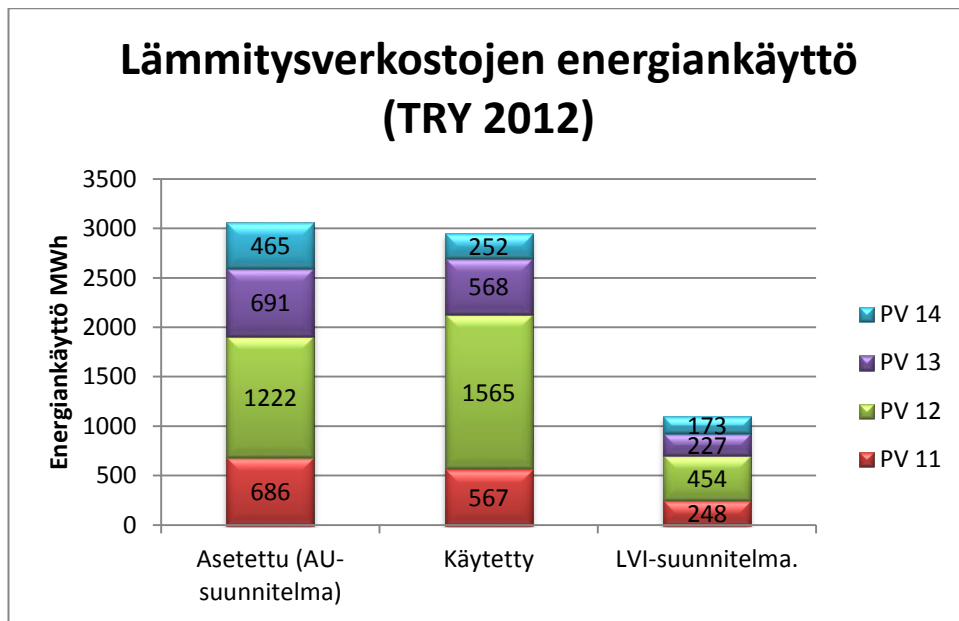
Energialaskenta suoritettiin sekä käytössä olleille automaatiopiirustusten mukaisille, asetetuille, sekä alkuperäisen suunnitelman mukaisille säätökäyrille. Paluuvien lämpötila oletettiin muuttuvan lineaarisesti, mitoitustilanteessa + 40 °C ja lämpimimmällä, + 20 °C, ulkolämpötilalla oletuksella, että menovesi ja paluuvesi ovat saman lämpöisiä. Alkuperäisen suunnitelman mukaan patteriverkostot ovat olleet 80/60 -verkostoja, jolloin alkuperäisen suunnitelman mukaisilla arvoilla käyrä on oletettu lineaariseksi. Mitoituslämpötilassa menoveden lämpötila on + 80 °C paluuvien lämpötilan ollessa + 60

°C. Ulkolämpötilassa + 20 °C sekä meno- että paluuvesi on + 20 °C. Näiden ulkolämpötilojen välinen osuus käyttäytyy oletuksena täysin lineaarisesti. Paluuveden lämpötilan muuttumista ulkolämpötilan mukaan on havainnollistettu kuvaajassa 6.3.1. sinisellä värillä 70/40- verkostossa ja violetilla 80/60- verkostossa. Punaisella ja vihreällä piirretyt käyrät kuvaavat menoveden lämpötilaa.



KUVAAJA 6.3.1. Patteriverkoston veden lämpötilat 70/40 ja 80/60 verkostoissa.

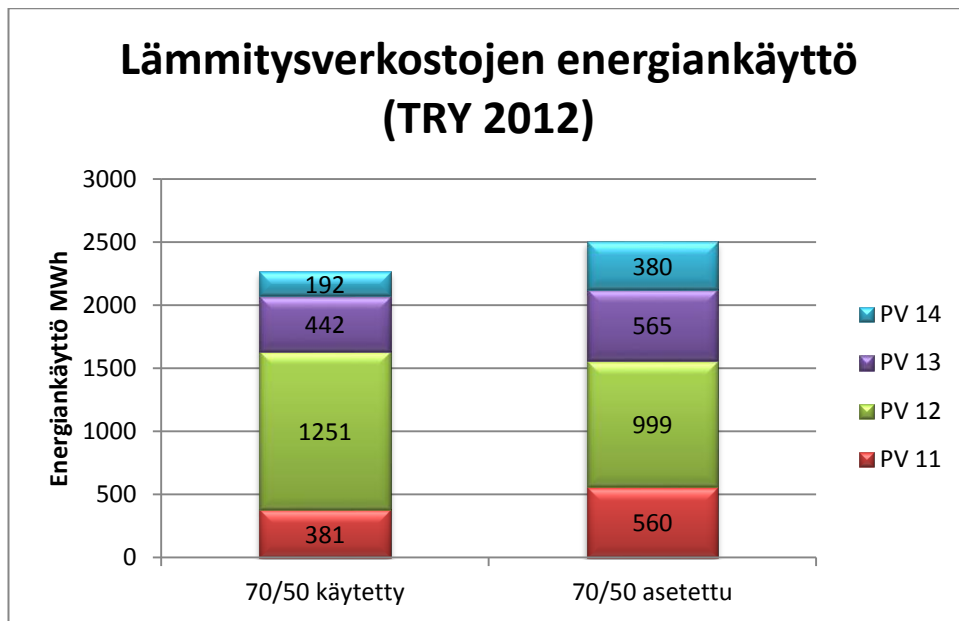
Patteriverkostojen lämmitysenergian käytön simulointi osoitti sen, että mikäli verkosto toimisi automaattisuunnitelmien mukaisesti 70/40 -verkostona, päätalo olisi käyttänyt suunniteltua enemmän energiaa. Samalla on kärsitty erilaisista sisälämpötiloihin liittyvistä ongelmista, kuten liian kylmistä, ja toisaalla liian korkeista sisälämpötiloista. Kuvaajassa 6.3.2 on esitetty patteriverkostojen energiankäyttöä. Vasen palkki kertoo simuloinnin tuloksena saadun energian käytön, kun rakennus toimii perussäädössä asetetuilla toiminta-arvoilla. Keskimäinen palkki kertoo käytössä olleilla asetuksilla simuloidun energian käytön. Näissä molemmissa oletuksena on toiminta 70/40 -verkostoina.



KUVAAJA 6.3.2. Patteriverkostojen energiankäyttö

Oikeanpuoleinen palkki kertoo simuloinnin mukaisen energiankäytön, jos käytettäisiin alkuperäisten lvi-suunnitelmien mukaisia virtaamia ja lämpötiloja. Laskemalla palkkien sisältämät verkostokohtaiset energiankäytöt yhteen, voidaan todeta kiinteistön patteriverkoston energiankäytön olleen 112 MWh/a pienempi kuin nyt asetetuilla arvoilla. Jos verkostojen lämpötilat ja virtaamat olisivat alkuperäisten suunnitelmien mukaiset, kuluisi simuloinnin mukaan energiaa jopa 1850 MWh/a vähemmän kuin käytössä olleilla arvoilla. Koko rakennuksen energiankulutus alkuperäisillä suunnitelmilla simuloiden oli 1102 MWh/a ja käytössä olleilla arvoilla 2952 MWh/a. Säästöpotentiaalia rakennuksen lämmityksessä olisi siis huikkeitä 62 % käytössä olleista asetuksista laskettuna, sillä oletuksella että paluuvesi noudattaa 70/40 -verkoston paluulämpötilan käyrää.

