



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Tuomas Tanninen

# Tehdasrakennuksen tuotantolinjan lämmöntalteenottojärjestelmän ohjaus rakennusautomaatiojärjestelmällä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

31.05.2020

Tekijä Otsikko	Tuomas Tanninen Tehtasrakennuksen tuotantolinjan lämmöntalteenottojärjestelmän ohjaus rakennusautomaatiojärjestelmällä
Sivumäärä Aika	47 sivua + 3 liitettä 31.5.2020
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	turvallisuus- ja tekninen päällikkö Mikko Ylikopsa lehtori Jarmo Tapio
<p>Opinnäytetyössä oli tavoitteena tuottaa työn tilaajalle automaatiojärjestelmän toteutusmalli kohteessa toimivan tuotantolinjan hukkalämmöntalteenoton hallinnan ja tehokkuuden parantamista varten. Tutkimukseen otettiin mukaan myös koko rakennuksen automaatiojärjestelmän päivittämisen tutkiminen, koska nykyinen järjestelmä on ylittänyt käyttöikänsä ja nykyisellään hukkalämmöntalteenottojärjestelmä ei ole kaikilta osin automaation piirissä. Rakennuksen automaatiojärjestelmän parannusten kautta rakennukseen lämmitykseen käytettävä ostoenergian määrää saadaan pienennettyä ja mahdollisten uusien hukkalämmöntalteenottomenetelmien automaatoratkaisut saadaan liitettyä helposti uuteen järjestelmään.</p> <p>Tutkimustyössä aluksi kartoitettiin tutkimuskohteen nykyinen rakennusautomaatiojärjestelmä. Kartoittamisen jälkeen luotiin korjausehdotus automaatiojärjestelmälle. Tietolähteinä käytettiin automaatioalan ohje- ja määräysjulkaisuja sekä markkinoilla toimivien rakennusautomaation järjestelmätoimittajien tarjoamien ratkaisujen teknillisiä materiaaleja.</p> <p>Hukkalämmöntalteenottojärjestelmän hallinnan ja tehokkuuden parantamisen tutkinnassa korjaustoimenpiteitä tutkittiin kenttälaitetasolla. Hukkalämmön tehokkaamman hyödyntämisen tutkimisessa otettiin kantaa myös fyysisen lämmitysjärjestelmän putkisto- ja laitetason muutoksiin, mutta määräävänä tekijänä oli kuitenkin rakennusautomaatiojärjestelmälle asettavan logiikan toteutuminen.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena luotiin koko rakennuksen tilaajan kriteerit täyttävälle uudelle automaatiojärjestelmälle järjestelmätason kaaviot, jotka ovat osa uusintahankkeen urakkalaskentadokumentteja. Hukkalämmöntalteenottojärjestelmän hallinnan ja tehokkuuden parantamista varten tutkimuksessa luotiin tutkimuskohteen nykyisen lämmitysjärjestelmän kanssa toimiva kytkentämalli sekä sille säätökaavio toimintaselostuksineen. Tutkimuksessa lopuksi tarkasteltiin myös tutkimuksessa esitetyn hukkalämmöntalteenoton kytkentämallin soveltuvuutta kaukolämpöjärjestelmiin.</p>	
Avainsanat	rakennusautomaatio, hukkalämpö, tehdasrakennus, lämmönjako

Author Title	Tuomas Tanninen Control of Production Line Heat Recovery System with a Building Management System in Manufacturing Plant
Number of Pages Date	47 pages + 3 appendices 31 May 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Mikko Ylikopssa, Safety and Technical Manager Jarmo Tapio, Senior Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to create a method for improving the heat recovery system control in a production line to improve the overall energy efficiency. In addition, the building management system was studied because of its outdated hardware and insufficient coverage.</p> <p>The current building management system was first mapped and renovations were suggested on the basis of material from service providers, publications and regulations about building management systems. To improve the efficiency of the heat recovery, equipment and piping modifications were also studied. Finally, the alternative of implementing an updated heat recovery control with a CHP plant heat supply was studied.</p> <p>As a result, system- and field device -level schematics were created as a basis for overall building management system improvement. For heat recovery system control, control schematics with operation directions and a device -list were also created.</p> <p>In conclusion, the study created a foundation for ways to improve the present and possible future building management system and heat recovery.</p>	
Keywords	building management system, heat recovery, manufacturing plant, heat distribution

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kohteen ja tutkimustyön esittely	3
2.1	Tutkimuskohteen yleistiedot	3
2.2	Vesi- ja viemärintijärjestelmä	4
2.3	Lämmitysjärjestelmä	4
2.4	Kuivauslinjastojen hukka-LTO-järjestelmät	4
2.5	Kiertoilmakanavisto	7
2.6	Rakennuksen ilmanvaihto	8
2.7	Rakennusautomaatio	9
2.7.1	Automaatiojärjestelmän syvempi tarkastelu	10
2.7.2	Nykyiset erillissäätimet, niiden tiedonsiirtomenetelmät ja topologiat	10
3	RAU-järjestelmän suunnittelun lähtökohdat	11
3.1	RAU-järjestelmän rooli ja tavoitteet rakennuksessa	11
3.2	Rakennuksen automaatiojärjestelmän viranomaisvaatimukset	12
3.3	Järjestelmän tyyppin valintaperiaate	13
3.3.1	Rakennusautomaatiojärjestelmältä vaadittavat ominaisuudet	13
3.3.2	Keskitetyt ja hajautetut automaatiojärjestelmät	14
3.3.3	Järjestelmän fyysinen topologia	15
3.3.4	Avoimen tiedonsiirtoprotokollan järjestelmä	17
3.3.5	Käyttöliittymä	18
3.3.6	Kustannukset	19
4	Tutkimuskohteen RAU-järjestelmän muutokset	20
4.1	RAU-järjestelmälle esitettävät tavoitteet ja nykytilanteen korjausehdotukset	20
4.1.1	RAU-järjestelmän laitteiston looginen ja fyysinen topologia	20
4.1.2	RAU-järjestelmän tiedonsiirtomenetelmät	22
4.1.3	Avoin valvomo	25
5	Prosessin hukka-LTO:n automaatiojärjestelmän muutokset	27

5.1	RAU-järjestelmän kokonaisuudet ja niiden toiminnallisuus nykytilanteessa	27
5.2	Nykyisen hukka-LTO-järjestelmän automaation toimintaperiaate	30
5.3	Nykyisen RAU-järjestelmän kokonaisuuksien yhteensovittaminen	31
5.4	Glykoli-LTO-järjestelmän kokonaisuuden tarkastelu	33
5.4.1	Glykoli-LTO-järjestelmän toiminnallisten ominaisuuksien muutos	34
5.4.2	Glykoli-LTO-järjestelmän jakelujärjestelmän toimintaperiaate	38
6	Tutkimustulokset	42
7	Yhteenveto	45
	Lähteet	48
	Liitteet	
	Liite 1. Nykyisen RAU-järjestelmän järjestelmäkaavio	
	Liite 2. RAU-järjestelmän purku- ja muutostöimenpiteiden järjestelmäkaavio	
	Liite 3. Hukka-LTO-järjestelmän säätökaavio, toimintaselostus ja AU-laiteluettelo	

## Lyhenteet

LTO Lämmöntalteenotto.

PILP Poistoilmalämpöpumppu.

RAU Rakennusautomaatio.

VAK Valvonta-alakeskus, jolla ohjataan jotain RAU-järjestelmän osakokonaisuutta.

## 1 Johdanto

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tilaajalle uusi koko kiinteistön kattavan uuden RAU-järjestelmän järjestelmätason toteutusmalli sekä hukka-LTO-järjestelmän automaatiolle vaihtoehtoinen paremmin hallittava ja nykyiseen järjestelmään verrattuna hukkalämpöä tehokkaammin jatkokäyttävä automaation kenttälaitetason toteutusmalli. Rakennuksen RAU-järjestelmän päivittäminen parantaa kiinteistön kokonaisvaltaista teknisten laitteiden hallintamahdollisuutta. Hukka-LTO-järjestelmän hallinnan parantaminen ohjaamalla lämpöä tarpeen mukaan tuo mahdollisuuden käyttää hukkalämpöä tehokkaammin. Rakennuksen RAU-järjestelmän päivittäminen ja päivityksen kautta hukkalämmön tehokkaampi hyödyntäminen tuo tavoitteen täysin hukkalämmöllä lämmitettävästä kiinteistöstä lähemmäksi ja luo samalla mahdollisissa uusissa lämmöntalteenottomenetelmissä valmiin logiikka-alustan, joka on hyödynnettävissä myös kiinteistön normaaleihin ylläpito- ja hallintatehtäviin.

Tutkimuksen kohteena oleva rakennus on Cembrit Production Oy:n rakennuslevytuotantotehdas Lohjalla. Cembrit on yksi maailman suurimmista rakennuslevyjen kehittäjistä ja valmistajista. Lohjalla toimiva Cembrit Production Oy kuuluu Cembrit-yhtymään, jonka omistajana on ollut vuodesta 2015 lähtien Solix-yhtymä.

Idea opinnäytetyöhön valitun aihealueen tutkimisesta lähti tutkimuskohteessa sijaitsevassa prosessilinjassa toimivan hukkalämmöntalteenottojärjestelmän lämmönjakelun hallittavuuden ja hukkalämmön tehokkaamman hyödyntämisen parannustarpeista. Tutkimuksen tilaajan teettämien erillisten energiataloudellisten selvitysten perusteella rakennusta olisi teoriassa mahdollista lämmittää täysin hukkalämmöstä talteen otettavalla lämmöllä. Nykyisellään hukka-LTO-järjestelmällä ei ole kiinteistön varsinaisen lämmitysjärjestelmän kanssa yhteensopivaa rakennusautomaatiojärjestelmää ja hukkalämmön ohjaaminen eri järjestelmiin ei ole mahdollista esimerkiksi järjestelmiä ohjaavien parametrien (kuten säätökäyrän) perusteella. Lisäksi kohteessa on RAU-järjestelmätasolla puutteita (vanhentuneita laitteita, keskusvalvomon puute, eri tiedonsiirtomenetelmiä käyttävien säätimien välisen kommunikoinnin puute), jotka vaativat koko rakennuksen RAU-järjestelmän päivityksen. Tästä syystä tutkimus kattaa hukka-LTO-järjestelmän lisäksi myös koko rakennuksen RAU-järjestelmän. Tutkimuksesta rajataan kuitenkin pois

tuotantoprosessin sisäinen automatiikka, jonka järjestelmä ei ole muutenkaan tarkoitettu käytettäväksi kiinteistöjen RAU-järjestelmänä.

Tutkimustyö jaetaan kahteen osuuteen ensimmäisen osuuden koskiessa koko rakennuksen RAU-järjestelmän parannusta järjestelmätasolla. Toinen osuus on hukka-LTO-järjestelmän automaation tutkimus kenttälaitetasolla, jossa pääpaino on luoda tehokkaasti hukkalämpöä käyttävä RAU-järjestelmällä ohjattava järjestelmämalli.

Tutkimuksessa lähestymistapana on kartoittaa kohteen RAU-järjestelmän nykytila mahdollisimman tarkasti ja kartoituksen pohjalta luoda muutostoimenpiteet. Käytännössä kaikki tutkimuksessa esitettävät RAU-järjestelmää koskevat muutosehdotukset pohjautuvat nykytilan kartoituksessa tehtyihin havaintoihin, joten kartoituksen merkitys on tutkimukselle suuri. Kartoittamisen pohjalta luotavat muutostoimenpiteet perustuvat koko rakennuksen RAU-järjestelmässä modernin automaatiojärjestelmän järjestelmätason tyypillisimpien ratkaisujen tutkintaan automaatioalan tietokirjallisuutta avuksi käyttäen. Julkaisuista saatavan tiedon pohjalta tutkitaan RAU-järjestelmätoimittajien tarjoamia ratkaisuja ja niiden soveltuvuutta tutkimuskohteeseen. Tiedon keräämisessä suurimpana tietolähteenä ovat kaikki automaatiojärjestelmiä koskevat ST-kortiston julkaisut sekä laitevalintojen laatuvaatimustasojen osalta myös SFS-standardit. Hukka-LTO-järjestelmän toiminnan tehostuksen parantamisen tutkimuksen tietolähteenä ovat myös lämmönsiirto- ja virtaustekniikan oppimateriaalijulkaisut.

Hukka-LTO-järjestelmän tehokkuuden ja hallinnan parantamisen tutkimuksessa lähestymistapana on tutkia teoreettiselta pohjalta muutostoimenpiteitä nykyiseen järjestelmään. Vaikka tutkimuksessa keskitytään RAU-järjestelmiin, kantaa otetaan myös LVI-tekniisiin fyysisiin kytkentöihin niissä määrin mitä tutkimuskohteessa olisi toteutettavissa ilman LVI-järjestelmätason muutoksia. Tutkimuksessa hukka-LTO-järjestelmän toiminnan määräävä tekijä on kuitenkin RAU-järjestelmä.

Tutkimustyön tulosteena raportoinnin lisäksi ovat järjestelmä-, ja säätökaaviopohjat mahdollista käytännön toteuttamista varten. Tutkimuksessa saatavien tulosten ja niiden pohjalta luotavien dokumenttien rooli on toimia ratkaisujen toteuttamista varten teetettävien urakkalaskentadokumenttien osana.



## 2 Kohteen ja tutkimustyön esittely

### 2.1 Tutkimuskohteen yleistiedot

Tutkittavana kohteena on tehdasrakennuksen LVI-tekniisiä järjestelmiä ohjaavan nykyisen RAU-järjestelmän sekä tehtaassa toimivien tuotantolinjojen kuivureiden hukka-LTO-järjestelmän automaatiojärjestelmän toiminnan parantamismahdollisuuksien tutkiminen. Hukkalämpöä otetaan talteen kuivureiden lisäksi myös paineilmajärjestelmän kompressoreista (prosessiveden esilämmitykseen), mutta kyseinen järjestelmä uusitaan kokonaisuudessaan vuoden 2020 aikana ja uudesta järjestelmästä ei ole saatavilla tutkimusta tehdessä vielä lähtötietoja. Tästä syystä paineilmajärjestelmän kompressorien LTO-järjestelmän automaation tutkiminen jätettiin pois tutkimuksesta.

Rakennuksen alkuperäinen rakennusvuosi on 1958. Rakennukseen on tehty laajennuksia 1961, 1965 ja 1969. Rakennuksessa bruttopinta-ala on n. 34 000 m<sup>2</sup> ja bruttutilavuus n. 188 000 m<sup>3</sup>. Rakennus on käytössä vuorokauden ympäri ja samaten rakennuksessa olevat tuotantolinjat. Tuotantolinjat pysäytetään päivän ajaksi kahden viikon välein huoltoa varten.

Tehtaassa tuotetaan rakennuslevyjä kolmella tuotantolinjastolla, joka alkaa raaka-aineiden sisään tuonnista valmiin tuotteen ulosmyyntiin (kuva 1).



Kuva 1. Rakennuksen geometria ja tuotantoprosessin kulkusuunta.

## 2.2 Vesi- ja viemäröintijärjestelmä

Rakennuksessa jatkuvia vedentarvekohteita ovat talousvesi (juomavesi) ja tuotantoprosessissa käytettävä vesi. Juomavesi tuodaan rakennukseen kunnallistekniikalla ja tuotantoprosessiin syötettävä vesi tulee kunnallistekniikalla sekä pumpataan rakennuksen lähellä olevasta lammesta raakavetenä.

Rakennuksen jäte- ja osittain huleveden viemäröinti on toteutettu kunnallistekniikalla. Prosessissa syntyvää lämmintä hukkavettä kerätään talteen ja uusiokäytetään. Prosessin hukkaveden uudelleenkäytön valvonta ja ohjaus toteutetaan prosessin sisäisellä automaatiojärjestelmällä, joten siihen ei tässä tutkimuksessa oteta kantaa.

## 2.3 Lämmitysjärjestelmä

Rakennuksen oma ja tuotantolinjan prosesseissa vaadittava lämmitys tapahtuu pääasiassa kahdella yhteensä 1500 kW:n lämmitystehon tuottavalla maakaasukattilalla. Ensimmäinen kattila on teholtaan 1000 kW:n kevytöljy/maakaasu-yhdistelmäkattila ja toinen 500 kW:n maakaasu-kondenssikattila. Molempia kattiloita tuetaan toisesta kuivauslinjasta talteen kerätyllä hukkalämmöllä. Sähköllä lämmittämistä tehdään vain tarvittaessa. Toimisto-osilla lämmönluovuttimina toimivat radiaattorit ja tehdashallissa lämminilma- sekä kiertoilmapuhaltimet. Lämmitysverkoston kiertoveden mitoitustilapötilat ovat meno-/paluulinjassa +70 °C/+40 °C ja lämminilmapuhaltimien lisäksi lämmitysverkosto palvelee ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereita (joilla ei ole siis lainkaan omaa verkostoa).

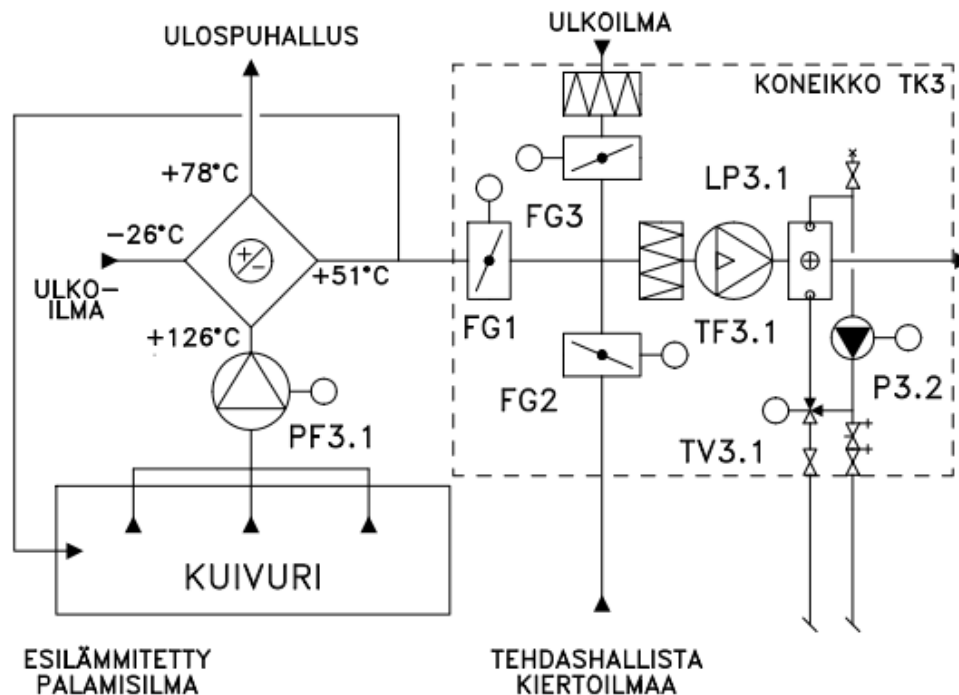
## 2.4 Kuivauslinjastojen hukka-LTO-järjestelmät

Tuotantoprosessi koostuu useasta eri vaiheesta, joista yksi vaihe on lähes valmiin tuotteen kuivattaminen: Tuotantolinjastossa kuivattamisvaiheessa tuotetta kuivatetaan lämmittämällä tuotetta ympäristöään kuumemmaksi. Kuivausilman lämpö tuotetaan kuivareiden sisäänrakennetuilla maakaasupolttimilla. Kuivatusvaiheessa sivutuotteena syntyy suuri määrä yllilämmintä (n. +130 °C) ilmaa. Kyseisen kuumen ilman sisältämän lämmön

hyöty-/uudelleenkäyttämistä varten kuivatuslinjastoihin on rakennettu omat eri periaatteilla toimivat LTO-järjestelmät, joilla uusiokäytetään kuivatuksen yllämpimää ilmaa.

Kuivatuslinjoja on 2 kpl, ja LTO-järjestelmän käyttämän lämmön kerääminen perustuu ensimmäisessä kuivatuslinjastossa kuivatusprosessissa syntyvän yllämpimän ilmavirran ohjaamiseen ilma/ilma-vastavirtalevyllämmönsiirtimelle ja toisessa kuivatuslinjastossa glykoli-LTO-patterilla varustettuun poistoilmakanavistoon. Kuivatuslinjastojen LTO-järjestelmien toimintaperiaatteet poikkeavat toisistaan, ja niitä tarkastellaan toisistaan erillään. Kohteessa kuivatuslinjastot ovat nimetty vastavirta-LTO-kennollisessa linjassa nimellä ”kuivaaja 1” ja glykoli-LTO-järjestelmässä nimellä ”kuivaaja 2”.

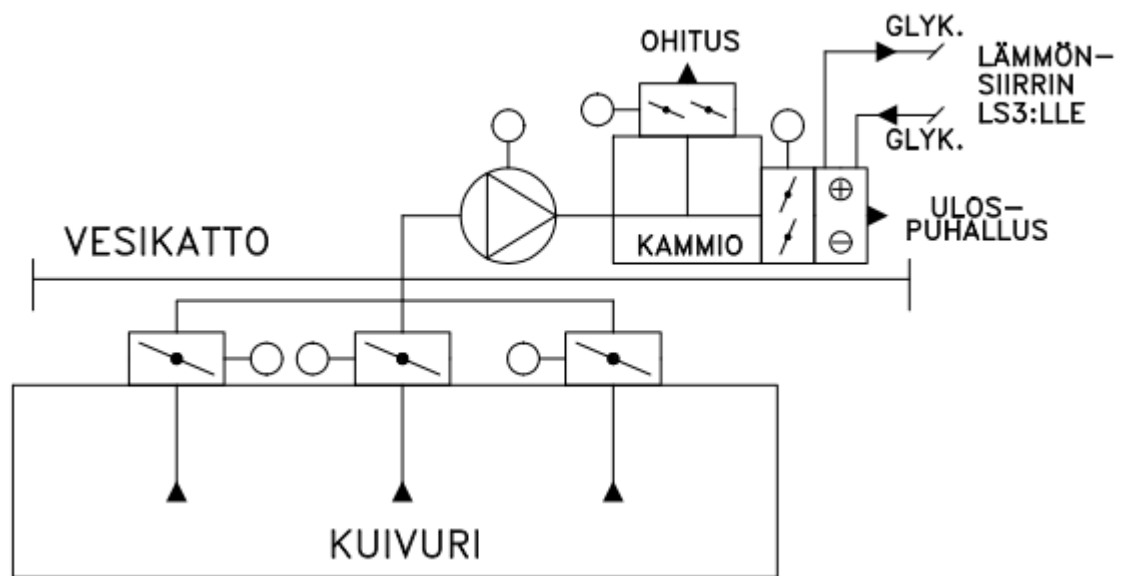
Kuivaaja 1:n linjastossa yllämpimällä ilmalla lämmitetään vesikatolla sijaitsevan (vastavirta) ilma/ilma-levylämmönsiirtimen ensiöpuolta. Toisiopuolella lämmennyt ilma puhalletaan ensisijaisesti molempien kuivaajien maakaasupolttimille esilämmitettynä palamisilmana ja toissijaisesti tehdashallia palvelevan tuloilmanvaihtokoneen (TK3) raitisilmakanavaan tuloilman esilämmitystä varten (kuva 2).



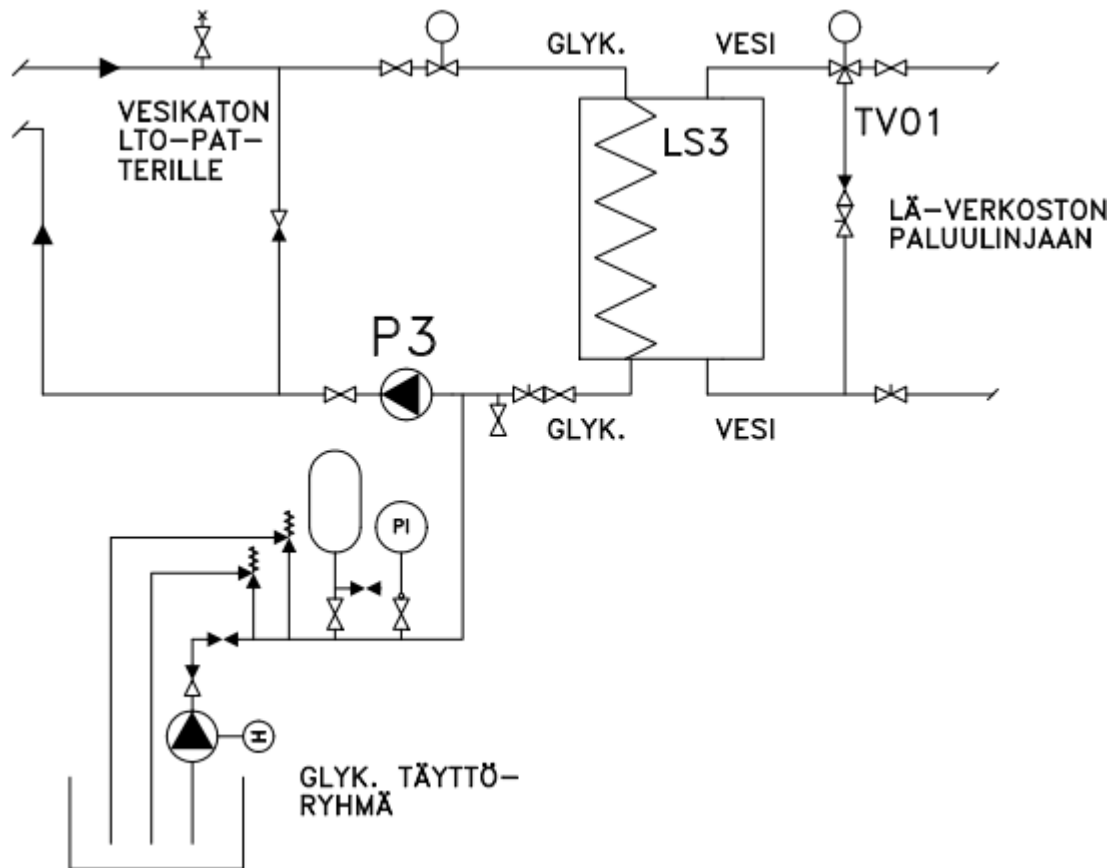
Kuva 2. Kuivaaja 1-linjaston LTO-järjestelmän ja tehdashallin tuloilmakone TK3:n kytkentäkaavio.

Koneikolle TK3:lle esilämmitettyä ilmaa johdettaessa on otettu huomioon myös kesätilanne, jolloin ilmanotto tapahtuu suoraan ulkoilmasta (pelti FG3 auki, FG1 ja FG2 kiinni). Vastavuoisesti kylmimpinä talvikuukausina voidaan LTO-vastavirtakennossa esilämmitetyn raitisilman tueksi kierrättää myös tehdashallin ilmaa (FG3 kiinni, FG1 ja FG2 auki).

Kuivaaja 2:n kuivauslinjaston yllämmin ilma lämmittää glykolipatterissa kiertävää nestettä, jonka lämpöä kierrätetään lämmönsiirtimeen (LS3) kautta rakennuksen lämmitysverkoston paluupuolelle. Glykolipatterin jälkeinen viilentynyt ilma puhalletaan ulos (kuvat 2 ja 3).



Kuva 3. Kuivaaja 2-linjaston hukka-LTO-järjestelmän lämmön keräämisen kytkentäkaavio.

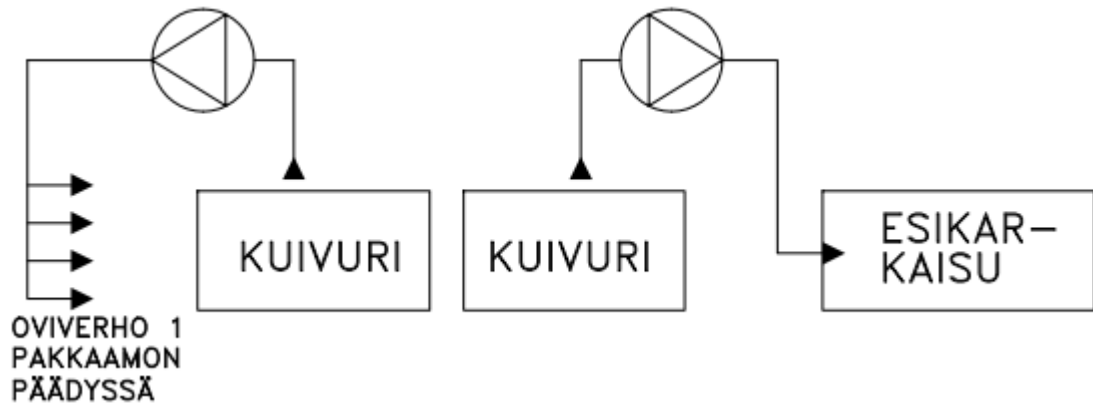


Kuva 4. Kuivaaja 2:lta hukka-LTO-järjestelmän glykoliverkoston lämmönsiirtimen kytkentäkaavio (laitepositiot nykyisistä suunnitelmista).