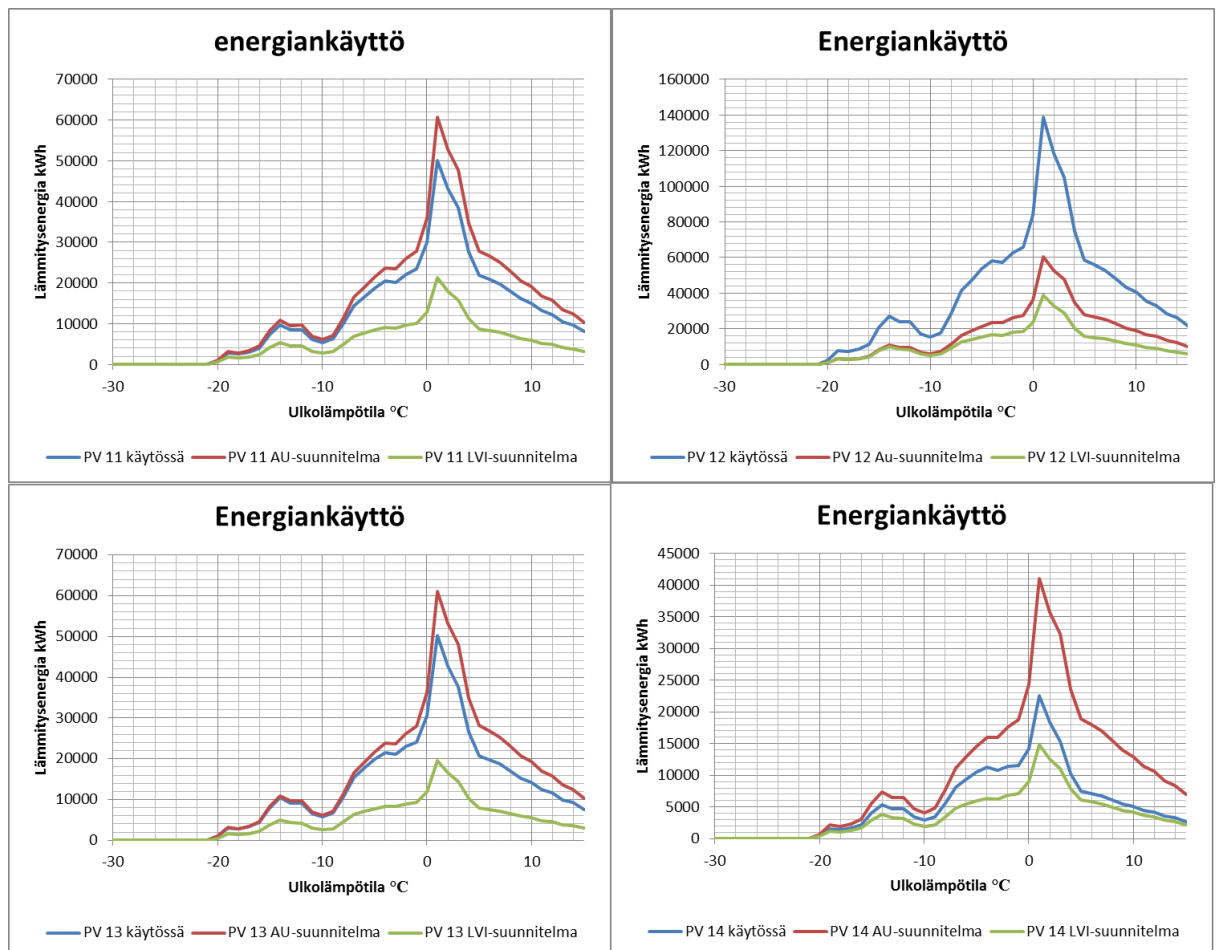
Vertailun vuoksi kuvaajassa 6.3.3 on esitetty patteriverkostojen energiankäyttö oletuksella, että verkoston paluuvesi on 40 °C:een sijasta 50 °C. Tällöin verkostojen energiankäyttö olisi käytössä olleilla virtaamilla ja asetuksilla ollut yhteensä 2265 MWh/a ja perussäädön jälkeen energiakulutus olisi 2504 MWh/a.



KUVAAJA 6.3.3. Patteriverkostojen energiankäyttö 70/50 -verkostona.

Simulointi ei huomioi ulkoisia lämpökuormia, kuten auringon vaikutusta, eikä esim. huoneiden sisäisiä lämpökuormia, kuten atk-laitteita ja ihmisten tuottamaa lämpöä. Tämän vuoksi todellinen ero lämpöenergian kulutuksessa on pienempi. Lisäksi todellista eroa kaventaa pattereiden termostaattiset venttiilit, jotka osaltaan pienentävät tai katkaisevat virtauksen patteriin huonelämpötilan noustessa.

Tarkasteltaessa lämpöverkostojen energiankäyttöä ulkolämpötilan mukaan voidaan huomata, että suurin osa lämpöenergian vuotuisesta kulutuksesta tapahtuu ulkolämpötilan ollessa lähellä nollaa. Kuvaajassa 6.3.3 on esitetty patteriverkostojen simuloitu energian käyttö ulkolämpötilan funktiona. Jokaisen verkoston kuvaajassa punainen käyrä on automaattisuunnitelman mukaisilla arvoilla tapahtunut energian kulutus. Tämä on hyvin lähellä niitä arvoja, jotka perussäädön yhteydessä saavutettiin, sillä perussäätö tehtiin automaattisuunnitelmien mukaisesti. Kuvaajassa siniset käyrät esittävät verkostojen energiankäytön ennen perussäätöä. Vihreät käyrät kuvaavat energiankäyttöä, joka saavutettaisiin asettamalla verkostot toimimaan lvi-suunnitelmien mukaisilla arvoilla.



KUVAAJA 6.3.3. Patteriverkostojen energiankäyttö ulkolämpötilan funktiona.

6.4 Muutokset energiankulutuksessa huonelämpötilan muutoksen mukaan

Energian kulutuksen laskeminen verkostoihin säädettyjen virtaamien avulla ei anna oikeaa kuvaa rakennuksen todellisesta lämmitysenergiankäytöstä. Verkostojen virtaamilla ja säätökäyrillä saadaan luotettava energiankulutus laskettua, mikäli verkoston patterit ei olisi varustettu termostaattisilla patteriventtiileillä. Laskentatapa ei huomioi ulkoisia lämmönlähteitä, kuten tiloissa olevista laitteista ja ihmisistä tulevaa lämpökuormaa. Tämän vuoksi kyseisellä laskentatavalla saatua energiankulutusta voidaankin pitää maksimiarvona.

Kiinteistön energiankäytön muutosta voidaan termostaattisilla patteriventtiileillä varustetussa kiinteistössä paremmin kuvata huonelämpötilan muutoksella. Tehon laskenta-kaavan mukaisesti, pienempi sisätilan lämpötila vaatii pienemmän lämmitystehon, kun

muita lausekkeen muuttujia ei muuteta. Tästä päästään energiankulutukseen kertomalla tehonmuutos ajalla.

Tiedetään, että rakennuksen sisälämpötila oli keskimäärin 22,7 °C ennen verkostojen säätöä. Verkostojen säädön ja termostaattien uudelleen asettelun jälkeen keskimääräinen sisälämpötila oli 21,1 °C joten sisälämpötila on muuttunut 1,6 °C. Jos oletetaan, että saneerauksessa pattereiden virtaamat on laskettu lvi-kuvissa oikein, saadaan kuvista virtaamien perusteella laskettua teho, joka kattaa rakennuksen lämpöhäviöt. Tällöin lämpötehosta saadaan laskettua rakennuksen vaipan konduktanssi G_v .

Lämpöhäviöt patteriverkostojen tehon kautta laskettuna:

$$\Phi_{lh} = 4,2 \frac{kJ}{kgK} \cdot (1,2 + 2,2 + 1,1 + 0,84) \frac{dm^3}{s} \cdot (80 - 60)K \cdot 1 \frac{kg}{dm^3} = 448,56 kW$$

$$G_v = \frac{\Phi_{lh}}{(t_s - t_{u,mit})} = \frac{448,56 kW}{(21 - (-29))K} = 8,9712 \frac{kW}{K}$$

jossa

Φ_{lh} = lämpöhäviöteho

G_v = rakennuksen vaipan konduktanssi

t_s = sisälämpötila

$t_{u,mit}$ = mitoittava ulkolämpötila

Kun rakennuksen vaipan konduktanssi tunnetaan, voidaan laskea sisälämpötilan pudotuksella saavutettu tehon säästö:

$$\Phi_{säästö} = G_v \cdot T_{säästö} = 8,9712 \frac{kW}{K} \cdot 1,6 K = 14,35 kW$$

jossa

$\Phi_{säästö}$ = säästetty lämmitysteho

$T_{säästö}$ = sisälämpötilan pienentymä

Nykyilmaston (TRY 2012) mukaisilla ulkolämpötilojen esiintymisajoilla laskettuna saadaan energian säästökäsi lämmityskautena

$$Q_{\text{säästö}} = \Phi_{\text{säästö}} \cdot t_{\text{pumppu}} = 14,35 \text{ kW} \cdot 7241 \text{ h} = 103,9 \text{ MWh}$$

jossa

$Q_{\text{säästö}} = \text{säästetty energia}$

$t_{\text{pumppu}} = \text{pumpun käyttöaika tuntia, eli lämmitysaika}$

Sisälämpötilan alentamisella ja tuloilmakoneiden sisäänpuhallusilman lämpötilan muutoksella saadut säästöt yhteenlaskettuna on $103,9 \text{ MWh} + 33,6 \text{ MWh} = 137,5 \text{ MWh/a}$. Toimenpiteillä saavutettu vuotuinen säästö energian hinnalla $40,50 \text{ €/MWh}$ on 5570 €/a .

7 EDELLYTYKSIÄ TOIMIVALLE LÄMMITYSJÄRJESTELMÄLLE

Tutkimuksessa selvinneet virheet niin suunnittelussa kuin toteutuksessakin ovat olleet syynä erinäisiin sisäilmasto-ongelmiin. Ongelmista on kärsitty vuosikymmen, eikä tämänkään opinnäytetyön aikana tehdyt muutokset niitä vielä täysin poistaneet. Jotta jatkossa uusia rakennuksia toteutettaessa tai vanhoja saneerattaessa tällaiset ongelmat eivät toistuisi, tulisi projekteissa kiinnittää entistä enemmän huomiota seuraavissa kohdissa mainittuihin asioihin.