## 2.5 Kiertoilmakanavisto

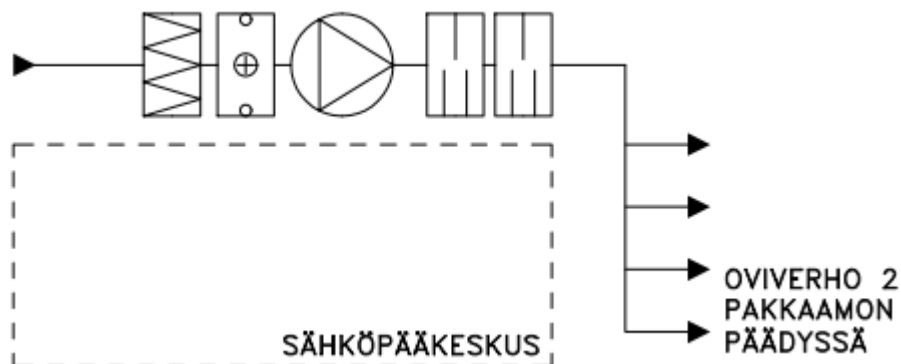
Tehdashallin lämmönjaossa lämminilmapuhaltimien lisäksi lämmityksen jakoa toteutetaan kuivatuslinjojen yltä kuumaa tehdashallin sisäilmaa imevillä kiertoilmapuhaltimilla (aksiaalipuhaltimet) (kuva 5) ja tehdashallin lämmintä sisäilmaa kierrättävällä kiertoilmakoneikolla (kuva 6).

Kuivureiden päältä imettyä lämmintä ilmaa puhalletaan toisessa kuivauslinjastossa tuotantoprosessin esikarkaisuvaiheeseen (prosessin tehostamiseksi) ja toisessa pakkaamon päädyn myyntivarastoon vievän toisen nosto-oven oiverhokanavaan.



Kuva 5. Kuivureiden päältä imevien kiertoilmapuhaltimien periaatekaavio.

Myyntivaraston toisen nosto-oven oviverhokanaviston lämpimän ilman tuottaa tehdashallin kiertoilmakoneikko.



Kuva 6. Hallin kiertoilmakoneikon periaatekaavio.

## 2.6 Rakennuksen ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu käytännössä kokonaan erillistulo- ja poistopuhaltimilla. Ainoa poikkeus on toimitilojen erillinen toimisto-osa, jossa ilmanvaihto on toteutettu ristivirta-LTO-kennoisella Ilto 850 -ilmanvaihtokoneella. Ilmanvaihtojärjestelmän erillisissä tulo- ja poistokoneikoilla toimivissa kokonaisuuksissa ei ole mitään lämmöntalteenottoa. Tehdashallin ilmanvaihtoa toteuttavat tehdashallia palvelevat erilliset huippuimurit ja kesätilanteessa hallia myös tuuletetaan ulkoilmalla. Rakennuksen torniosalla

sähkötiloille on uusittu ilmanvaihtokoneet vuonna 2019 (2 kpl) sekä niitä ohjaava automatiikka samana vuonna.

## 2.7 Rakennusautomaatio

Tutkimusta varten rakennuksen taloteknisiä toimia hallinnoiva automaatiojärjestelmä kartoitettiin aluksi järjestelmätasolla. Kartoituksessa käytiin läpi rakennuksen nykyisten kiinteistön hallintaan liittyvien teknisten järjestelmien hallintamenetelmät, niitä toteuttavat laitteistot ja käyttöönottoajankohdat.

Rakennuksen taloteknillisiä toimia hallinnoiva automaatiojärjestelmä koostuu sekalaisista kolmen eri valmistajan erillissäätimistä tai niiden muodostamista erillisistä kokonaisuuksista. Esimerkiksi toimiston maisemakonttoriosaa palvelevan ilmanvaihtokoneen hallinta on toteutettu Ouman EH-105-säätimellä, kun vastavuoroisesti saman konttorin toisessa osassa kyseistä osaa palvelevan koneen hallinta on toteutettu Omron CJ1M-säätimellä. Erilliset säätimet ja järjestelmäkokonaisuudet eivät ole yhteydessä toisiinsa eivätkä kommunikoi keskenään. Lisäksi säätimien käyttöikä on lopussa (esimerkiksi CJ1M:n viimeisimmät tuoteselostepäivitykset valmistajan sivulla ovat vuoden 2013 lopulta). Rakennuksesta löytyy myös ilmanvaihdon erillispuhaltimia ja huippuimureita, jotka eivät ole automaatiojärjestelmään kytkettynä lainkaan (esimerkiksi tehdashallin poistopuhaltimet).

Vuonna 2019 uusituille sähkötilojen ilmanvaihtokoneille on rakennettu Siemens Simatic-alustalle koneita ohjaava järjestelmä. Järjestelmä käyttää tiedonsiirtomenetelmänä teollisuusautomaatiossa enemmän käytettyä Profinet-ethernet-väylää (Nieminen 2019: 13).

Rakennuksessa ei ole keskusvalvomolaitteistoa taloteknisille automaatiojärjestelmille ja kaikki nykyisen RAU-järjestelmän hallintatoiminnot tehdään koneikkokohtaisten säädinten käyttöpaneelien kautta (sijoitettu hallittavien koneiden läheisyyteen). Automaatiojärjestelmän etähallinta ei ole mahdollista.

Hukka-LTO-järjestelmän lämmönjakelulle on ohjaus kuivaaja 1:n (ilma/ilma-levylämmönsiirrin) järjestelmässä, mutta kuivaaja 2:n järjestelmässä ei ole automatiikkaa lainkaan.

### 2.7.1 Automaatiojärjestelmän syvempi tarkastelu

Erillissäätimiin pohjautuva RAU-järjestelmä kattaa automaatiojärjestelmästä ulkona olevia laitteita lukuun ottamatta koko rakennuksen LVIA-järjestelmien ohjauksen. Taulukossa 1 on lueteltu rakennuksessa olevien nykyisten erillissäätimien mallit ja palvelukohteet.

Taulukko 1. Rakennuksen erillissäätimet.

Valmistaja	Malli	Väyläprotokolla / tietoliikenneyhteys	Koneikko	Asennusvuosi
Omron	CJ1M	RS-232	TK1	2002
Omron	CJ1M	RS-232	TK2	2002
Omron	CJ1M	RS-232	TK3	2002
Ouman	EH-105	EIA-232C	TK5	2011
Ouman	EH-105	EIA-232C	TK6	2011
Ouman	EH-105	EIA-232C	01TK	2005
Ouman	EH-203	EIA-232C	Lämmönjakokeskus	2011
Siemens	Simatic S7-400	Profinet	TK01/PK02 & TK02/PK02	2019

Automaatiojärjestelmästä ulkona olevissa koneikoissa (kuten tehdashalliosan vanhoissa poistoilmapuhaltimissa) on vain ryhmäkeskusohjaus (0,1/2,1-kytkin).

### 2.7.2 Nykyiset erillissäätimet, niiden tiedonsiirtomenetelmät ja topologiat

Nykyisen RAU-järjestelmän erillissäätimien valmistajat ovat Omron, Ouman ja Siemens. Osaa toimisto-osan ilmanvaihtokoneista ohjataan konekohtaisesti Omron CJ1M-säätimillä (laitteen asennusvuosi 2002 ilmanvaihdon saneerauksen yhteydessä). Kyseinen järjestelmä valittiin kiinteistöautomaation hallintaan aikoinaan ajatuksena ohjata ilmavaihtoa prosessiautomaatiojärjestelmän kautta, jossa myös on Omronin järjestelmä. Ulkopuolisiin verkkoihin (kuten RAU-järjestelmän väylään) liitettäessä säätimessä on sarjaportti (RS-232), mutta lisäkortilla säätimen saa kommunikoidaan myös esim. Modbus-RTU-väylässä.

Nykyinen lämmitysjärjestelmää ohjaava säädin on Ouman EH-203. Omron CJ1M:n tapaan EH-203:n verkkoon liittäminen tapahtuu vakiokokoonpanossa sarjaportilla (RS-232), mutta säädin on mahdollista saada kommunikoidaan lisäkortilla myös Modbus-



RTU-väylässä. Sama pätee Ouman EH-105:n säätimeen, jolla ohjataan ilmanvaihtokoneikkoja TK5, TK6 ja 01TK.

Sähkö- ja valvomotilojen ilmanvaihdon RAU-järjestelmäalusta on enemmän teollisuusautomaatiossa käytettävä Siemens Simatic. Tiedonsiirtomenetelmänä kyseisessä järjestelmässä on Profinet. Profinet on Siemensin, Profibusin ja Profinet Internationalin yhdessä kehittämä TCP/IP-väylää käyttävä teollisuusautomaatiolle tarkoitettu ethernet-verkkoratkaisumalli (Nieminen 2019: 13).

RAU-järjestelmässä erillissäätimien välistä kaapelointia tai kommunikointia ei ole olemassa, joten rakennuksen RAU-järjestelmän järjestelmätasolla ei ole fyysistä eikä loogista topologiaa. Nykytilannetta on havainnointu liitteen 1 RAU-järjestelmäkaaviossa.

### **3 RAU-järjestelmän suunnittelun lähtökohdat**

#### **3.1 RAU-järjestelmän rooli ja tavoitteet rakennuksessa**

RAU-järjestelmällä on useaa eri tarkoitusta toteuttava rooli. Automaatiojärjestelmän pääasialliset tehtävät ovat

- ylläpitää kiinteistön energiatehokasta käyttöä (esim. talotekniikan laitteistoa ohjaamalla)
- toimia kiinteistön huollon apuvälineenä (esim. hälytysten seurannalla)
- olla osana kiinteistön suojausta vaativien kohteiden/laitteiden varmistajana (esim. lämmityspatterin jäätymissuojauksella)
- ylläpitää rakennuksen käyttäjien olosuhteet kelvollisina (esim. tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaus). (ST 710.10 2017: 1.)

Automaatiojärjestelmällä toteutettavien tehtävien luonteena on tällöin epäsuorasti vaikuttaa rakennuksen käyttökustannuksiin ja suoraan vaikuttaa rakennuksen käyttäjän (sekä rakennusmääräysten) asettamien käyttöolosuhteiden ylläpitämiseen.

Ilman oikein suunniteltua ja toimivaa automaatiojärjestelmää rakennukselle asetettavien käytön aikaisen ylläpitämisen ja energiankulutustavoitteiden laatutasojen saavuttamiset vaikeutuvat tai tulevat mahdottomaksi. Käytännön sovellutuksissa on myös huomattu automaatiojärjestelmän eri roolien tukevan toisiaan tai olevan toisistaan täysin riippuvaisia. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneen LTO-laitteiston energiansäästön trendiseurannassa tulee huolehtia myös saman ilmanvaihtokoneikon mahdollisten vikatilanteiden seurannasta, koska niillä saattaa olla vaikutusta energiansäästömittausten tuloksiin. Rakennuksen käytön ja elinkaaren kannalta automaatiojärjestelmällä on tällöin hyvin merkittävä rooli.

### 3.2 Rakennuksen automaatiojärjestelmän viranomaisvaatimukset

Rakennusautomaatiojärjestelmille ei ole olemassa suoria viranomaistahon antamia määräyksiä, mutta käytännössä melkein kaikki LVI- sekä pienissä määrin palojärjestelmille asetetut viranomaismääräykset (Suomen rakentamismääräyskokoelma) vaikuttavat epäsuorasti automaatiojärjestelmän toteutustapaan (ST 710.00 2017: 1). Automaatiojärjestelmien rakentamiselle on olemassa ohjekortteja ST-kortistossa sekä standardeja SFS-standardeissa. Hyvänä koosteena erilaisista automaatiojärjestelmän ohjeista ja standardeista on ST-kortiston kortti ST 710.00 ”Rakennusautomaatiojärjestelmän säädökset, määräykset, standardit ja ohjeet”.

Rakennusautomaatiojärjestelmälle asetettavista vaatimuksista löytyy mm. automaatiojärjestelmään kytkettävien laitteiden testausvaatimukset käyttöympäristön olosuhteiden osalta (ST 710.00 2017: 3), väyläprotokollien vaatimuksenmukaisuudet (esim. BACnet-väylän osalta) (ST 710.00 2017: 5–6) ja järjestelmällä suoritettavien energiatehokkuuslaskelmien vaatimuksenmukaisuudet (ST 710.00 2017: 5).

Automaatiojärjestelmien suoranaisten viranomaismääräyksien puuttumisesta huolimatta tietoa ja säädöksiä on siis hyvin runsaasti saatavilla järjestelmien suunnittelussa ja toteutuksessa hyödynnettäväksi.

### 3.3 Järjestelmän tyypin valintaperiaate

Rakennusautomaatiojärjestelmän roolille ja toimintaedellytykselle asetettavien tavoitteiden tulee olla tiedossa jo järjestelmän rakennuksen hankesuunnitteluvaiheessa (ST 41.10 2017: 1; ST 710.01 2016: 1). Usein automaatiojärjestelmän RAU-suunnittelu on osana taloteknistä suunnittelua (ST-käsikirja 17 2018, Pusa:134–135) ja RAU-suunnitteluun otetaan myös kantaa talotekniikan suunnittelussa käytettävän TATE18- tehtäväluettelossa (ST 41.10 2017). Automaatiojärjestelmän suunnittelun pohjana käytetään työn tilaajan asettamia vaatimuksia, joiden pohjalta RAU-suunnittelija (yhdessä muiden alojen suunnittelijoiden kanssa) luo parhaiten vaatimustasoa vastaavan järjestelmäkokonaisuuden.

Järjestelmäkokonaisuutta suunnitellessa tulee ottaa huomioon järjestelmävaihtoehtojen ominaisuuksien ja toimintaperiaatteiden soveltuvuus suunniteltavaan kohteeseen, mahdolliset viranomaisten määräykset ja standardit, muuntojoustavuus sekä käyttäjän kannalta järjestelmän käyttäjäystävällisyys (huoltotoimenpiteitä varten) (ST 701.60 2016: 2).

#### 3.3.1 Rakennusautomaatiojärjestelmältä vaadittavat ominaisuudet

Uutta tai peruskorjattavaa rakennusautomaatiojärjestelmää suunniteltaessa tulee selvittää mahdollisimman tarkasti järjestelmällä hallittavien ja valvottavien laitteistojen, prosessien sekä järjestelmän käyttäjien tarpeet. Uudiskohteissa automaatiojärjestelmää suunniteltaessa lähtötiedot tulevat suoraan tilaajaorganisaatiolta. Peruskorjauskohteissa mukana voi olla myös rakennuksen käyttäjiä tai huolto-organisaatio (ST 710.12 2015: 5).

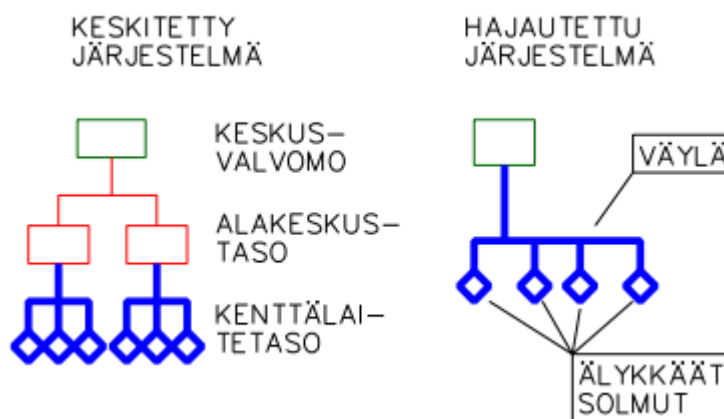
Automaatiojärjestelmälle asetettavista keskeisimmistä ominaisuuksista tulisi huomioida ainakin:

- rakennuksen prosessien hallinta ohjaus-, mittaus-, säätö- ja hälytystoiminnoilla
- tilastomateriaalin tuottaminen rakennuksen energiankulutuksesta, energiatehokkuudesta ja olosuhteista

- rakennuksen taloteknisten toimintojen valvonta hälytyksin ja mittauksin sekä vi-  
katilanteisiin reagointi
- järjestelmän käyttöliittymän selkeys, loogisuus ja helppokäyttöisyys. (ST 710.12  
2015: 5; ST-käsikirja 17 2018, Sulku: 21.)

### 3.3.2 Keskitetyt ja hajautetut automaatiojärjestelmät

Rakennusautomaatiojärjestelmässä järjestelmätason rakenteella on vaikutusta järjestel-  
män toimintaperiaatteeseen ja sitä kautta myös suoraan muuntojoustavuuteen. Pääasi-  
allisesti automaatiojärjestelmien toimintaperiaatteina voidaan pitää kahta perustyyppiä:  
keskitettyä tai hajautettua järjestelmää (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä & Sulku: 15). Ku-  
vassa 7 on havainnollistettu järjestelmien rakennetta.



Kuva 7. Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän rakenne.

Keskitetyssä järjestelmässä järjestelmärakenne on hierarkkinen, jossa yhtä tasoa ylempi  
taso määrää toiminnasta alemmilla tasoilla. Käytännössä toimintaa ohjaa "keskusäly",  
jonka kautta kaikki järjestelmän tiedot ja käskyt kulkevat. Tällaisessa järjestelmässä on-  
gelmaksi muodostuu vikaherkkyys: yksi vika keskuksessa voi ajaa alas koko järjestel-  
män. Aikoinaan keskitetyissä järjestelmissä oli käytössä myös suljettu (yleensä valmis-  
tajan oma) tiedonsiirtoprotokolla, joka teki järjestelmässä toisen valmistajan laitteiden  
käyttämisen käytännössä mahdottomaksi. (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä: 16.)

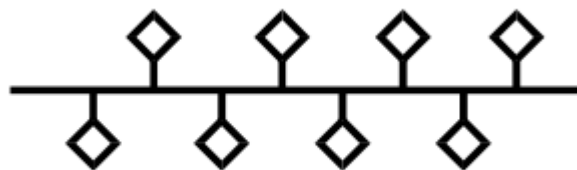
Hajautetussa järjestelmässä järjestelmän kokonaisuus muodostuu pienemmistä osakokonaisuuksista. Järjestelmässä ei ole ”keskusälyä”, jonka läpi kaikki järjestelmän tiedonsiirto tapahtuu. Sen sijaan järjestelmän kokonaisuuden muodostavat laitteistot sisältävät itse omat älytoimintonsa. Tällöin jokainen järjestelmän osa muodostaa kokonaisuuden, jossa sen osat eivät ole riippuvaisia toisistaan. Hajautettu järjestelmäratkaisu mahdollistaa uusien osakokonaisuuksien rakentamisen ja vaikuttaa suoraan järjestelmän muuntojoustavuuteen. (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä: 16–17.)

### 3.3.3 Järjestelmän fyysinen topologia

Järjestelmän topologialla voidaan tarkoittaa järjestelmän fyysistä kaapelointitopologiaa tai järjestelmän loogista toimintamallia (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä: 55). Tässä yhteydessä topologialla tarkoitetaan järjestelmän fyysistä kaapelointitopologiaa.

Tässä tutkimuksessa topologia on automaatiojärjestelmän osien välille rakennetun tiedonsiirtoväylän fyysinen malli, eli tässä tapauksessa järjestelmän osien kaapelointimalli. Järjestelmän topologian määrittää järjestelmältä vaadittavat ominaisuudet ja toimintaperiaatteen tyyppi. Tärkeimmät mallit ovat väylä-, rengas- ja tähtitopologia (ST 709.00 2017: 5).

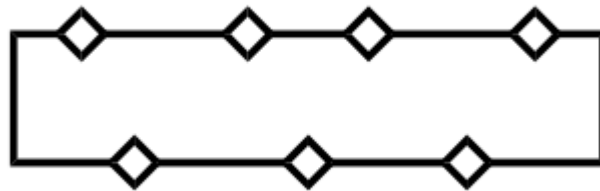
Yksi yleisesti käytössä oleva ja usean toimialan käsittävä fyysinen topologia on väylätopologia. Väylämallissa etuina ovat verkon mallin yksinkertaisuus, toiminnan luotettavuus, muuntojoustavuus ja laajahko levinneisyys. Kuvassa 8 havainnoidaan väylämallista kaapelointitopologiaa.



Kuva 8. Väylämallinen kaapelointitopologia.

Väylämallisissa verkon jokainen laite on yksilöity omalla osoitteella, joka erottaa laitteen verkon muista laitteista. Tiedonkulku väylässä tapahtuu laitteiden välillä osoitteiden perusteella: lähettäjä lähettää sanoman väylää pitkin vastaanottajalle, jonka vain vastaanottaja voi lukea (muut väylässä olevat laitteet näkevät sanoman, mutta eivät voi lukea sitä). Väylässä kulkevien sanomien lukumäärää rajoitetaan väylän käyttölupekäytännöllä (ennen sanoman lähettämistä laitteen täytyy saada lupa käyttää väylää). (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä: 55–57.)

Rengastopologiassa verkkoon kytketyt laitteet ovat myös yksilöityjä ja laitteet voivat lähettää sanomia toiselle laitteelle kuten väyläpohjaisessa topologiassa. Erona väyläpohjaiseen topologiaan on kuitenkin rengasverkon yhden osan rikkoutumisen vaikuttaminen koko järjestelmään. Kuvassa 9 havainnoidaan rengasmallista kaapelointitopologiaa.

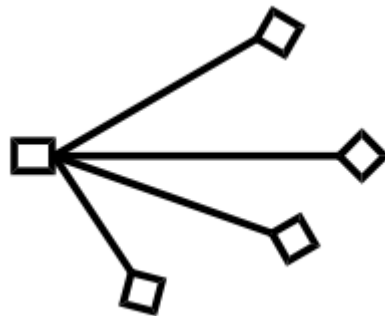


Kuva 9. Rengasmallinen kaapelointitopologia.

Rengastopologiassa sanomat kulkevat verkkoon kytkettyjen laitteiden läpi yksi kerrallaan väyläpohjaiseen verkkoon verrattuna, jossa kaikki verkkoon kytketyt laitteet kuulevat sanoman lähes samanaikaisesti. Rengastopologiaan kytketyllä laitteella on myös rooli toimia toistimena (luettuaan sanoman laite lähettää sen takaisin verkkoon). Väylämallisen verkon sijaan rengasmallisissa ei tiedonsiirrolle voida asettaa kilpavaraukseen perustuvia lupakäytäntöjä sanomien verkkoon lähettämisen osalta, koska riskinä on sanomien kiertoriski ja verkon käytön varaaminen kokonaan muilta sanomilta. Rengastopologia on suosittu toteutusmuoto lähiverkkosovellutuksissa ja erityisesti automaatiojärjestelmien yhteydessä siirtoverkkona sekä toimistoverkkona. (ST-käsikirja 21 2017. Piikkilä: 57–58.) Varsinaisessa rakennusautomaatiojärjestelmässä rengasverkkotopologian

toimintaperiaatteen tuomista ongelmista kyseistä kytkentätapaa ei yleensä sallita avoimia standardeja käytettäessä automaatiojärjestelmää rakennettaessa (ST-käsikirja 17 2018, Piikkilä & Liedes: 108), joka vuorostaan voi vaikuttaa muuntojoustavuuteen.

Tähtitopologiassa verkon kaikki laitteet ovat kytketty ”tähdin” keskelle kytkentäkeskukseen, jonka läpi kaikki verkon yhteydet kulkevat. Tähtiverkostossa heikkoutena on verkon toiminnan kannalta kriittisen kytkentäkeskuksen rooli. Kuvassa 10 havainnoidaan tähtimallista kaapelointitopologiaa.



Kuva 10. Tähtiverkkomallinen kaapelointitopologia.

Hyväksi havaitut käyttökohteet tähtiverkkotopologialle ovat optisilla verkkoratkaisuilla toteutetut verkot. Tähtiverkon muuntojoustavuuteen vaikuttaa ratkaisevasti kytkentäkeskuksen ominaisuudet, mutta optimaalisessa tilanteessa tähtiverkkoon laitteiden lisäys ja poisto voi olla hyvin helppoa. (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä: 58–59.)

#### 3.3.4 Avoimen tiedonsiirtoprotokollan järjestelmä

Rakennuksen automaatiojärjestelmän käyttämä tiedonsiirtoprotokollan tyyppi on yksi vaikuttava tekijä järjestelmän muuntojoustavuuteen yhdessä järjestelmän rakenteen kanssa. Aikoinaan käytetyissä suljetuissa järjestelmissä tiedonsiirto perustui järjestelmätoimittajaan omaan protokollaan, joka yleensä ei ollut yhteensopiva toisen valmistajan laitteiston kanssa. Tällöin järjestelmän hankkija oli sidoksissa käytännössä kokonaan yhden laitetoimittajan tuotteiden käyttämiseen. (ST-käsikirja 17 2017, Sahala: 122; ST-käsikirja 17 2017, Sahlstén: 247.)

Nykyisten rakennusautomaatiojärjestelmien tiedonsiirto suoritetaan käyttäen avoimia protokollia, joten tässä tutkimuksessa ei otettu kantaa suljettuihin protokolliin (ST-käsikirja 17 2018, Sahlstén: 247). Yleisimmin RAU-järjestelmissä käytetty paikallisten laitteistojen välinen kommunikaatoratkaisu järjestelmätasolla on TCP/IP-protokollaan pohjautuva ethernet-väylä (ST-käsikirja 17 2018, Spangar: 60).

Avoimella protokollalla tarkoitetaan tiedonsiirrossa yleisesti tunnettua ja ennalta määritettyä tapaa siirtää tietoa. Protokollat ovat kaikkien käytettävissä, varsinkin tekniikka salaamatonta eikä mikään taho omista protokollan tekniikkaa, jolloin tekijänoikeusmaksujakaan ei ole. Avoimien protokollien järjestelmissä käytettävien standardien luonti on tapahtunut usean rakennusautomaatiojärjestelmien kanssa tekemisissä olevien yritysten yhteistyönä ja niiden käyttö on maailmanlaajuista. Avoimen protokollan järjestelmässä on tällöin mahdollista käyttää useamman eri valmistajan laitteita, jolloin kilpailuttamismahdollisuus säilyy. (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä: 154.)

Yleisesti tunnettuja rakennusautomaatiojärjestelmissä käytettyjä avoimia väyläprotokollia ovat esimerkiksi BACnet, Modbus ja KNX. Ethernet-verkkoon kytkemiseksi käytännössä jokaiselta kyseisten protokollia käyttävien laitteiden valmistajilta löytyy joko suora ethernet-liitäntämahdollisuus tai erillinen yhdyskäytävälaite (gateway) ethernet-integraatiota varten. (ST 701.60 2016: 4–8.)

### 3.3.5 Käyttöliittymä

Automaatiojärjestelmän ja käyttäjän rajapintana toimii käyttöliittymä. Käyttöliittymällä käyttäjällä on mahdollisuus vaikuttaa järjestelmän toimintaan ja lukea tietoa järjestelmästä. Nykyaikaisissa rakennusautomaatiojärjestelmissä on mahdollista asentaa rakennuksen automaatiojärjestelmän käyttöliittymällä varustettu paikallinen hallintapaneeli esimerkiksi kiinteistön lämmönjakohuoneen valvonta-alakeskukseen joskus kiinteistön ulkopuolella sijaitsevaan keskusvalvomoon liittämisen sijaan (710.12 2015: 5). Paikallislaitteistoon on myös mahdollista rakentaa etäkäyttömahdollisuus, jossa järjestelmää ohjataan kuten paikallispaneelista (ST-käsikirja 22 2017, Sahala: 22).



Käyttäjätasolla hyvän käyttöliittymän tunnuspiirteinä ovat käyttöjärjestelmän toimintaperiaatteiden loogisuus ja havainnollisuus. Käytännössä tämä tarkoittaa mm. matalaa opimiskynnystä käyttöliittymän käyttöön ja järjestelmästä saatavien tietojen esitys ilman tulkinnanvaraa. (ST-käsikirja 22 2017, Sahala: 23.)

Hyvän käyttöliittymän toteuttaminen ei kuitenkaan ole yksiselitteinen toimenpide. Käyttöliittymän käyttötoiminnan loogiseksi ja havainnolliseksi saattaminen on kytköksissä käyttöliittymäohjelmiston lisäksi käyttöliittymän sisällön suunnittelijalla. Pelkästään hyvällä käyttöliittymäohjelmistolla ei takaa haluttua lopputulosta, jos käyttöliittymän sisältö on toteutettu huolimattomasti (tai päinvastoin vaatimattomalla käyttöliittymällä tuotettu hyvä sisältö). Usein joudutaankin tekemään kompromisseja hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi. (ST-käsikirja 22 2017, Sahala: 24.)

### 3.3.6 Kustannukset

Järjestelmätason laitteistoa määriteltäessä on otettava huomioon järjestelmän hankintasekä käyttökustannukset. Esimerkkinä voidaan verrata eri järjestelmätoimittajien ohjelmistojen lisenssimaksuja ja niihin kuuluvaa sisältöä (ST 701.60 2016: 1).