7.1 Työn valvonta, omavalvonta, työmoraali

Rakentamisessa ja peruskorjauksien tekemisessä on tehty virheitä kautta aikojen. Jotkin virheistä ovat luonteeltaan sen kaltaisia että eivät haittaa liiaksi, mutta toiset virheet taas aiheuttavat liikaa ongelmia, jolloin ne on korjattava. Oma lukunsa on rakentamisessa tehdyt virheet, joita ei huomata, mutta jotka aiheuttavat ongelmia ajan kuluessa ja tulevat julki sitten, kun ongelma on paisunut valtavaksi, jos sittenkään.

Nykypäivän rakentamisessa ja peruskorjauksien tekemisessä on laajemminkin herätty tähän ongelmaan. Rakennuttaja, tai mittavamman korjauksen tilaaja, usein palkkaa työmaalle ammattivalvojan. Valvojan tärkein tehtävä yleensä on varmistaa, että tilaaja saa sen mitä on tilannut. Valvoja huomaa usein toteutuksessa tehdyt vakavat virheet, mutta valvojakaan ei ole erehtymätön. Valvojaltakin saattaa jäädä virheitä huomaamatta.

Työn suorittajan tulisi tuntea ammattilypeyttä työstään. Ammattilypeys syntyy siitä, että tekee työnsä mahdollisimman hyvin ja on tyytyväinen tuotukseensa. Hyvin ja oikein tehdyn työn tekijä kykenee ylpeänä toteamaan, että on itse työn tehnyt. Ammattilypeyteen liittyy sekin, että tekijä itse tietää tuotoksensa toimivan oikein ja olevan sellainen kuin tilaaja on halunnut. Nykyinen kova kilpailu ja liian kireät aikataulut ovat omiaan syömään kykyä olla ylpeä tekemisestään. Aikataulussa pysymiseksi joudutaan tilanteeseen, jossa työn suorittaja tekee vaadittavan suorituksen, eikä hänelle jää aikaa arvioida työn laatua ja jälkeä. Tällaisessa kiireessä työntekijän työmoraali helposti laskee, jolloin työntekijä ei enää välitä lopputuloksesta, vaikka epäilisi sen olevan virheellinen. Ammattilypeyden lasku ei ole ongelmana ainoastaan LVI- tai rakennusalalla, vaan oireet näkyvät kaikilla ammattialoilla.

Työmaalla suorittavalta osapuolelta vaaditaan nykyisin myös omavalvontaa. Valveutuneissa urakointiliikkeissä tämä on jo laatusertifikaatissa edellytetty asia, joka toimii työmailla kohtuullisesti. Työn tuotos tarkistetaan ensin itse, eli suoritetaan itselle luovuttaminen, ennen kuin tuotosta tarjotaan työn tilaajalle luovutettavaksi. Suurin osa toteutusvaiheessa tehdyistä virheistä pitäisi tulla esille viimeistään itselle luovutuksessa, jolloin ne tulee korjattua ennen tilaajalle luovuttamista.

Vastaanottotarkastuksessa tulisi tehdä puute- ja virheluettelot, joissa dokumentoidaan kaikki ne havaitut virheet, joilla on laadullisia tai toiminnallisia vaikutuksia (YSE 1998). Sopimusten mukaan työn tuotos voidaan siis hyväksyä virheellisenäkin, jos voidaan todeta virheiden olevan laadultaan sellaisia, että ne eivät oleellisesti vaikuta tuotoksen käytettävyyteen.

Tässä tutkimuksessa löydetyt virheet lämmitysverkostossa olivat sellaisia, joilla on merkittäviä vaikutuksia kohteen käyttämiseen. Lämmitysverkosta löydetty kytkentävirhe oli jäänyt huomaamatta niin työn suorittajalta, suoritusta valvoneelta, kuin työn tilaajaltakin. Voidaan siis todeta, että koko laadunvarmistusketju oli pettänyt. Verkostossa ollut putkikytkentävirhe on aiheuttanut sisätilojen lämpöoloihin ongelmia, ja niitä on yritetty korjata, tai ainakin seurauksia pienentää, erilaisilla rakennusautomaatioon liittyvillä säätöarvojen muuttamisilla. Talo on näillä toimenpiteillä saatu toimimaan välttävästi, mutta tiloissa on näiden toimenpiteiden johdosta käytetty mm. lisäpattereita.

7.2 Eri suunnittelualojen tietojen yhdenpitävyys

Tutkimuksessa huomattiin, että saneerauksen aikaiset lvi-suunnitelmat ja automaatio-suunnitelmat olivat keskenään ristiriidassa. Lämmitysputkistojen asennuksesta vastaanuttanut urakoitsija on säätänyt verkoston lvi-piirustuksissa esitettyihin arvoihin. Vastaavasti automaatiourakoitsija on tehnyt oman urakkansa automaatiosuunnitelmien mukaisesti. Koska molemmat ovat säätäneet oman osansa lämmitysverkostosta omien alakohtaisen suunnitelman mukaisesti, voidaan urakoitsijoiden todeta toimineen oikein tässä asiassa. Sen sijaan suunnittelijat ovat tehneet virheen, sillä suunnittelijoiden vastuulla on tehdä yhdenmukaiset suunnitelmat.

Mielenkiintoinen ajatus, kuinka usean eri toimijan yhteistyön tuloksena saatava tuotos voi koskaan toimia siten kuin on suunniteltu, jos edes suunnitelmat eivät kuvaa samaa

kohdetta. Suunnittelutiimin tulee huolehtia siitä, että tekniset asiakirjat ovat yhdenmukaiset, toisin sanoen jokainen asiakirja kuvaa samaa lopputuotetta samoilla lähtötiedoilla ja olettamuksilla. Päätalon saneerauksen suunnittelussa ei mitään ilmeisemmin ole suunnittelijoiden välillä ollut riittävää tiedonvaihtoa, koska verkoston mitoitusperuste on yksi hyvin keskeinen lähtötieto sekä rakennusautomaation että lvi:n suunnittelussa.

Tutkimuksessa löydettiin epäselvyyksiä automaatio-suunnitelmistakin, sillä automaatio-suunnitelmien toiminnan kuvauksissa viitattiin kuvaajiin, joita ei ollut, sekä kuvaajiin, jotka vähänkin asiaan perehtynyt tulkitseisi virheelliseksi. Verkoston PV11 toimintaselostuksessa viitattiin lämmönsäätökäyrään, jossa maksimi ja minimi veden lämpötilat olivat + 50 °C ja + 40 °C. Nämä lämpötilat toteutuivat ulkolämpötiloilla +10 °C ja -10 °C.

Päätalon lämmitysverkoston toiminnan virheellisyys ja ylisuuri energiankäyttö on siis osaltaan suoraa seurausta yhteen sovittamattomasta suunnittelusta. Tämän vuoksi myös suunnittelua tulee valvoa, ja suunnittelijoiden tuotokset tarkastuttaa ulkopuolisella asiantuntijalla, esim. rakennuttajakonsultilla.

7.3 Pohjakuvat ja uudet muutokset

Päätalot on rakennettu kahdessa osassa. Ensimmäinen osa on rakennettu vuonna 1961 ja toinen osa 1967. Tämän jälkeen taloon on tehty peruskorjaus neljässä osassa vuosina 2001 – 2002. Talon patteriverkostoihin tehtiin lisäyksiä ja muutoksia viimeiseksi vuonna 2013 tuotantokeittiön peruskorjauksen ja laajennuksen yhteydessä.

Kaikille näille rakentamisen jälkeisille toimenpiteille on yhteistä se, että dokumentoinnissa keskitytään vain ja ainoastaan muutoksen kohteena oleviin osiin. Kuvista jätetään esittämättä vanhat verkostot. Ainoastaan uusi tai muutettava vanha putkiston osa esitetään. Tämä johtaa siihen, että samasta kohdasta tulee useita kuvia, ja kuvan tarvitsijan tulee tietää, onko järjestelmän osa, jota tutkitaan, muutettu tai rakennettu minäkin vuonna. Tietoa etsittäessä joudutaan siis penkomaan lävitse pahimmissa tapauksissa kymmeniä eri tasokuvia, niin sähköisestä kuin paperiarkistostakin.

Kiinteistön ylläpidon helpottamiseksi tulisi olla aina vain yksi sarja tasokuvia, joihin olisi päivitettyä viimeisimmätkin muutokset. Tampereen ammattikorkeakoulun Kunto-

kadun kampusalueella tämä tarkoittaisi sitä, että luotaisiin kerroksittain tasokuvat, joista näkyisi kerralla koko kampusalueen kaikki rakennukset. Näihin tasokuviin tehtäisiin kaikki LVI-kuvat sekä sähkökuvat järjestelmittäin. Mikäli tasokuviin piirrettäisiin järjestelmät todellisilla korkeustiedoilla, saataisiin aikaiseksi kolmiulotteinen malli koko kampusalueen taloteknisistä järjestelmistä. Tällöin aina, kun kiinteistön ylläpidon vuoksi tarvitsisi etsiä jotakin tasokuvista, selviäisi asia yhden tasokuvan avaamisella.

Uusia muutoksia, tai uutta rakennusosaa suunniteltaessa tulisi suunnittelijoille luovuttaa kopio edellä mainituista koko kampusalueen rakennusten yhteisistä piirustuksista. Suunnittelija tekisi muutokset suoraan näihin kuviin, ja ottaisi osakopiot kuvista toteuttajaa varten. Toteutuksen tapahduttua suunnittelija muuttaisi kuvat vastaamaan todellisuutta ja palauttaisi ne ylläpitäjälle. Tällöin myös kuvien päivittäminen tulisi kuin luonnostaan.

Kuvien ylläpitotapaa muuttamalla edellä kerrottuun säästyisi ylläpidolta, sekä suunnittelulta paljon aikaa ja vaivaa erilaisten selvitystöiden tekemiseltä. Kolmiulotteisena suoritettuna pystyttäisiin kuvista aina ottamaan myös kolmiulotteisia detaljikuvia, jolloin tässäkin opinnäytetyössä löydettyjen virheiden tekemiseltä pystyttäisiin paremmin välttymään. Myös suunnitteluvaiheessa syntyvät virheet voisi vähentyä, ja suunnittelijalla olisi paremmat edellytykset huomioida myös muutosten aiheuttamat seuraukset jo rakennettuihin järjestelmän osiin. Nykyisin tämä huomiointi jää resurssien puutteen vuoksi vähemmälle, koska se vaatisi aikaa perehtyä järjestelmiin ja useisiin erillisiin piirustuksiin.

7.4 Patterien koko ja konvektio

Kohderakennuksessa on käytetty pääasiassa kahta eri patterikokoa. Eteläpään huoneissa patterit ovat suurempia kuin pohjoispään huoneissa. Ilmeisesti eteläosan suunnittelija on suunnitellut verkoston väljemmin kuin pohjoisosan suunnittelija. Edelleen voidaan olettaa, että pohjoispään suunnittelusta vastuussa ollut henkilö on mitoittanut pienemmät patterit ja ajatellut niiden olevan riittävät lämmönluovutusteholtaan, kun verkostossa virtaa mitoitusolosuhteissa + 80 °C vesi.

Patterit ovat radiaattorityyppisiä. Pattereiden lämmönluovutus perustuu säteilyyn mutta myös patterin välittömässä läheisyydessä olevaan ilmaan tapahtuvana konvektiona. Koska alun perin patterit on valittu 80/60 verkoston mukaan ja pattereissa kiertää 70/40 -verkoston vesi, voidaan niiden säteilytehon alenema laskea säteilytehon kaavan avulla

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_{\text{säteily}} &= [\varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{kap}(80)}^4 - T_{\text{ymp}}^4)] - [\varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{kap}(70)}^4 - T_{\text{ymp}}^4)] \\ &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot [(T_{\text{kap}(80)}^4 - T_{\text{ymp}}^4) - (T_{\text{kap}(70)}^4 - T_{\text{ymp}}^4)] \\ &= 0,95 \cdot 5,6705 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot A \\ &\quad \cdot [(353K^4 - 294K^4) - (343K^4 - 294K^4)] = 90,83 \frac{W}{m^2}\end{aligned}$$

Patterin säteilyteho on siis alentunut 90 Wattia jokaista patterin pinnan neliometriä kohden alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna. Alkuperäisen suunnitelman mukainen säteilyteho oli

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{säteily}} &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{kap}}^4 - T_{\text{ymp}}^4) \\ &= 0,95 \cdot 5,6705 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot A \cdot (353K^4 - 294K^4) = 434 \frac{W}{m^2}\end{aligned}$$

Tästä seuraa, että säteilyteho pienenee

$$\Delta\Phi_{\text{säteily},\%} = \frac{90,83 \frac{W}{m^2}}{434 \frac{W}{m^2}} \cdot 100\% = 20,9 \%$$

Säteilytehon lisäksi myös patterin konvektiokyky heikkenee. Patterien lämmönluovutuskyvyn heikkenemistä tutkittiin Purmon patterimitoitushjelman avulla. Mitoitusohjelman tuloksena esimerkiksi Purmon Compact -sarjan pattereilla teho putoaa jopa 42 %, kun patterille tulevan veden lämpötilat muuttuvat 80/60 verkostosta 70/40 verkostoon. Jotta verkoston lämpötilojen muutos saataisiin kompensoitua, tulisi patterin lämmönluovutuspinna-alaa kasvattaa. Esimerkiksi 80/60 -verkostoon kytketystä C21-500-700 patterista saadaan 777 Watin teho, kun vastaavan tehon saamiseksi 70/40-verkostossa tulisi patteriksi valita C21-500-1200, eli 0,5 metriä pidempi patteri. Purmon Delta Laserline -malliston pattereiden tehonpudotus oli myös 40 %:n luokkaa. 80/60 -verkostossa 1042 Wattia antava 2-rivinen, 1500 mm pitkä ja 450 mm korkea patteri pitäisi 70/40 -verkostossa korvata 900 mm korkealla patterilla, jotta patterista saataisiin sama lämmitysteho.

Edellä esitetyn vuoksi vaikuttaa epätodennäköiseltä, että patterit ainakaan päätalon pohjoispäässä olisi niin paljon ylimitoitettu, että verkoston virtaamaa voidaan pudottaa laskennallisen tehon mukaisiin virtaamiin. Patterin lämmönluovutuspinna-ala ja pinnan keskimääräinen lämpötila määräävät patterin maksimilämmönluovutustehon. Maksimilämmönluovutustehoa vastaa tietty virtaama, jolla yhtälö toteutuu, toisin sanoen tuleva neste jäähtyy mitoitettuun paluulämpötilaan. Mikäli virtaama pidetään siinä arvossa, joka on laskettu 80/60 -mitoituksella, ja tuloveden lämpötila asetetaan 10 °C matalammaksi eli 70 asteeseen, patterin maksimi lämmönluovutuskyvyn rajan tullessa vastaan jää paluunesteen lämpötila 50 asteeseen 40 asteen sijaan.

Tutkittaessa Purmon mitoitusohjelmalla asiaa todettiin, että mitoittamalla patterin tulovesi + 70 °C ja paluuvesi + 50 °C, patterin maksimi lämmönluovutusteho putoaa noin 26 %. Tällä mitoituksella nykyisten patterien lämmönluovutusteho saattaa vielä riittää, sillä patterit valitaan lähes aina siten, että niihin jää pieni varmuuskerroin tehoreserviä. Jotta 70/50 -mitoitettu verkostossa saadaan siirrettyä sama lämpöteho kuin 80/60 -mitoitettu verkostossa, tulee virtaamat olla tehon kaavan mukaan samat, sillä molemmissa tapauksissa ΔT on sama 20 K.

$$\Phi = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Koska patterin lämpötehon luovutukseen vaikuttaa patterin keskimääräinen lämpötila sekä lämmönluovutuspinna-ala, on varmuuskerroin otettu käyttöön, kun verkoston maksimilämpötila on tiputettu 80 °C:n sijasta 70 °C:een. Virtaamat pystytään pienentämään alkuperäisten suunnitelmien tehontarvetta vastaaviin 70/40 -verkoston arvoihin rakennuksen pohjoisosassa vain vaihtamalla suuremman lämmönluovutuspinna-omaavat patterit. Koska tämä vaatisi suurta investointia, on kokonaistaloudellisesti järkevämpää jättää virtaamat suuremmiksi ja tyytyä pienempään jäähtymään verkostossa. Rakennuksen eteläpäässä voi olla mahdollisuuksia hieman pienemmille virtaamille, sillä siellä on käytössä suuremman lämmönluovutuspinna-ala-omaavat patterit. Virtaamien pienentämismahdollisuutta kannattaisi jatkoselvittää.

7.5 Taajuusmuuttajaohjatut pumput ja vakiovirtaussäätimet

Suurella kiinteistössä tehdään jatkuvasti muutoksia, jotka vaikuttavat lämpöverkostoihin ja sitä kautta sisätilojen lämpöoloihin. Tämän vuoksi olisi järkevää varustaa päälämpöverkon haarakohdat itsesäätävillä vakiovirtaussäätimillä. Tällä saavutettaisiin se etu, että muutettaessa verkoston osaa ei muutokset heijastuisi kaikkialle verkoston muihin osiin. Vakiovirtaussäätimet pitäisivät virtaamat vakioina, vaikka pääverkkostoon liittäisiin kulutusta uusien rakennusosien myötä.

Patteriverkostossa virtaamat ja painehäviöt vaihtelevat. Jokaisen termostaattisen patteriventtiilin sulkeutuessa verkoston sen hetkinen virtaaman tarve pienenee. Pahimmillaan tästä voi seurata tilanne, jossa verkoston virtaaman tarve on lähes nolla. Tällöin verkoston painehäviö kasvaa, ja pumppu tasoittaa ominaiskäyränsä mukaisesti virtaaman painehäviön mukaiseksi.