Muuntojoustavuuden kautta suoraan käyttökustannuksiin vaikuttaa myös järjestelmän käyttämä joko avoin tai suljettu tiedonsiirtoprotokolla, mutta nykyään rakennusautomaatiojärjestelmissä on yleistynyt avoimien lisenssimaksuvapaiden tiedonsiirtoprotokollien käyttö (ST-käsikirja 17 2018, Sahlstén: 247), joten protokollien tuomiin kustannusvaikutuksiin ei tässä tutkimuksessa otettu kantaa.

Järjestelmän toimintaperiaatteella (hajautettu/keskitetty) on myös merkitys kustannuksiin muuntojoustavuuden kautta, mutta nykyään hajautettu järjestelmä on yleistynyt vanhojen keskitettyjen järjestelmien tilalle (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä: 16).

## 4 Tutkimuskohteen RAU-järjestelmän muutokset

### 4.1 RAU-järjestelmälle esitettävät tavoitteet ja nykytilanteen korjausehdotukset

Tilaaajan toiveena on saada rakennukseen selkeä, ajantasainen, laajennusvarainen valvomosta hallittava RAU-järjestelmä taloteknisille toiminnoille. Nykyisessä RAU-järjestelmässä heikkouksina ovat laitteistojen yhteensopimattomat liitännämahdollisuudet, säädinmallien käyttöiän sekä valmistuksen päätyminen ja keskusvalvomolaitteiston puuttuminen.

Usean eri tiedonsiirtomenetelmän käyttäminen ei varsinaisesti heikennä RAU-järjestelmän suoriutumista sille osoitetuista tehtävistä, mutta hankaloittaa RAU-järjestelmän runkoverkon rakentamista, jos yhtenäistä kaikille laitteille sopivaa tiedonsiirtomenetelmää ei löydy. Esimerkiksi kohteen Oumanin ja Omronin säätimissä tiedonsiirtoliitäntä tapahtuu oletusarvoisesti sarjaportilla ja Siemens Simatic S7-400-säätimessä ethernet-liitännällä. Oumanin säätimiin on mahdollista luoda yhteys ethernet-verkkoon kahdella lisäosalla: Modbus-100-väyläkortilla ja erillisellä EH-net-palvelinmodulilla. Omron CJ1M-säätimeen ei saa ethernet-sovitusta lainkaan. Suoraan ethernet-väylään liitettävä Siemens Simatic S7-400:een ei saa vastavuoroisesti sarjaporttiväyläliitäntää.

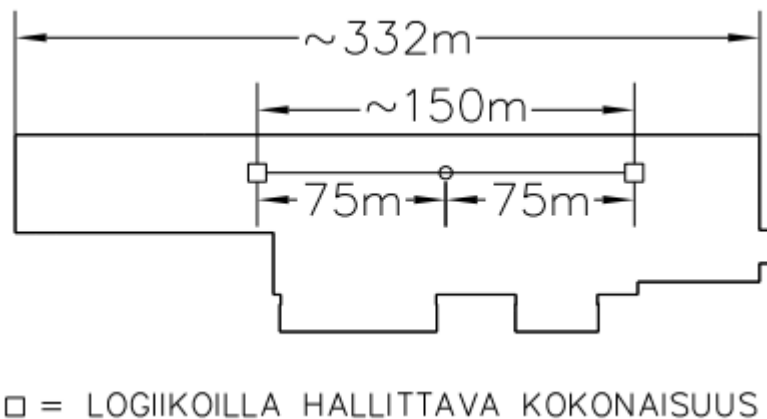
Tutkimuksessa huomattiin, että nykyisen RAU-järjestelmän ajan tasalle ja tilaaajan kriteerien tasolle saattaminen vaatii mittavia järjestelmätason muutoksia. Käyttöikänsä loppuun käytettyjä säätimiä ei ole järkevää uusiokäyttää. RAU-järjestelmään kohdistuvien korjaavien toimenpiteiden tutkinta aloitettiin käytännössä puhtaalta pöydältä. Nykyisestä järjestelmästä säilytettävä säädin olisi käyttöikänsä puolesta vain Siemens S7-400-säädin, jolla ohjataan torniosan sähkötilojen ilmanvaihtokoneikkoja. Muut säätimet puretaan. Liite 2:n ensimmäisellä sivulla on nykytilanteen RAU-järjestelmäkaavio, jossa esitetään purettavat laitteet. Uuden järjestelmän suurimpana kriteerinä on keskusvalvomopohjaisuus. Järjestelmän tulisi olla myös mahdollisimman muuntojoustava.

#### 4.1.1 RAU-järjestelmän laitteiston looginen ja fyysinen topologia

Uutta RAU-järjestelmää suunniteltaessa oli jo alussa selvä, ettei järjestelmän toiminta-periaate voi olla yhteen pisteeseen keskitetyn keskusälyn ohjaama. RAU-järjestelmä

muodostuu nykyiselläänkin omista älykkäillä säätimillä hallittavista kokonaisuuksista, joskin ne eivät kommunikoi keskenään. Keskitetyn keskusällyn läpi kulkevan järjestelmämallin on nykyään muutenkin syrjäyttänyt hajautettu järjestelmämalli sen tuomien etujen vuoksi keskitettyyn järjestelmään verrattuna (ST-käsikirja 17, Piikkilä & Sulku 2018: 16). Uutta RAU-järjestelmää ryhdyttiin suunnittelemaan tällöin hajautettuna järjestelmänä, jossa järjestelmän sisällä toimivien kokonaisuuksien logiikat toimivat itsenäisesti järjestelmän muista kokonaisuuksista riippumatta.

RAU-järjestelmän suunnittelussa läpikäytiin keskusvalvomosta ohjattavan järjestelmän fyysisen kaapelointitopologian edellytykset. Kaapelointitopologian valinnassa olennaiseksi kriteeriksi nousi kaapeloinnin vaatimat fyysiset kaapelointipituudet ja valitun topologian muuntojoustavuus. Tutkimuksen tehdasrakennuksen pituus raaka-aineiden vastaanottopäädystä valmiin tuotteen ulosmyyntipäätyyn on n. 332 m ja kahden toisistaan kauimmaisen erillissäätimen (ts. logiikalla hallittavien kokonaisuuksien) välimatka on n. 150 m. RAU-järjestelmällä käytettäviä kohteita on siis jo nykyisellään n. 75 m:n säteellä (150 m:n keskivälistä laskemalla) ja välimatkalla on kasvupotentiaalia 166 m:iin (332 m:n keskivälistä laskemalla, eli noin rakennuksen keskiosasta). Kuvassa 11 on havainnointu RAU-järjestelmällä ohjattavien suurimpien laitekeskittymien sijainteja rakennuksessa.

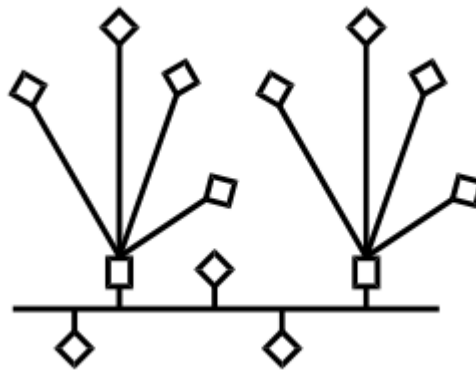


Kuva 11. Nyky-RAU-järjestelmällä toisistaan etäisimmät logiikoilla hallittavat kokonaisuudet.

Pelkästään fyysisen kaapeloinnin määrä osoittaa esimerkiksi täysin keskitetyssä tähtitopologiassa vaadittavan kaapelointimäärän olevan hyvin runsas. Täysin keskitetyssä tähtitopologiassa kaikkien uusien laitteiden verkkoon lisääminen vaatii kaapeloinnin aina

keskusyksikköön. Rengasverkon toteuttaminen tässä tapauksessa ei myöskään ole vaihtoehtona senkin tuomien kaapelointimäärien ja avoimen väyläprotokollan käyttämisestä johtuvien ongelmien takia. (ST-käsikirja 17 2018, Piikkilä & Liedes: 108.)

Järjestelmätason kaapeloinnin minimoinnissa pelkästään esimerkiksi väylämallisen kaapelointitopologian käyttäminen ei välttämättä tuo kuitenkaan haluttua lopputulosta. Tutkimuksen kohteena olevassa rakennuksessa RAU-järjestelmällä hallittavia kohteita on useita, mutta kohteita on yleensä samassa sijainnissa (tai ainakin lähietäisyydellä) useampi ja nämä voivat muodostaa kyseiseen sijaintiin oman kokonaisuutensa. Tällöin loogisena vaihtoehtona olisi käyttää väylä- ja tähtimallisen topologian yhdistelmää, jossa kokonaisuuksia on useita ja jokaiselle niistä on RAU-järjestelmän väylään liitetty keskitetty yhdyspiste. Kuvassa 12 on havainnoitu esimerkkiä väylä- ja tähtiverkon yhdistelmästä.



Kuva 12. Yhdistetyn väylä- ja tähtitopologian esimerkki.

#### 4.1.2 RAU-järjestelmän tiedonsiirtomenetelmät

RAU-järjestelmässä käytettävien tietoliikenneyhteyksien määrittämisessä ensisijaiseksi kriteeriksi nostettiin laitteiden fyysisen liitettävyyden helppous ja verkon laajentamismahdollisuudet. Moderneissa RAU-järjestelmissä yleisesti käytettävä järjestelmätason väylä toteutetaan TCP/IP-protokollallaan pohjautuvalla ethernet-väylällä (ST-käsikirja 17 2018, Spangar: 60). Tällöin RAU-järjestelmän laitteina tullaan käyttämään mitä tahansa yleisesti tunnettuja, ethernet-väylässä toimivia, avointa protokollaa (esim. Modbus TCP, Bacnet IP, KNX jne.) käyttäviä laitteistoja. Moderneissa RAU-järjestelmien laitteistoissa

avoimet protokollat ovat syrjäyttäneet suljetut protokollat (syynä on avoimien protokollien käyttämisestä juontavat käytännön tason edut).

Kohteessa ei tutkimushetkellä ole RAU-järjestelmässä valvonta-alakeskuksia. Valvonta-alakeskuksille ei myöskään ole tarvetta nykytilanteessa. Valvonta-alakeskuksille voisi olla tarvetta, mikäli tutkimuskohteessa olisi runsas automaatiopisteiden tarve yhdessä sijainnissa (tai ainakin toisistaan lähietäisyydellä) kuten esimerkiksi usean ilmanvaihtokoneen konehuone. Ilmanvaihtokoneiden hallinta samassa tilassa (tai läheisyydessä) olevan valvonta-alakeskuksen graafisesta käyttöpaneelistä on kiinteistöhuollon kannaltakin luontevampaa. Tällöin voitaisiin myös toteuttaa ilmanvaihtokoneiden ohjaus suoraan valvonta-alakeskuksen keskusyksiköltä kytkemällä IV-koneiden RAU-järjestelmällä hallittavat osat tai IV-koneen säätimen suoraan keskusyksikköön. IV-konetta ohjaavan säätimen tulee tosin tällöin olla yhteensopiva valvonta-alakeskuksen tiedonsiirtomenetelmän kanssa.

Tutkimuskohteessa pohdittiin yhdessä tilaajan kanssa tulevaisuuden mahdollisia valvonta-alakeskustarpeita ja tilanteita missä alakeskuksen väyläprotokollalla on merkitys järjestelmän toimivuuden kanssa (Ylikopsa 2020). Käytännössä kuitenkin ethernet-verkolla rakennettuun RAU-järjestelmään liittymisen ainoa ehdoton vaatimus laitteella on ethernet-liityntämahdollisuus. Mikäli kuitenkin ainoan nykyisen säilytettävän Siemens Simatic S7-400-säätimen läheisyyteen tulevaisuudessa tulee tarve rakentaa esimerkiksi säätimen kanssa kommunikoiva valvonta-alakeskus, tulee molemmilla yksiköillä olla valmius keskenään kommunikointiin.

Simatic S7-400-säädin käyttää tiedonsiirtoprotokollana teollisuudessa yleisempää Profinet-protokollaa. Kyseinen protokolla ei ole RAU-järjestelmien laitteistoissa yleinen ja on käyttötarkoitukseltaankin tarkoitettu enemmän prosessiteollisuuden automaatiojärjestelmien laitteiden kommunikointiin (Nieminen 2019: 13). Tällöin liitännämahdollisuuksien tutkinta aloitettiin pohjalta, jossa Profinet-protokolla pyritään saamaan kommunikoimaan jonkin RAU-järjestelmissä yleisesti käytettävän ethernet verkossa toimivan protokollan kanssa (Modbus TCP, Bacnet IP, KNX jne.).

Profinet-protokollan kanssa keskustelevan toisen tutkimuskohteen RAU-järjestelmään sopivan protokollan selvitys tehtiin eri RAU-väylille saatavia muunninratkaisuja tutki-  
 malla. Muunninlaitteistoja, joilla Profinet-protokollaa käyttävä laite saadaan muunnettua  
 toista protokollaa ymmärtäväksi, löytyy ainakin rakennusautomaatiojärjestelmissä ylei-  
 sesti käytettäville Modbus-, BACnet- ja KNX-protokollille. Muunninlaitteistojen vaihtoeh-  
 tojen ollessa selvillä tutkittiin ensisijaisesti nykyisen laitteiston laitevalmistajan (Siemens)  
 tarjontaa kyseisistä laitteista. Modbus- tai KNX-väylän kanssa keskustelevaa omaa  
 muunninta ei löydy Siemensiltä. Muuntimia löytyy kyllä webbiä selaamalla, mutta yhdel-  
 täkään muuntimen laitevalmistajalta ei löydy myyntiorganisaatiota tai toimipistettä Suo-  
 mesta ja mahdollisimman hyvän integraation takaamiseksi ulkopuolisen toimijan laitteis-  
 ton sovittaminen tässä tapauksessa ei ole järkevää. Suomen Siemensiltä löytyy kuiten-  
 kin BACnet IP -väylään sopiva Profinet-muunnin. Kyseinen muunnin on myös samaa  
 Simatic-tuoteperhettä mitä alkuperäinen säädinkin on. Kuvassa 13 on valmistajan tuote-  
 kuva kyseisestä muuntimesta.



Kuva 13. Siemens:n Profinet/BACnet-muunnin.