Pumppauskuluissa saataisiin säästöä, ja erityisesti ilmaisenergioiden käytön hyötysuhdetta parannettua, jos pumppuja käytettäisiin taajuusmuuttajien avulla. Pumpulle määriteltäisiin paineenkorotus ja virtaama, joka pumpun tulee toteuttaa silloin, kun kaikki patterit verkostossa tarvitsevat täyttä virtaamaa. Verkoston painehäviö pidettäisiin vakiona mittaamalla verkoston painehäviötä ja säätämällä painehäviötiedon perusteella pumpun taajuutta. Verkostolle ominaista, virtaaman pienentyessä aiheutuvaa paineen nousua, ei näin pääsisi tapahtumaan. Osaltaan tämä vaikuttaisi myös verkoston äänitekniisiin ominaisuuksiin, sillä korkea painehäviö verkostossa aiheuttaa myös enemmän virtausääniä.

8 YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSEHDOTUKSET

Opinnäytetyössä löydettiin patteriverkostoista useita vikoja. Termostaattisten patteriventtiileiden esisääätöarvoja oli asetettu väärin. Opinnäytetyön aikana tehdyissä muutostöissä aikaansaatettiin, että esisäädöt ovat suunnitelmien mukaisissa arvoissaan. Verkkoon oli asennettu suurtehopatteriventtiileitä. Suurtehopatteriventtiilit vaihdettiin normaaleihin patteriventtiileihin. Eteläpään käytävän pattereista oli termostaattiset patteriventtiilit korvattu kulmayhteillä. Kulmayhteet poistettiin ja tilalle asennutettiin termostaattiset patteriventtiilit. Patteriverkostojen virtaamat oli suurelta osin väärin säädetty. Linjojen virtaamat mitattiin ja säädettiin lvi-suunnitelmien mukaisiin arvoihin. Kahden patteriverkoston linjat oli kytketty keskenään ristiin. Linjojen kytkennän korjauksesta tuotettiin suunnitelmat, joilla kytkentämuutokset voidaan toteuttaa. Myös peruskorjauksen luovutuspiirustuksista löydettiin virheitä, sekä keskinäisiä ristiriitaisuuksia.

Päätalon lämmitysverkoston perussäädöllä saatiin kohderakennuksen tiloihin aikaiseksi entiseen verrattuna tasaisemmat lämpötilat. Samalla tilojen yllämpöisyyttä saatiin poistettua. Säätyöllä saatiin rakennuksen työ- ja luokkahuoneiden lämpötilojen erot 10 % sisälle toisistaan.

Säätyöllä saatiin huonelämpötilojen perusteella laskelmallisesti aikaiseksi yli 137 MWh:n säästöt vuotuisessa energiankulutuksessa. Jatkuvalla energiankulutuksen seurannalla tämän pitäisi näkyä myös koko kampusalueen energialaskussa. Energiasopimuksen tavoitteita kohti pyrittäessä pelkästään tällä työllä saavutettu energiansäästö vastaa noin 1,5 %:n osuutta koko Kuntokadun kampuksen lämpöenergian kulutuksesta.

Kiinteistön energiatehokkuutta edelleen kehitettäessä tulisi tutkia virtaamien pienentämismahdollisuutta. Verkostojen virtaamia tarkastellessa tulee päätalon lämmitysverkostot ajatella 70/50 -verkostoina. Tavoitteena olisi löytää pienin mahdollinen virtaama, jolla patterien lämmönluovutuskyky vielä riittää peittämään rakennuksen lämmitystarpeet mitoitusolosuhteissa. Kun tämä pienin virtaama löytyy, toteutuu lämmitysverkoston maksimi jäähtymä ja pienin mahdollinen verkoston siirtohäviö.

Energiatehokkuuden parantamiseksi tulisi patteriverkostojen pumppujen uusimisen yhteydessä harkita siirtymistä taajuusmuuttajakäyttöisiin pumppuihin, joiden tuotto perus-

tuu vakiopaineen ylläpitoon verkostossa. Tällä saataisiin säästöä pumpun sähkön käyttöön sekä verkoston siirtohäviöiden pienenemisestä johtuvaa lämpöenergian säästöä.

Tämän tutkimuksen myötä olisi aiheellista jatkaa tutkimustyötä muiden kampusalueen rakennusten osalta. Koska päätalosta löytyi näinkin paljon virheitä, on hyvin todennäköistä, että myös muissa kampusalueen rakennuksissa löytyy aihetta korjaamiselle ja säätämislle. Myös kiinteistön lvi-tekniisten dokumenttien ylläpitoa tulisi edelleen kehittää. Tavoitteeksi pitäisi asettaa kaikkien kuvien yhdistäminen yhdeksi, koko kampusalueen rakennukset käsittäväksi kokonaisuudeksi.

LÄHTEET

TA. 2011.Ta käsikirja: Patteriverkoston säätäminen. Luettu 22.10.2013.

http://www.vantalvi.fi/uploads/files/TA_KaSIKIRJA_Patteriverkoston_Saataminen_2011.pdf

Rakennustietosäätiö. 2002. LVI 12-10343 Vesikiertoinen patterilämmitys. Ohjetiedosto. LVI-ohjekortisto

Rakennustietosäätiö. 1994. LVI 41-10230 Lämmitysverkoston säätö. Ohjetiedosto. LVI-ohjekortisto.

Rakennustietosäätiö. 1998. LVI 03-10277 Rakennusalan yleiset sopimusehdot YSE 1998. Ohjetiedosto. LVI-ohjekortisto.

Soprano Insaider. 2002. Lämmitysverkoston perussäätö -esite. Motiva Oy. Painotalo Miktor

Jylhä, Kirsti. Kalamees, Targo. Tietäväinen, Hanna. Ruosteenoja, Kimmo. Jokisalo, Juha. Hyvönen, Reijo. Ilomets, Simo. Saku, Seppo. Hutila, Asko. 2011. Raportteja 2011.6: Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Ilmatieteen laitos.

Ympäristöministeriö. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma Osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012.

EI JULKISET LÄHTEET:

Ax-suunnittelu. 2001. Tamk / Pääatalo peruskorjaus. Automaatiosuunnitelmat

Ax-suunnittelu. 2001. Tamk / Pääatalo peruskorjaus. Lvi-suunnitelmat

Pihlajamaa, Pirkko. Mikko Linne. 2013. Energiakatselmusraportti: Pirkanmaan ammattikorkeakoulu Oy:n Kuntokadun kampusalue.

LIITTEET

Liite 1: Termostaattisten patteriventtiilien esisäädöt. 3 sivua.

Liite 2: LVI-työselostus. 3 sivua.

Liite 3: Muutostyökuvat. 5 sivua.

Liite 1. Termostaattisten patteriventtiilien esisäädöt

sivu 1/3

Termostaattisten patteriventtiilien esisäädöt

Sivu 1/3

Lämmitysverkosto PV 12

Nousulinja 5

Kerros	suunnitel tu	ES asetettu	suunnitel u	ES asetettu	suunnitel u	ES asetettu	suunnitel u	ES asetettu	suunnitel u	ES asetettu	suunnitel u	ES asetettu
6	8	8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	1	7,9	7,9	7,1	7,1
5	7,7	7,7	6	6	6	6	6	6	6	6	5,6	5,6
4	3,8	3,8	5,7	5,7	5,7	5,7	5,8	5,8	5,8	5,8	5,4	7,4
3	3,7	3,7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	5,7	5,3	5,3
2	3,7	3,7	5,4	S11	5,4	S11	5,4	S11	5,4	S11	5	S11
1												
0												

Lämmitysverkosto PV 12

Nousulinja 6

Kerros	ES suunnitel tu	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu
6	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	4,7	4,7		
5	4	4	4	4	4	4	4	4	3,9	3,9	3,2	3,2
4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,9	3,9	3,2	3,2
3	4	4	4	4	4	4	4	4	3,8	3,8	3,2	3,2
2	3,9	S11,5	3,9	S11,5	3,9	S11,5	3,9	S11,5	3,8	S11,5	3,2	S11
1											3,2	3,2
0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	8	8	2,5	2,5

Lämmitysverkosto PV 12

Nousulinja 3

Kerros	ES suunnitel tu	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu
6	5	E	8	E	8	E	8	E
5	4,9	E	7,9	E	7,9	E	7,9	E
4	4,8	E	7,8	E	7,8	E	7,8	7,8
3	4,5	E	7,7	E	7,7	E	7,7	E
2			7,2	E	7,2	E	7,2	7,2
1								
0								

Lämmitysverkosto PV 11

Nousulinja 8

Kerros	ES suunnitel tu	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu
6	7,2	7,2	8	8	8	8	7,9	7,9	7,9	6,5		
5	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9		
4	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8		
3	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7		
2	5,6	S11	5,6	5,6	5,5	A	5,5	A	5,5	A		
1	5,5	5,5	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	7	5,6	5,6	5,2	5,2
0	3,3	3,3	3,3	3,3	2,8	2,8	1,9	2,9	2,9	2,9		

Lämmitysverkosto PV 11

Nousulinja 9

Kerros	ES suunnitel tu	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu	ES suunnitel u	ES asetettu
6	7,2	7,2	8	8	8	8	8	7,4
5	5,5	5,5	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	A
4	5,4	5,4	5,6	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5
3	5,2	5,2	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
2	5,1	S12	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
1	4,5	3	4,5	4,5	4,5	4,5		
0	2,7	2,7	2,7	2,7				

Liite 1. Termostaattisten patteriventtiilien esisäädöt

sivu 2/3

Termostaattisten patteriventtiileiden esisäädöt

Sivu 2/3

Lämmitysverkosto PV 14

Nousulinja 8

Kerros	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu
6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
5	3,2	3,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
4	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
3	3,1	3,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
2	3,1	3,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
1	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	4	2,7	2,7	2,7	2,7
0										

Lämmitysverkosto PV 14

Nousulinja 7

Kerros	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu
6	4	8	5,7	8	5,7	7,5	5,7	5,7	5,7	5,7
5	3,2	3,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
4	3,2	3,2	3,4	3,4	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4
3	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
2	3,1	3,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
1	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	4	2,7	5
0							3,6	Poistettu	3,6	Poistettu

Lämmitysverkosto PV 14

Nousulinja 6

Kerros	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu
6	4,1	4,1	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,4	6,4
5	3,3	3,3	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
4	3,2	3,2	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
3	3,2	3,2	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
2	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	Poistettu
1	2,7	2,7	3,4	3,4						
0			2,3	2,3	4,1	Poistettu	8	Poistettu		

Lämmitysverkosto PV 13

Nousulinja 9

Kerros	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu
6	5,7	5,7	5,7	5,7	5,6	5,6	5,6	5,6	4	4	4	5,7
5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,2	3,4
4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,2	3,4
3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,2	3,3
2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,7	3,7	3,7	3,7
1	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	5,5	2,7	7,5	2,7	8	2,7	6,5
0	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	3,6		

Lämmitysverkosto PV 13

Nousulinja 10

Kerros	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu	ES suunniteltu	ES asetettu
6	5,7	6	5,7	5,7	5,6	5,6	4	4	4,7	4,7	4,7	4,7	3,3	3,3
5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,2
4	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,2
3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,1	3,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,2
2	3,7	3,7	3,7	3,7	3,3	3,3	3,1	3,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,1	3,1
1	2,7	7,5	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,1	3,1	3,5	3,5
0			3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4	2,9	2,9

Liite 1. Termostaattisten patteriventtiilien esisäätoarvot

sivu 3/3

Termostaattisten patteriventtiilien esisäädot

Sivu 3/3

Lämmitysverkosto PV 13

Nousulinja 11

Kerros	ES suunnitel	ES asetettu
6	5,1	5,1
5	5	5
4	5	5
3	4,9	4,9
2	4,9	4,9
1	4,8	4,8
0	4,8	4,8

Lämmitysverkosto PV 16

Nousulinja 12

Kerros	ES suunnitel	ES asetettu	ES suunnitel	ES asetettu	ES suunnitel	ES asetettu	ES suunnitel	ES asetettu	ES suunnitel	ES asetettu
6	1,4	1,4	3,9	3,9						
5	0,9	0,9	3	3						
4	2,2	2,2	6,1	Poistettu						
3	1,8	1,8	5,3	Poistettu						
2	1,8	1,8	5,1	5,1						
1	2,3	2,3								
0	4,3	4,3	7,8	Poistettu	11,8	Poistettu	8	Poistettu	7,3	Poistettu

LVI-TYÖSELOSTUS

TAMK pääatalon patteriverkoston muutostyö

Kohde: Tampereen ammattikorkeakoulu
Kuntokatu 3
33520 TAMPERE

B-talon 00-kerroksen lämmönjakohuone B00-26

Toimenpide:

Patteriverkostojen PV13 ja PV14 putkistojen kytkentämuutos lämmönjakohuoneessa B00-26.

Muutoksella väärin kytketyt patterilinjat kytketään oikein siten, että PV13 palvelee päätalon pohjoispään länsisivua ja PV14 päätalon pohjoispään itäisivua.

Urakat ja niiden sisältö:

Putkiurakka:

Urakkaan kuuluu kaikki putkistojen ja pumppujen sekä mahdolliset anturitas-kujen sekä paikallisten mittareiden taskujen ja mittareiden asennustyöt mukaan luettuna vanhojen kytkennän osien ja eristeiden purkamistyöt sekä uusien eristysten asentamisen.

Automaatiourakka:

Urakkaan kuuluu ne ohjelmalliset ja fyysiset muutostyöt, jotka joudutaan tekemään verkostojen sijainnin muuttumisesta johtuen. (Sisältää ohjelmalliset ja kytkennälliset muutostyöt)

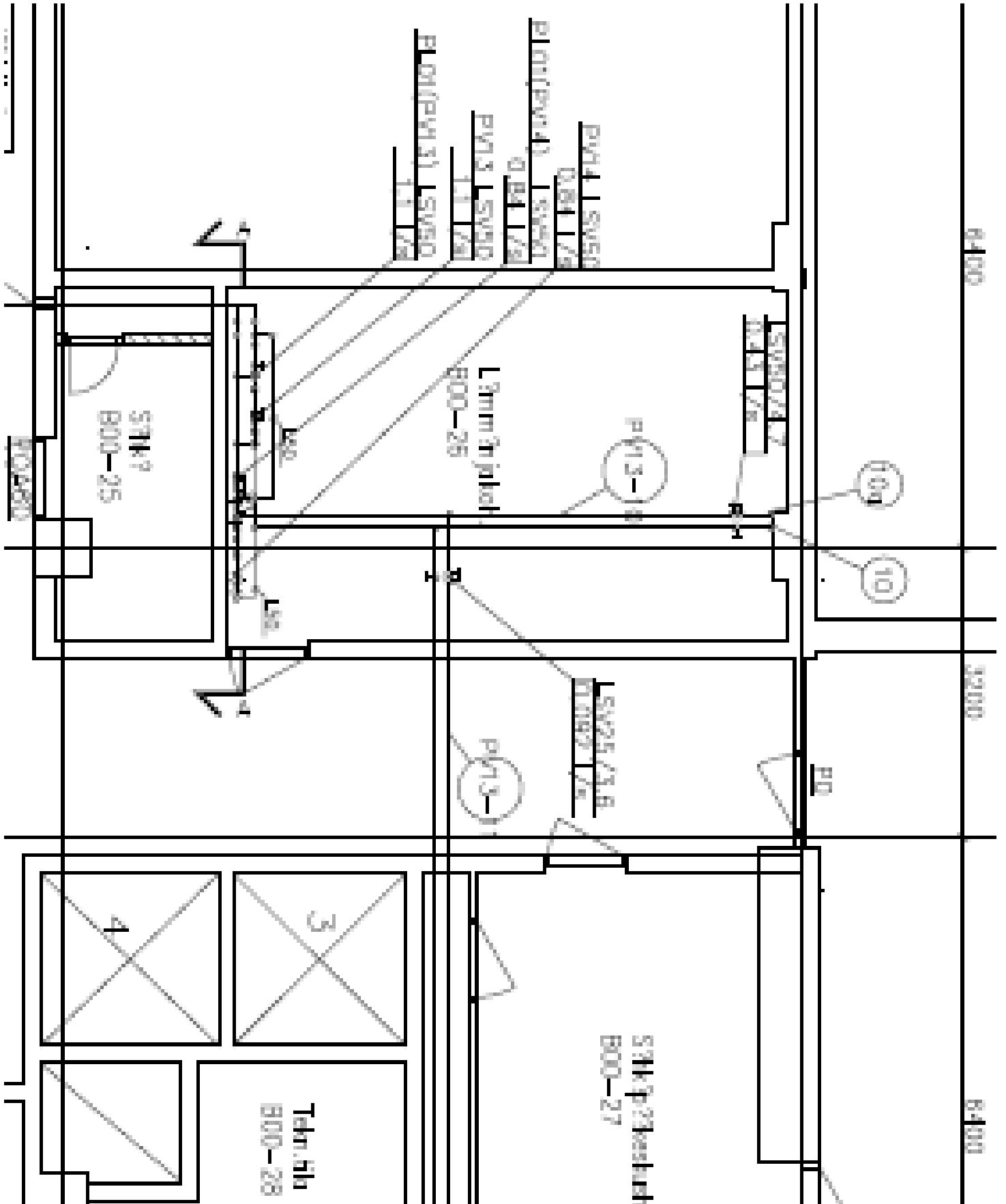
Työn kuvaus:

Patteriverkoston PV14 linjojen 10 ja 11 yhteiset lämpöjohdot irrotetaan pumppuryhmästä PV13. pumppuryhmän liitoskohdat tulpataan. Linjojen 10 ja 11 yhteisiä lämpöjohtoja jatketaan, ja ne liitetään nykyisen patteriverkoston PV14 pumppuryhmään. Liitokset pumppuryhmään tehdään istuttamalla. Liitokset hitsataan. Putket eristetään villakourulla samaan eristevahvuuteen vanhojen lämpöjohtojen kanssa ja päällystetään kenopakilla.