BACnet (Building Automation and Control Network) on kiinteistön RAU-järjestelmille eri-  
 tyisesti kehitetty avoin protokolla (ST 701.60 2016: 4). BACnet-tiedonsiirtoprotokollalla  
 kommunikoivia RAU-järjestelmän laitteita valmistaa esimerkiksi Siemens, Honeywell, Fi-  
 delix, ja Trend. Kyseiset valmistajat ovat Suomessa hyvin tunnettuja ja osa myös kan-  
 sainvälisesti. Kyseiset valmistajat myös tarjoavat pelkkien laitteidensa lisäksi myös koko

kiinteistön kattavaa RAU-järjestelmää, joihin sisältyy esim. valvomolaitteisto ohjelmistoinen. BACnet-protokollan fyysisinä tiedonsiirtomenetelminä ovat IEE 802.3- (ethernet), RS-232- (sarjaportti) ja RS-485- (sarjaportti) liityntärajapintoihin perustuvat ratkaisut. Ethernet-verkossa toimivaa TCP/IP-väylän kanssa kommunikoivaa BACnet-protokollaa kutsutaan myös joissakin yhteyksissä nimellä BACnet IP (ST 701.60 2016: 4).

Tutkimuskohteen uuden RAU-järjestelmän toiminnan kannalta ei ole kriittistä pitäytyä yhdellä tiedonsiirtoprotokollalla toimivissa laitteistoissa, mutta tässä tapauksessa on suositeltavaa valita uuteen RAU-järjestelmään BACnet-protokollalla kommunikoivia laitteita (tiedonsiirtomenetelmä joko laitteeseen integroituna tai laajennusosalla). BACnet-protokollaa käyttäviä laitteita on hyvin saatavilla, niitä valmistavilla yrityksillä on hyvä markkina-asema ja isoimmilla järjestelmätuottajilla on vakaa tuotekehitys.

#### 4.1.3 Avoin valvomo

Tutkimuskohteessa uudelle RAU-järjestelmälle toteutetaan aikaisemmasta järjestelmästä puuttunut valvomo. Valvomolle ei ole osoitettu tutkimustyön aikana vielä erillistä tilaa, mutta valvomon laitteistolle esitettävät kriteerit ovat määriteltävissä, kun RAU-järjestelmän järjestelmätason laitteiston toteutustapa on selvillä.

Tutkimuskohteeseen tulevan valvomo-ohjelmiston valinnassa pääkriteerit ovat ohjelmiston tukemat avoimet protokollat, paikallis-/etäkäyttömahdollisuus ja käyttömaksut. Paikalliskäyttömahdollisuudella tarkoitetaan valvomon käytön olevan riippumaton internet-yhteydestä. Syynä tähän on tilaajan toive tutkimuskohteessa tapahtuvan prosessin hukka-LTO-järjestelmän hallinnan säilyttämisestä, vaikka internet-yhteys olisi katkennut. Etähallintamahdollisuus halutaan kuitenkin sisällyttää hankittavaan ohjelmistoon ja sen kautta RAU-järjestelmään. Täysin pilvipohjaisessa valvomojärjestelmässä etuna on valvomon vaatiman laitteiston toteuttamisen siirtyminen järjestelmätoimittajalle. Pilvipohjainen järjestelmä vaatii käyttötilanteessa luonnollisesti internet-yhteyden, jonka varmistaminen voi olla kohteesta riippuen hankalaa. Tästä huolimatta pilvipohjainen valvomojärjestelmä on yleisesti harkinnan arvoinen vaihtoehto RAU-järjestelmiä suunniteltaessa. Esimerkiksi tutkimuskohteessa pilvipohjainen valvomojärjestelmä ei vaatisi muutoksia rakennuksen sisäiseen järjestelmämallin automaatiotasolle (ts. RAU-ethernet-verk-

koon), ainoastaan hallintotasolle (valvomotasolle). Myös valvomojärjestelmän tietoturvasta huolehtimisen vastuu kuuluisi tällöin järjestelmätoimittajalle (pl. tietoliikenneyhteys, jolla käyttäjä muodostaa yhteyden valvomojärjestelmään).

Valvomo voidaan toteuttaa esimerkiksi normaalilla Windows 10-käyttöjärjestelmällä varustetulla PC-tietokoneella. Lähtökohtaisesti valvomo-PC:n sijainti tulee pysymään paikallaan, joten tietokone voi olla pöytämallinen (iso näyttö tekee myös valvomo-ohjelmiston käytön helpommaksi kannettavan tietokoneen pieneen näyttöön verrattuna). Valvomo-PC:n rautapuolen vaatimuksista ensisijaisena on ethernet-liitännätavalmius (joko emolevyyn integroidun ethernet-portin tai usb-ethernet-adapterin kautta).

Valvomo-PC:lle asennettava valitun valvomo-ohjelmiston laitevaatimukset määrittävät myös tietokoneen suorituskykyyn vaikuttavien komponenttien valinnan. Valvomo-ohjelmiston laitevaatimuksiin on syytä tutustua huolella: esimerkiksi Siemens Desigo CC-ohjelmiston keskusmuistin vaadittu määrä on vähintään 20 Gt, joka on suurempi kuin esim. normaalissa toimisto-PC:ssä.

RAU-järjestelmien toimittajat myyvät järjestelmiä kokonaispakettina, johon voi sisältyä esimerkiksi tietty määrä sopimuksen mukaan määritetty ohjelmoinnissa käytettävä maksimipistemäärä. Avoimia protokollia (vähintään BACnet ja Modbus) tukevia ethernet-lähiverkossa toimivia automaatiojärjestelmien valvomo-ohjelmistoja ovat esimerkiksi Siemens Desigo CC, Trend IQVision, Honeywell EBI ja Fidelix Scada. Kyseisiltä valmistajilta löytyy myös täysin pilvipohjaisten järjestelmien ratkaisut, mikäli sellaisen haluaa.

Lopullisen valvomoratkaisun valinta esimerkiksi kyseisten järjestelmätoimittajien välillä määräytyy järjestelmän käyttö- ja hankintahinnan perusteella, jotka järjestelmätoimittaja antaa kohteen RAU-muutosuunnitelmien perusteella.



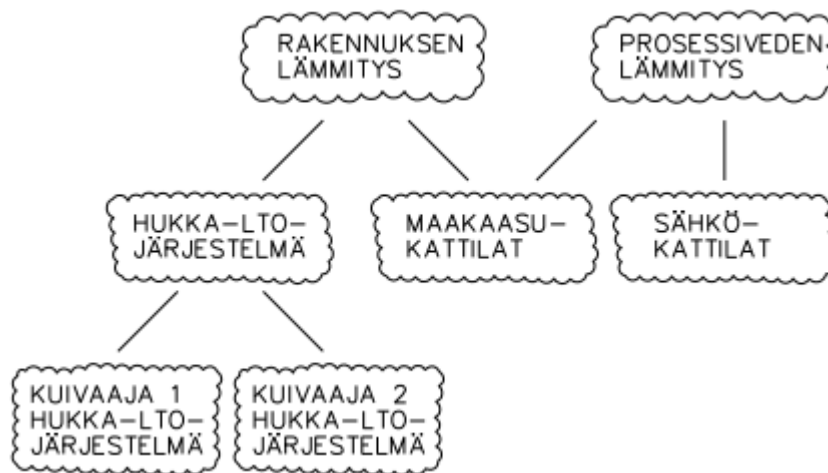
## 5 Prosessin hukka-LTO:n automaatiojärjestelmän muutokset

### 5.1 RAU-järjestelmän kokonaisuudet ja niiden toiminnallisuus nykytilanteessa

Hukka-LTO-järjestelmien tutkintaa varten tehtiin erillinen tarkastelu koko rakennuksen RAU-järjestelmällä hallittavista järjestelmätason kokonaisuuksista. Järjestelmätason kokonaisuuksien määrittämisestä ei löytynyt esim. ST-käsikirjojen ohjeistuksista mitään konkreettista ohjetta, mutta kehoitus kuitenkin on jakaa RAU-järjestelmä pienempiin kokonaisuuksiin (ST-käsikirja 21 2017, Piikkilä: 14). Kokonaisuuksien määrittely on tällöin käytännössä kokonaan RAU-järjestelmän suunnittelijan määriteltävänä. Tämä luonnollisesti tuo merkittävän vastuun järjestelmää suunnittelevalle taholle koko RAU-järjestelmän elinkaarta ajatellen. Järjestelmätason laitteistoa määriteltäessä on siis mahdollista heikentää järjestelmän toimivuutta johtuen esimerkiksi puutteellisesta RAU-suunnittelun tietotaidosta (esim. liitännämahdollisuuksien tutkimatta jättäminen voi heikentää muuntojoustavuutta). Kokonaisuuksien määrittelyn puuttuminen voidaan toki tulkita myös vapaudeksi toteuttaa järjestelmätason laitteisto ilman rajoitteita.

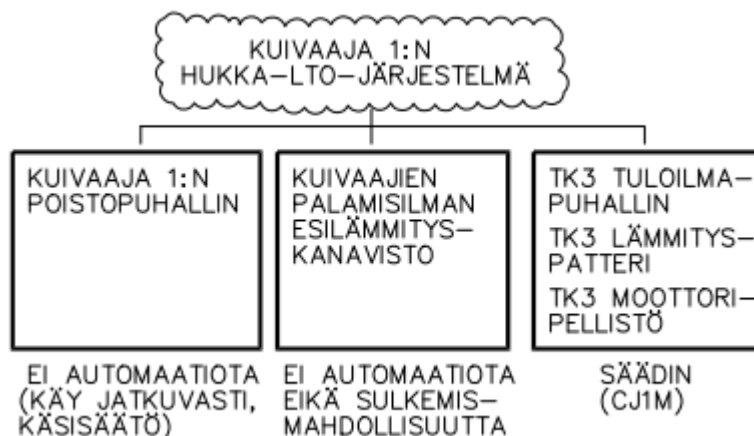
Kokonaisuudella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa tiettyä tarkoitusta toteuttavaa laitetta tai laiteryhmiä, joiden toimiva hallinta edellyttää esimerkiksi RAU-järjestelmällä ohjattavia loogisia toimintoja.

Tutkimuskohteen nykyisen ja tulevan RAU-järjestelmän sisältämien kokonaisuuksien tutkimus aloitettiin järjestelmätasolla toimivien kokonaisuuksien määrittelystä lämmitysjärjestelmän osalta. Rakennuksen lämmitysjärjestelmä on itsessään koko rakennuksen kattava kokonaisuus ja siihen sisältyy tutkimuskohteessa rakennuksen varsinainen lämmitysjärjestelmä (maakaasukattilalaitos), prosessiveden lämmitysjärjestelmä (sähkövaraa-jilla ja maakaasukattilalaitos) ja hukka-LTO-järjestelmä. Hukka-LTO-järjestelmä muodostaa itsessään yhden kokonaisuuden, jonka sisällä on kaksi pienempää kokonaisuutta: kuivaaja 1:n ilma-ilma vastavirtalämmönsiirrinpohjainen järjestelmä ja kuivaaja 2:n glykoli-LTO-patteripohjainen järjestelmä. Kuvassa 14 havainnollistetaan rakennuksen lämmitysjärjestelmän kokonaisuuksia.



Kuva 14. Periaatekuva rakennuksessa olevista lämmityslaitteistokokonaisuuksista.

Kuivaaja 1:n hukka-LTO-järjestelmässä imetään yllilämmintä kuivurin poistoilmaa erillisellä puhaltimella. Hukkalämmöllä esilämmitettyä ilmaa käytetään tällä hetkellä ensisijaisesti molempien kuivaajien maakaasupolttimoiden palamisilman esilämmitykseen ja toissijaisesti tehdashallin tuloilmakoneikon TK3 raitisilman esilämmitykseen (ks. kuva 4). Kuivaaja 1:n hukka-LTO-järjestelmän kokonaisuuden muodostavat kuivaaja 1:n yllilämpimän ilman poistopuhallin ja tehdashallin tuloilmakoneikko TK3 esilämmityksineen (kuva 15).

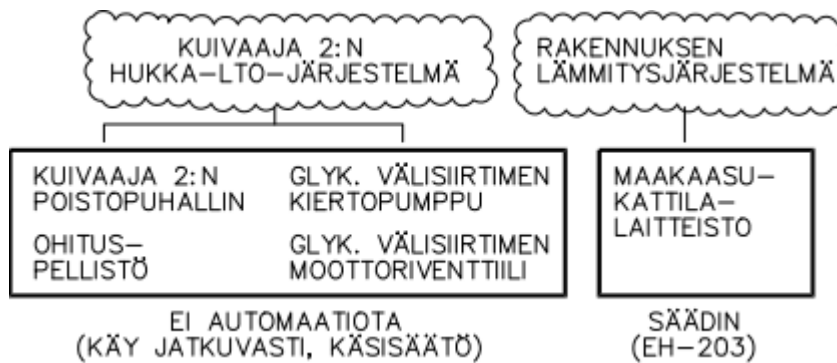


Kuva 15. Periaatekuva kuivaaja 1:n hukka-LTO-järjestelmän kokonaisuuden osista.

Kuivaaja 1:n hukka-LTO-järjestelmän hyötysuhteen tarkkailu ei ole mahdollista lämpötilamittausten ja niille vaaditun kommunikoinnin puuttuessa.

Kuivaaja 2:n hukka-LTO-järjestelmän periaatteena on siirtää kuivaajan yllämpimästä ulospuhallusilmasta lämpöä rakennuksen lämmitysverkoston paluupuolelle (ks. kuvat 3 ja 4). Nämä kaksi pienempää kokonaisuutta muodostavat isomman molemmat kuivaajat käsittävän hukka-LTO-järjestelmäkokonaisuuden.

Kuivaaja 2:n hukka-LTO-järjestelmän kokonaisuus koostuu kuivaajan ulospuhallusilman poistopuhaltimesta, ulospuhalluskanaviston ohituspellistöstä ja glykolipatterin virtaaman säätölaitteistosta (kiertopumppu ja säätöventtiili) (ks. kuva 4). Laitteilla ei ole mitään automatiikkaa ja laitteisto on käynnissä koko ajan. Kyseiset osat eivät siis ole rakennuksen lämmitysjärjestelmän (jota hukka-LTO-laitteisto palvelee) kanssa missään yhteydessä muuten kuin putkikytkennän osalta. Kuvassa 16 on havainnoitu kuivaaja 2:n lämmöntalteenoton ohjausta, sen kokonaisuutta ja suhdetta rakennuksen lämmitysjärjestelmään.



Kuva 16. Periaatekuva kuivaaja 2:n hukka-LTO-järjestelmän kokonaisuuden osista.