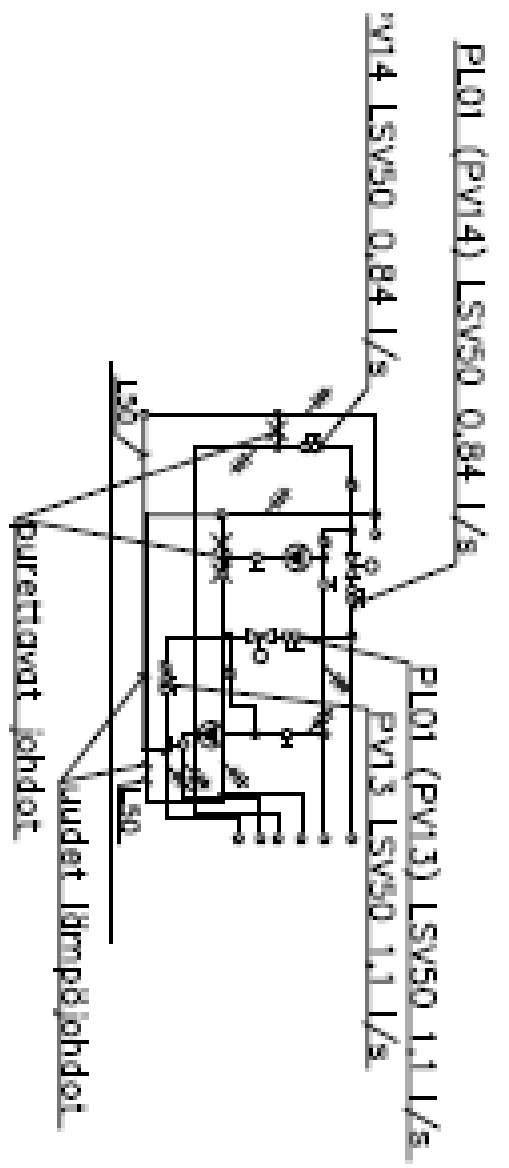
Nykyinen pumppu PV14PU41 uusitaan, uusi pumppu asennetaan nykyisen pumpun PV13PU41 tilalle. Pumpun tuotto on 0,84 l/s. Pumppu PV13PU41 siirretään nykyisen pumpun PV14PU41 paikalle. Samalla muutetaan pumpulta lähtevä putki, 90 -asteen käyrä ja sulkuventtiili DN50 kokoon (nykyisin ¾”). Pumpputyöt nimetään siten, että oikeanpuoleinen pumppuryhmä, joka palvelee päätalon pohjoispään länsisivua sekä puoli-Q:ta, merkitään PV13:ksi ja vasemmanpuoleinen pumppuryhmä, joka palvelee päätalon pohjoispään itäsivua, merkitään PV14:ksi. Pumput merkitään selvästi kylteillä, vanhat kyltit poistetaan.

Automaatioon tehdään tarvittavat positiointimuutokset ja mahdolliset VAKiin tehtävät antureiden ja toimiventtiilien kaapelointien siirrot siten, että lämmönjakohuoneen vasemmanpuoleinen pumppuryhmä, uusi PV14 (itä) saa ohjauksen itäsivun ulkolämpötila-anturin mukaan, pohjoisanturin ulkolämpötilatiedolla painotettuna. Oikeanpuoleisen pumppuryhmän PV13 (länsi) menoveden lämpötilaa säädetään länsisivun ulkolämpötilatiedon perusteella, pohjoisanturin lämpötilatiedolla painotettuna. Molemmissa verkostoissa menoveden lämpötila määräytyy nykyisinkin käytössä olevan lämmityskäyrän mukaisesti.

Putkikytkennän muutoksen jälkeen tulee päätalon pohjoispään patteriverkostot säätää. Kiinteistön ylläpidosta vastaava organisaatio irroittaa pohjoispään lämmityspatterien termostaattiventtiileistä termostaattiosat, jonka jälkeen putkiura-koitsija mittaa ja säätää pumppujen virtaamat sekä kaikki pohjoispään patteriverkoston nousulinjojen virtaamat suunnitelmien mukaisiin arvoihin. Apuna kuva 007-003. Säätyöstä tehdään pöytäkirja ja se luovutetaan kiinteistön ylläpito-organisaatiolle. Säätyön jälkeen kiinteistön ylläpito-organisaatio kiinnittää termostaattiosat patteriventtiileihin.



Sähkökeskush
B00-27



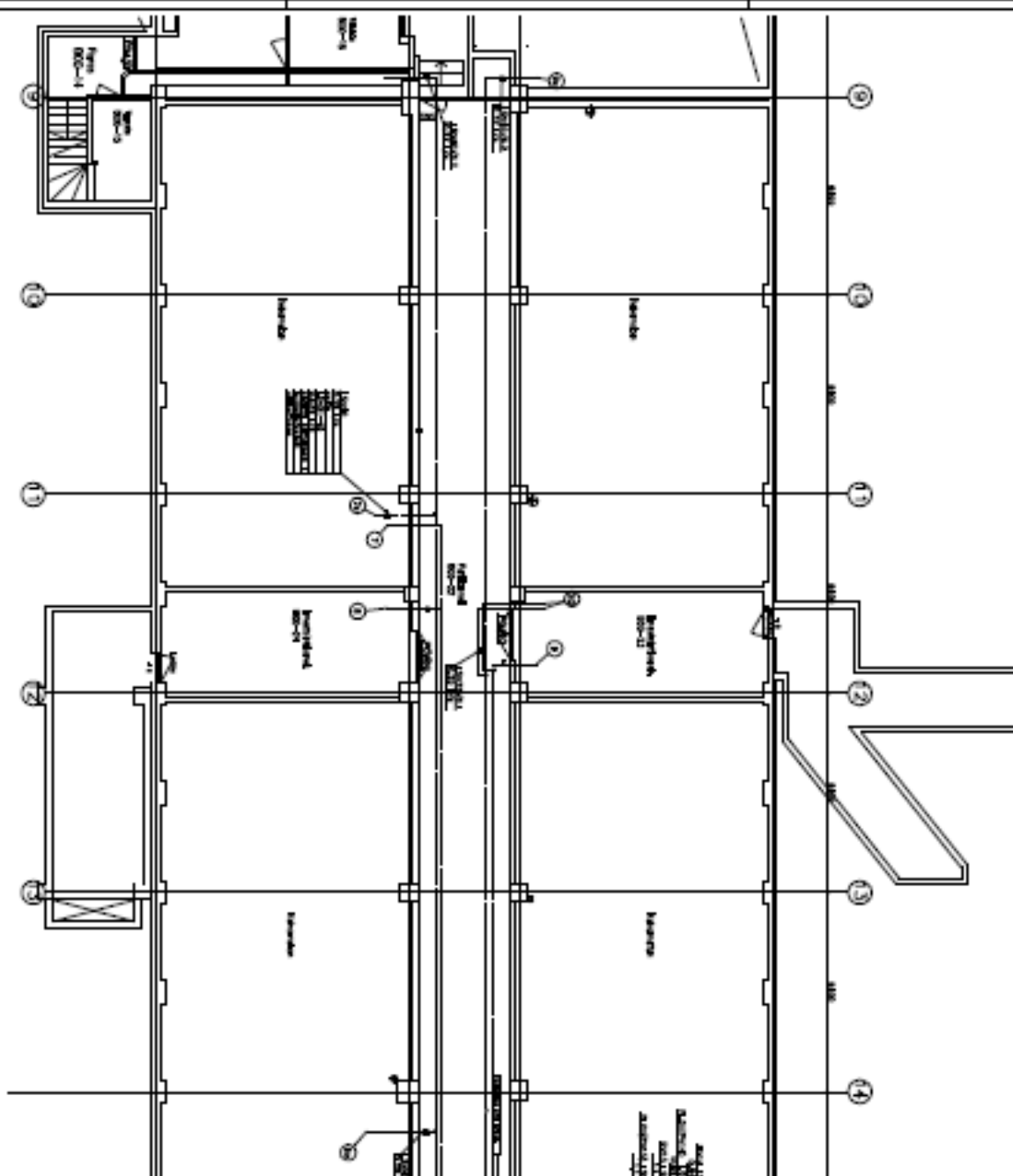
Liite 3

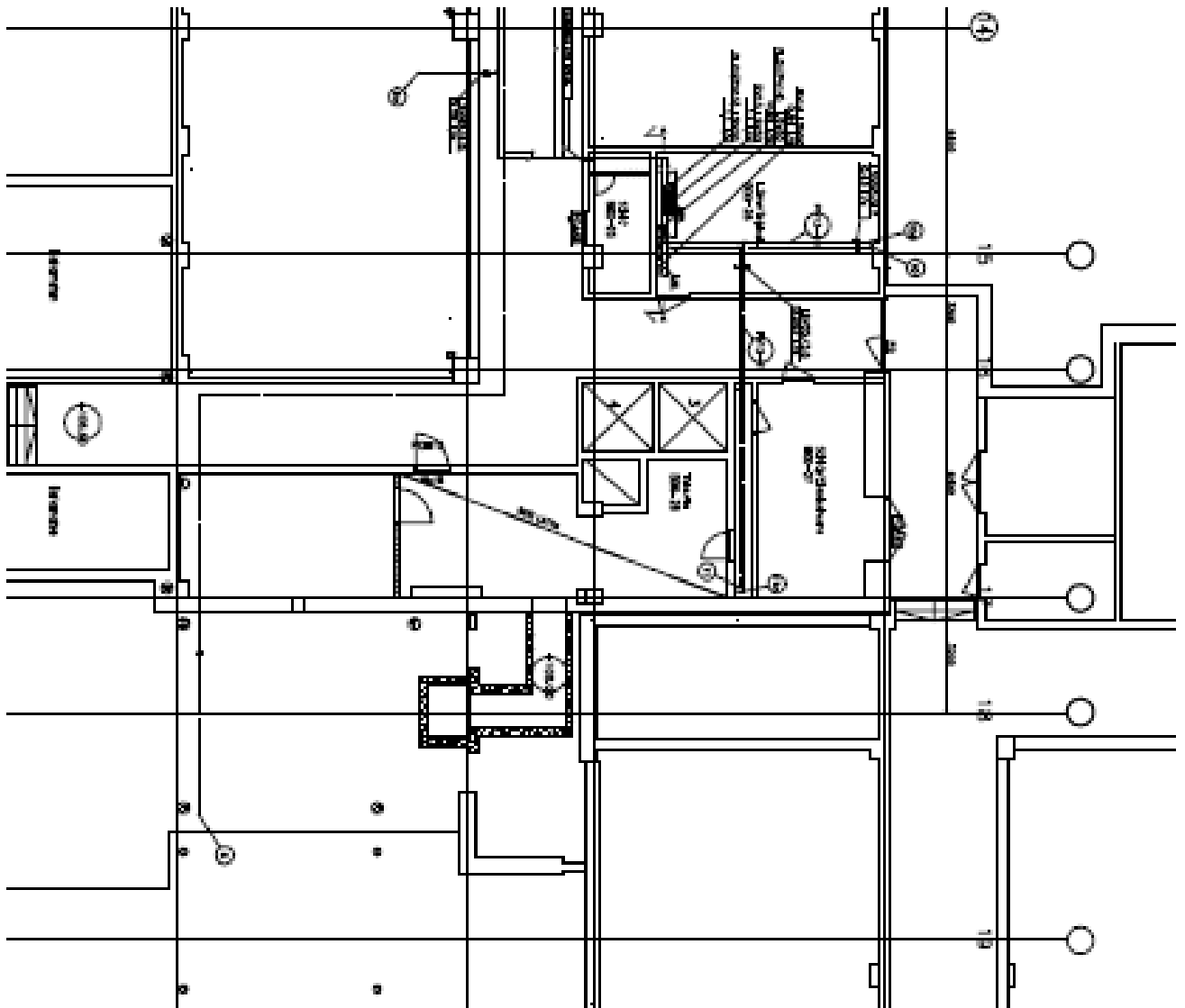
Liite 3. Muutostyöpiirustukset

Tekn. tilia
B00-28

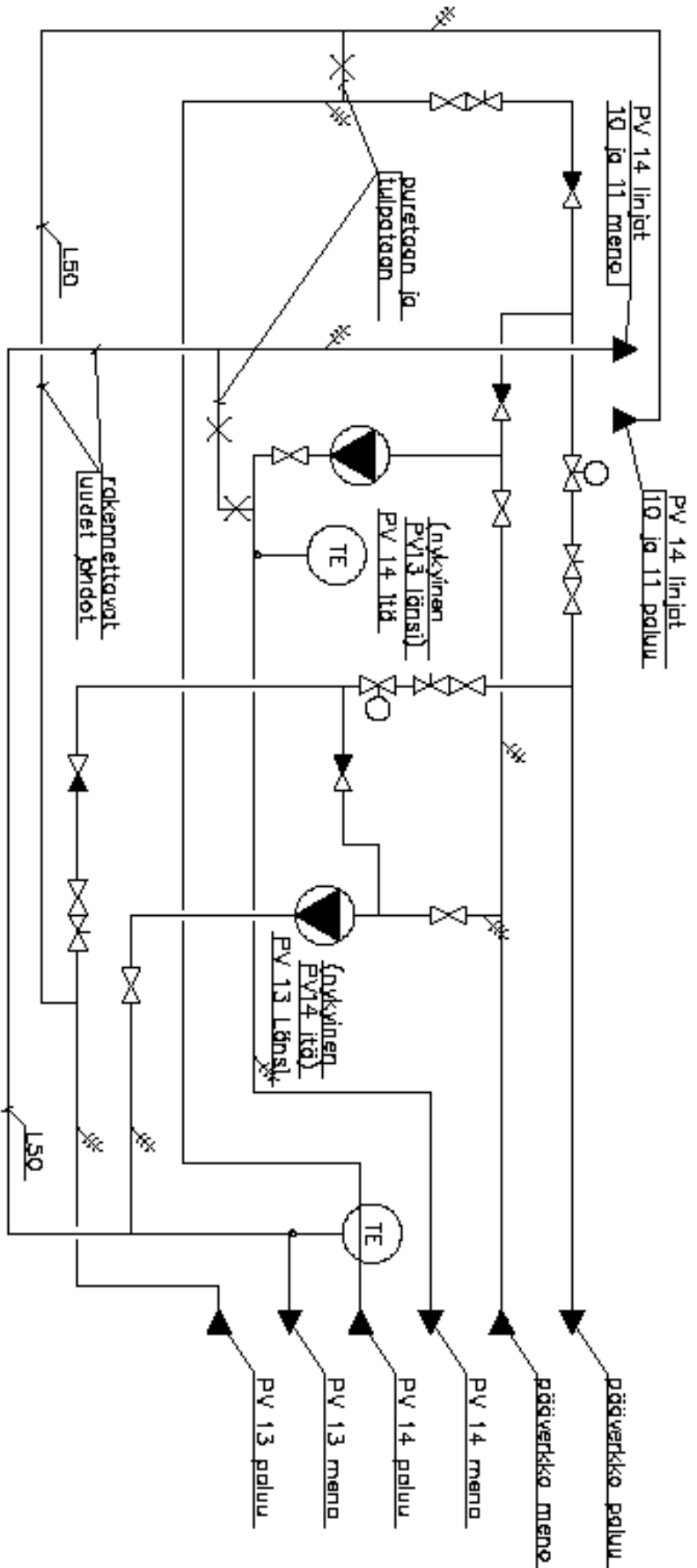
Yhden muutospiirustuksen muuttaminen
muutostyöpiirustuksen muuttaminen
muutostyöpiirustuksen muuttaminen

Projekti	LM 002
Yhteyshenkilö	LM 002
Yhteyshenkilön puhelinnumero	LM 002
Yhteyshenkilön sähköpostiosoite	LM 002
Yhteyshenkilön osoite	LM 002
Yhteyshenkilön työnro	LM 002
Yhteyshenkilön erillinen sähköpostiosoite	LM 002
Yhteyshenkilön erillinen puhelinnumero	LM 002
Yhteyshenkilön erillinen osoite	LM 002
Yhteyshenkilön erillinen työnro	LM 002





Proj. Nro:	2024/001
Proj. Nimi:	Kokko Oy - Keskivälitalon saneeraus
Proj. Vuosi:	2024
Proj. Nro:	LVI-003
Proj. Nimi:	Keskivälitalon saneeraus - LVI-003
Proj. Vuosi:	2024
Proj. Nro:	003
Proj. Nimi:	Keskivälitalon saneeraus - LVI-003
Proj. Vuosi:	2024



PV 14 linjojen 10 ja 11 mene- ja paluuputket
kokoletaan nykyisestä verkosta pv 13 ja
liitetään verkkoon pv 14

Nykyinen pumppi PV13 PU40 siirretään
nykyisen pumppu PV14 PU40 tilalle.

Nykyinen pumppi PV14 PU 40 siirretään
ja se sijoitetaan nykyisen pumppu PV13PU40
tilalle.

Nykyisen pumppu PV14PU40 alapuoleinen putki
ja sulkuventtiili muutetaan kokoon 2".

KOROKKI	KARTTELULA	TÄHTI/REO	VIERIKKALAN ASESTAMONKIVITÄNTÄ	
132	880	4	LÄMMITYS	
RAEÄRÄSTÖNTOPIE MUUTOSTYÖ			LÄMMITYS	
RAEÄRÄSTÖNTOPIE TAMK / PÄÄTALO			KÄYTTÖKÄÄVIO	
KUNTOKATU 3			B00-26 LÄH PÄTTERIVERKOSTOJEN	
33520 TAMPERE			PV13 JA PV14 KÄYTTÖMUUTOS	
SUUNNITTELUKÄYTTÖ		PIIRIT	SUUNNITTELUKÄYTTÖ	
KRU		KRU	TÄHTI/REO	
PÄIV. 31.12.2013		TAMK		ALUEKÄYTTÖ
LV 007		001		TEKIJÄT R:O