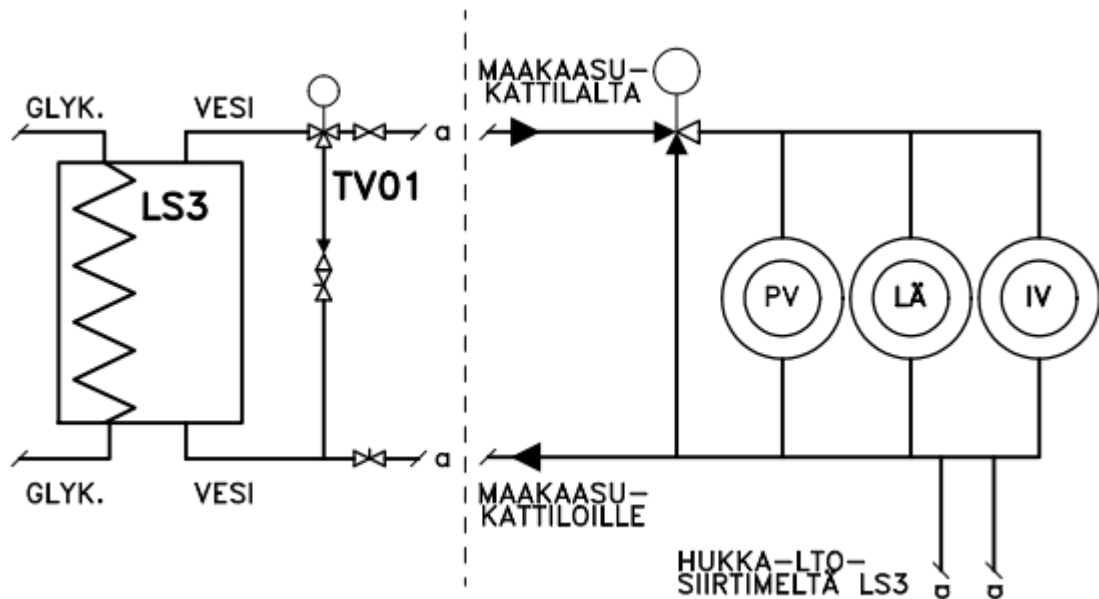
Kokonaisuuksien välisen kommunikointimahdollisuuden puuttuminen hankaloittaa hukka-LTO- ja koko lämmitysjärjestelmän hallintaa. Esimerkiksi lämmitysjärjestelmän paluupuolen tehon pyyntitarve ei ole hukka-LTO-järjestelmällä tiedossa, jos lämmitystä ei tarvita lämmitysverkostossa. Myös hukka-LTO:n hyötysuhteen laskenta ei ole RAU-järjestelmällä mahdollista missään tilanteessa poistokanaviston RAU-järjestelmään kytkeytyn lämpötilamittauksen puuttuessa kokonaan.

Voidaan siis todeta, ettei nykytilassaan hukka-LTO-järjestelmä itsessään eikä siihen sisältyvät osakokonaisuudet toimi yhteen rakennuksen muun lämmitysjärjestelmän kanssa. Hukka-LTO-järjestelmän osakokonaisuuksien osia hallitaan erillissäätimillä, joiden käyttöikä on lopussa ja niiden hallinnoimat laitteet saattavat olla vain osa palveltavan

järjestelmän kokonaisuudesta (esim. kuivuri 2:n glykolipatteri-LTO-piirissä ei ole säätöä lainkaan). Nykytilanteen parannustoimenpiteissä ei ole syytä käyttää vanhoja säätimiä tai järjestelmämallia. Glykoli-LTO-verkoston säädön, kuivaajien poistoilman lämpötilojen mittauksien ja kokonaisuuksien yhteen toimivuuden puuttuessa on mahdotonta toteuttaa esimerkiksi talteenotetun hukkalämmön jakamista eri järjestelmille niiden reaaliaikaisen lämmöntarpeen mukaan.

## 5.2 Nykyisen hukka-LTO-järjestelmän automaation toimintaperiaate

Tutkimuskohteen lämmitysjärjestelmä ja hukka-LTO-järjestelmät ovat yhteydessä toisiinsa fyysisesti, mutta eivät loogisesti. Kuivaaja 1:n vastavirtalämmönsiirtimellä lämpöä keräävä järjestelmä luovuttaa kerätyn lämmön joko molempien kuivureiden maakaasupolttimien palamisilman esilämmitykseen tai hallin tuloilmakoneen TK3 etulämmitykseen ja kuivaaja 2:n glykoli-LTO-patterilla lämpöä keräävä järjestelmä luovuttaa kerätyn lämmön rakennuksen lämmitysverkoston paluupuolelle. Kuivaaja 1:n hukkalämmönjakelu toteutetaan ilmanvaihtokanavistolla, jolloin kyseisestä hukkalämmöstä hyötyviä kohteita voisivat olla esimerkiksi tuloilmanvaihtoon tarkoitettut koneet (tai LTO-koneiden tuloilmayksikkö). Kuivaaja 2:n hukkalämmönjakelu toteutetaan (välisiirtimen LS3 toisiopuolella) vedellä, joka soveltuisi tutkimuskohteessa prosessiveden, käyttöveden ja rakennuksen lämmityksen lisäksi myös ilmanvaihtokoneiden raitisilman esilämmitykseen (etulämmityspatterin kautta). Kuivaaja 2:n LTO-järjestelmän palvelemaan rakennuksen lämmitysverkostoon on myös kytketty ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterit ja prosessiveden lämmitys. Kuvassa 17 on esitetty kuivaaja 2:n glykoli-LTO-järjestelmän nykyisen toiminnan kannalta toisiopuolen oleelliset laitteet ja kytkennät. Kytkennöissä perusoletuksena on, että verkostoissa olevilla laitteilla on laitekohtaiset sekoituskytkentäryhmät.



Kuva 17. Periaatekaavio kuivaaja 2:n hukka-LTO:n välisiirtimen toisiopuolesta.

KytKentä on yksinkertainen ja käytännön tasolla toimiva, mutta ei anna mahdollisuutta eri järjestelmien lämmöntarpeiden priorisoinneille (esimerkiksi prosessiveden välittömän uudelleenlämmityksen seisakkitilanteen jälkeen) tai talteenotetun lämmitysenergian järjestelmäkohtaisten hyödyntämistilastojen luonnille.

Kuivaaja 1:n hukka-LTO-järjestelmälle rakennuksessa ei nykytilanteessa suoranaisesti ole yksinomaan lämmitetystä ilmasta hyötyviä hyödyntämättä olevia kohteita. Rakennuksen tuloilmakoneikkojen lämmityspattereita voidaan lämmittää myös kuivaaja 2:n glykoli-LTO-järjestelmällä ja kuivaaja 1:n hukka-LTO-järjestelmä palvelee jo suuren kapasiteetin vaatimaa hallin tuloilmakonetta TK3 sekä kuivureiden jatkuvasti käyvien polttimien palamisilman lämmittäjänä. Tästä johtuen kuivauslinjastojen hukka-LTO-järjestelmien syvemässä tutkimuksessa keskitytään vain kuivaaja 2:n glykoli-LTO-järjestelmän automaation ja tehokkuuden parantamisen tutkintaan.

### 5.3 Nykyisen RAU-järjestelmän kokonaisuuksien yhteensovittaminen

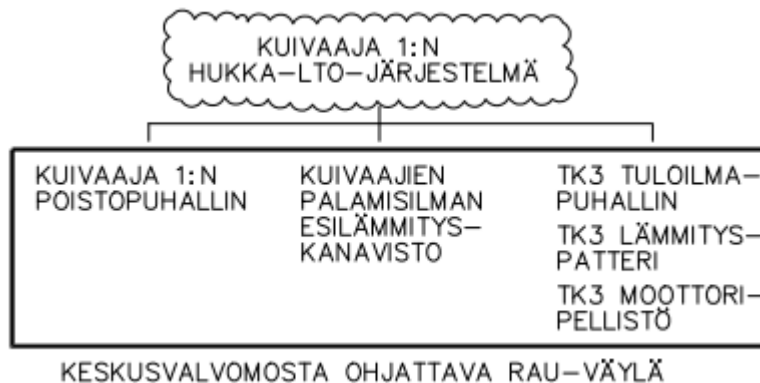
RAU-järjestelmässä käsiteltävien kokonaisuuksien ja nykyisen toimintaperiaatteen ollessa selvillä tutkittiin seuraavaksi hukka-LTO-järjestelmän kokonaisuuksien yhteensovittamiseen vaadittavia toimenpiteitä. Vanhasta järjestelmämallista tullaan luopumaan ja

vanha laitteisto puretaan. Uusi laitteisto toteutetaan muun rakennuksen kanssa samalla periaatteella hajautetulla väyläpohjaisella järjestelmällä.

Nykyisestä järjestelmästä ulkona olleet laitteistot (kuten glykoli-LTO-laitteisto ja kuivaajien poistopuhaltimet) liitetään uuteen järjestelmään ja tarvittaessa vanhoja laitteita uusiin liitännän mahdollistamiseksi. Nykyisiin laitteistoihin vaikuttavien muutosten lisäksi hukka-LTO-järjestelmän hyötysuhteen laskennan ja sen parantamiseksi järjestelmään lisätään tarvittava määrä uusia lämpötilamittauksia (esim. hukkalämmön jakamisen tehostamiseksi). Kuvissa 18 ja 19 havainnollistetaan kuivaajien hukka-LTO-kokonaisuuksien lopputilannetavoitetta muutosten jälkeen.



Kuva 18. Periaatekuva kuivaaja 2:n hukka-LTO-järjestelmäkokonaisuudesta muutostilanteessa.

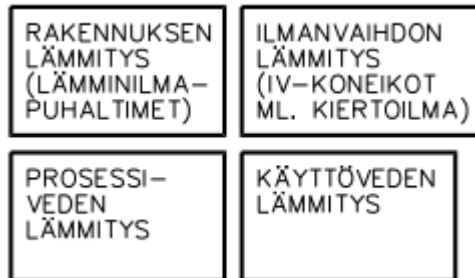


Kuva 19. Periaatekuva kuivaaja 1:n hukka-LTO-järjestelmäkokonaisuudesta muutostilanteessa.

#### 5.4 Glykoli-LTO-järjestelmän kokonaisuuden tarkastelu

Rakennuksen hukka-LTO- ja lämmitysjärjestelmän RAU-järjestelmien yhtenäistämisen lisäksi tutkittiin mahdollisuutta parantaa hukka-LTO-järjestelmän hallittavuutta ja sen kautta LTO-järjestelmän hyötysuhdetta uuden RAU-järjestelmän rakentamisen yhteydessä. Esimerkiksi kuivaaja 2:n glykoli-hukka-LTO-järjestelmässä lämmön luovuttaminen lämmitysverkoston paluupuolelle on toimiva ratkaisu silloin, kun lämmitykselle on tarvetta. Kesätilanteessa lämmitystarvetta ei ole rakennuksessa muuten kuin prosessiveden ja käyttöveden lämmittäminen. Kuivaajilta ulospuhallettavan ilman lämpötila on käytännössä tasaisen yllilämmintä (keskimäärin +126 C-asteista) vuoden ympäri. Uuden RAU-järjestelmän hyödyntämisessä kuivaaja 2:n glykoli-hukka-LTO-järjestelmän osalta tutkittiin mahdollisuutta rakentaa lämmöntarpeen mukaan ohjautuva talteenotetun hukkalämmön jakelujärjestelmä ohjauslogiikalla, koska rakennuksessa olisi käyttökohteita glykoli-LTO-järjestelmälle myös lämmityskauden ulkopuolella.

Hukkalämmön jakelujärjestelmän mahdollisten hyötyjen tarkastelu aloitettiin hahmottamalla hukkalämmöstä mahdollisesti hyötyvät kokonaisuudet (kuva 20).



Kuva 20. Talteenotetusta hukkalämmöstä mahdollisesti hyötyvät järjestelmät.

Seuraavaksi tarkasteltiin kyseisten järjestelmien vaatimuksia niihin syötettävän nesteen (kaikissa järjestelmissä vesi) lämpötilavaatimuksista ja laadittiin taulukko, jossa esitettiin lämpötilojen lisäksi järjestelmien lämmöntarpeelle konkreettiset ajankohdat (taulukko 2).

Taulukko 2. Rakennuksen sisällä olevat lämmitystä vaativat järjestelmät.

Järjestelmä	T <sub>meno</sub> (°C)	T <sub>paluu</sub> (°C)	Lämmöntarve
Rakennuksen lämmitys	70	40	syyskuu - toukokuu
Ilmanvaihdon lämmitys	70	40	syyskuu - toukokuu
Prosessiveden lämmitys	8	35	aina
Käyttöveden lämmitys	8	58	aina (kulutus hyvin vähäistä ja järjestelmässä varaaja)

Jakelujärjestelmän tarkoituksena on lähtökohtaisesti tuoda kuivurin +126 C-asteisen ilman lämmittämä glykolivesi takaisin glykolipatterille niin alhaisena kuin mahdollista. Glykolipatterin ja välisiirtimen LS3 (kuvat 2 ja 3) nykyiset mitoituslämpötilat ovat kirjattu taulukkoon 3. Käytännössä lämmitysjärjestelmän paluuverkoston syötetään +90 C-asteista vettä ympäri vuoden ja haluttu jäähtymä on 30 °C.

Taulukko 3. Hukka-LTO-järjestelmän patterin ja välisiirtimen mitoituslämpötilat.

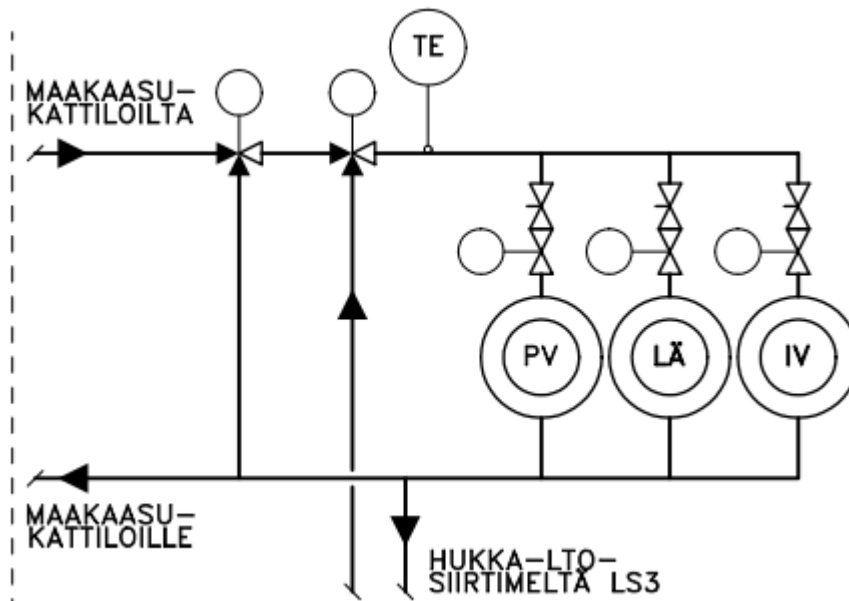
Glyk. patteri		LS3	
T <sub>meno</sub>	T <sub>paluu</sub>	T <sub>meno</sub>	T <sub>paluu</sub>
95	65	90	60

#### 5.4.1 Glykoli-LTO-järjestelmän toiminnallisten ominaisuuksien muutos

Useilla eri lämpötiloilla toimivien hukkalämmöstä hyötyvien kohteiden lämmittäminen lämmitysverkoston paluulinjaan ympärivuotisesti syötetyllä 90 °C:n vedellä ilman käyttötarkoituskohdennettua logiikkaa tekee hukkalämmön kohdentamisen hyvin haastavaksi. Tutkimuksessa ensisijainen määräävä tekijä hukka-LTO-jakelujärjestelmälle on ohjauslogiikalle sopivan kytkennän luominen. Hukka-LTO-järjestelmässä tulisi olla mahdollista ohjata talteenotettua lämpöä sitä tarvitsevaan käyttökohteeseen niin tarkasti kuin mahdollista. Lisäksi logiikassa pitäisi olla mukana LTO-järjestelmän hyötysuhdetta parantava toiminto. Tutkimuksessa tarkastellaan tällöin fyysiseltä putkiverkostolta vaadittavaa laitteistoa edellä mainittujen logiikalla suoritettavien toimenpiteiden täyttymiseen.



Lämmitysjärjestelmän paluulinjaan syötetyllä hukkalämmöllä (kuten tutkimuskohteen nykyinen kytkentä) lämmitetty vesi ei jakaannu lämmitettäviin kohteisiin kytkennän sijainnin mukaan, koska eri järjestelmiin tarvittu lämpö on jo luovutettu vedestä (tai tullaan luovuttamaan ja kaikkien lämmöntarvekohteiden paluuvesi tulee kuitenkin sekoittumaan ennen lämmöntuottolaitteistolle palaamista). Tällöin ensimmäinen tarpeenmukaisen hukkalämmön jakelujärjestelmän vaatima fyysisen putkiston kytkentämuutos on syöttää hukkalämpövesilinjasta lämmintä vettä lämmitysverkoston menopuolelle. Kytkentä tulisi tehdä kuitenkin lämmöntuottolaitteiston alkupäässä siten, että lämmöntuottolaitteiston käyntiä ohjaavan menoveden lämpötilan mittaus on hukka-LTO-laitteiston syötön *jälkeen*. Muuten on riskinä tapahtua turhia kattilalaitteiston käynnistyksiä. Kuvassa 21 on kytkentäesimerkki järjestelmäkohtaisesta lämmitystehon kapasiteetin ohjauksesta kaksitieventiileillä toteutettuna.

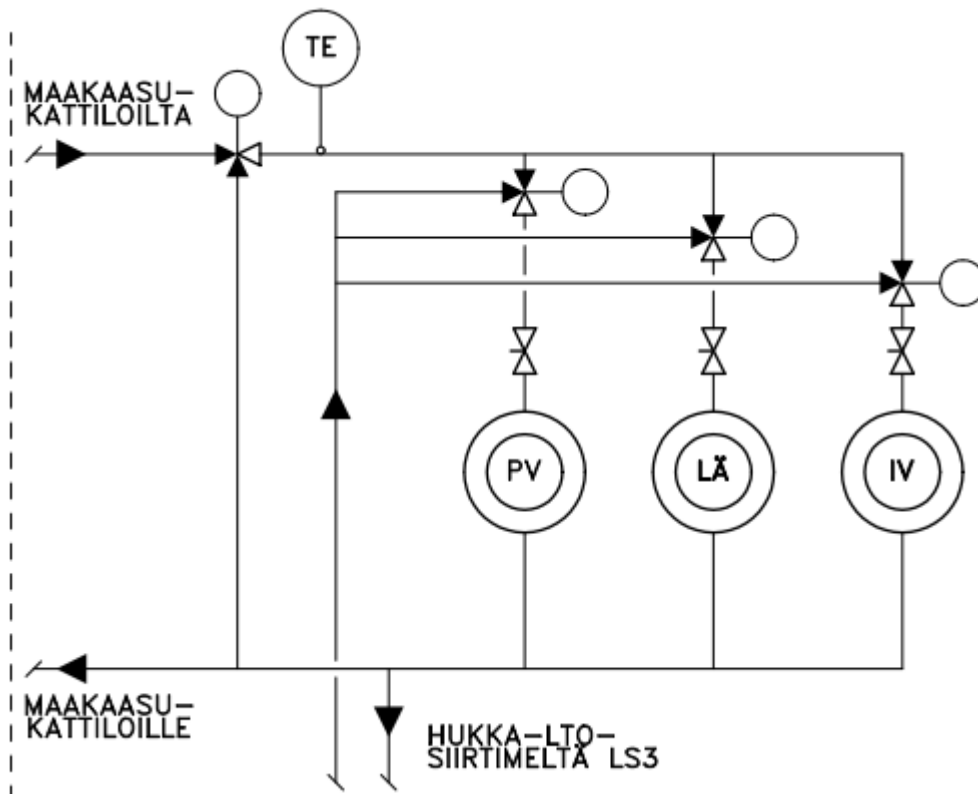


Kuva 21. Hukkalämmön syöttö LÄ-menorunkoon kytkettynä.

Hukkalämmön jakelu tapahtuisi eri järjestelmille menolinjojen virtaamia säättämällä kaksitieventtiileillä RAU-järjestelmään annettujen parametrien mukaisesti. Säättävänä suureena voi olla esimerkiksi määrätyn menolinjan lämpötilan saavuttaminen tietyllä järjestelmällä. Kytkennällä onnistuu tarpeenmukainen lämmön jakaminen, mutta on sidoksissa lämmönlähteeltä tulevaan valmiiksi sekoitettuun (hukka-LTO:n ja kattilalaitok-

sen) lämmitysveteen koko linjan osalta. Hukkalämmöstä tai sekoitetusta vedestä saatavaa lämmityskapasiteettia voi ohjata verkostokohtaisesti riippuen verkostojen kytkentäjärjestyksestä. Hukkalämmön koko kapasiteetin kohdistaminen esimerkiksi vain prosessiveden lämmitykseen muun lämmityksen tullessa kattilalaitokselta ei ole mahdollista, koska IV- ja lämmitysverkostot ovat prosessiveden lämmitysverkoston kytkennän jälkeen.

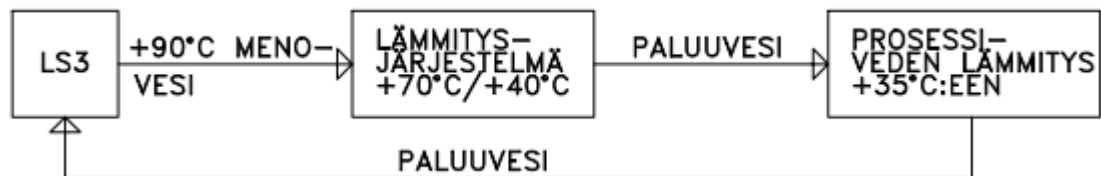
Käytännössä voidaan puhua verkostokohtaisesta kattilaveden ja hukka-LTO-veden sekoittamismahdollisuuden puuttumisesta. Verkostokohtainen sekoittaminen mahdollistaisi jokaiselle verkostolle oman verkoston pyynnin mukaisen menoveden lämpötilan. Kuvassa 21 esitetty kytkentä on yksi kytkentätapa ja siinä on verkostokohtaisesta virtaamansäätömahdollisuudesta huolimatta heikkoutena riippuvuus verkostojen kytkentäjärjestyksestä. Verkostokohtaisen sekoituksen mahdollistava kytkentämalli voisi olla esimerkiksi seuraavanlainen kuvan 22 kaltainen:



Kuva 22. Vaihtoehtoinen kytkentämalli kohdekohtaisesta hukkalämmön jakelujärjestelmästä.

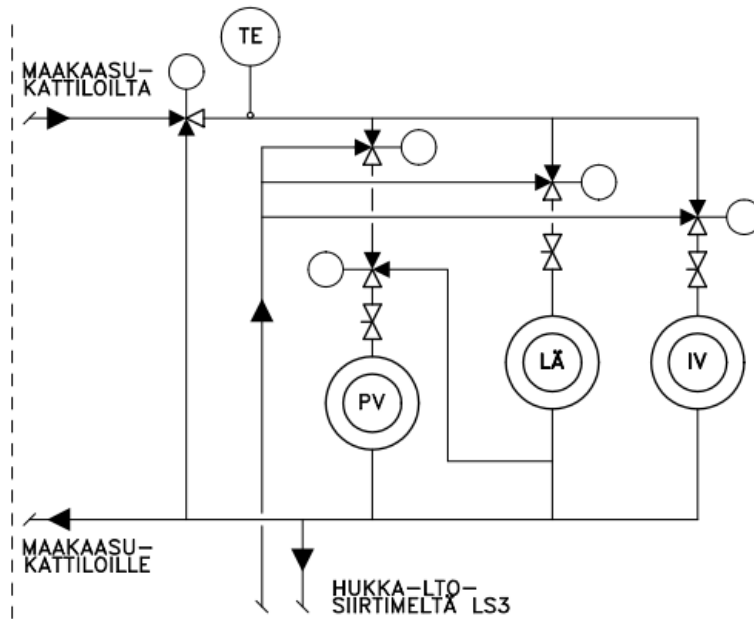
Kuvan 22 kytkentämalli pohjautuu Seppäsen (2010: 189) esittämään esimerkkikytkentään lämmöntarpeen mukaan jakavan lämmitysverkostoon kattilalaitoksissa sillä poikkeuksella, että kolmitieventtiileillä syötetään kuumaa vettä eri lämmönlähteistä perinteisen verkostoon palauttamisen sijaan.

Tarpeen mukaan lämpöä jakavan järjestelmän lisäksi tutkimuksessa on tarkoitus tarkastella mahdollisuutta hukka-LTO-järjestelmän hyötysuhteen parantamiseen. Kohteessa yksi lämmitettävistä kohteista ilmanvaihdon ja rakennuksen lämmityksen lisäksi on prosessiveden lämmitys. Prosessivesi lämmitetään +30 C-, +35 C- tai +40 C-asteiseksi tilanteesta riippuen. Prosessiveden vaatima lämpötila on hyvin lähellä lämmitys- ja ilmanvaihdon lämmitysverkoston paluulämpötilaa +40 °C (mitoituslämpötiloilla). Tällöin olisi mahdollista syöttää esimerkiksi lämmitysverkoston paluuvettä prosessiveden lämmitykseen. Kuvassa 23 on esitetty vuokaaviomallilla kyseinen prosessi.



Kuva 23. Vuokaavio lämmityksenpaluuveden syötöstä prosessiveden lämmitykseen.

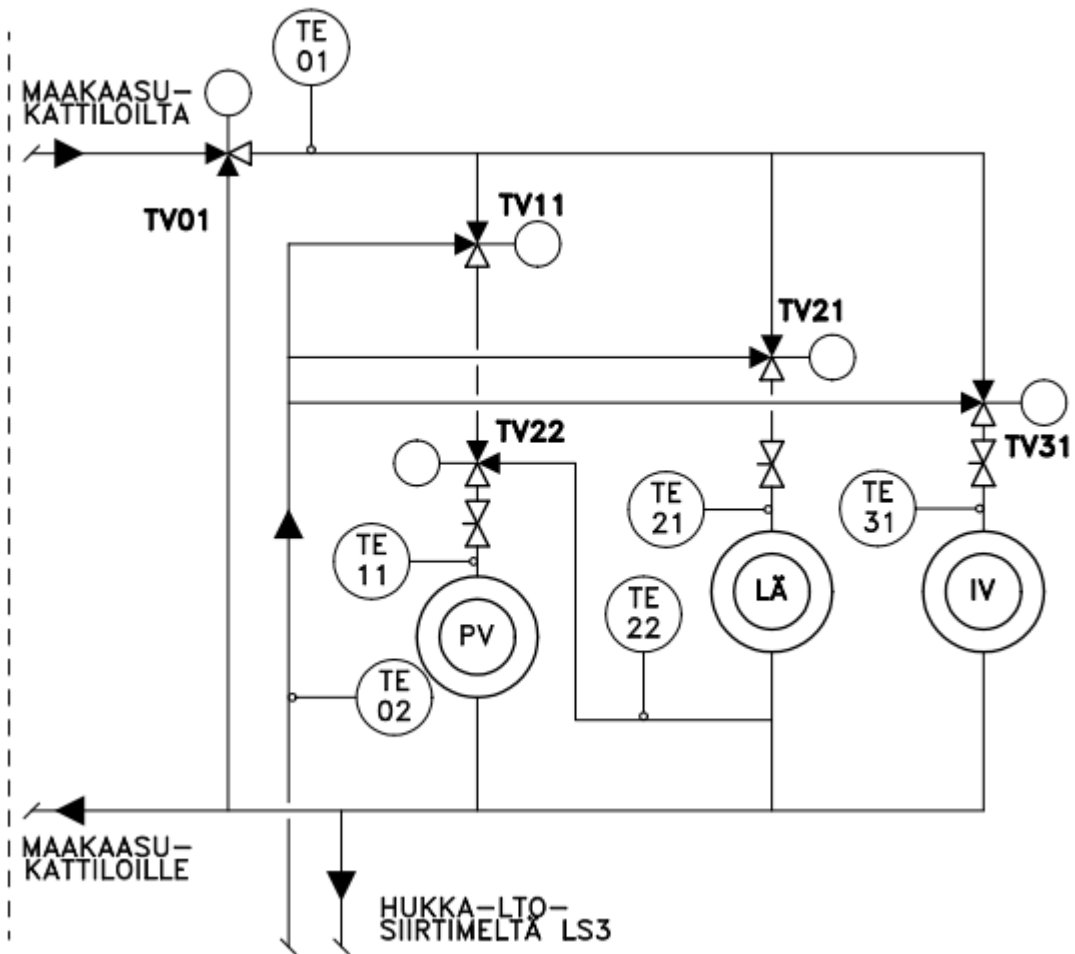
Kuvan 22 kytkentämalli mahdollistaisi fyysisellä tasolla järjestelmäkohtaisen jaon ja sekoitusmahdollisuuden lisäksi myös välikytkennän mahdollisuuden sillä oletuksella, että prosessivettä lämmitetään joko IV- tai lämmitysverkoston paluuvdestä (käytännössä hukkalämpö menee siis ensin kuumempaan järjestelmään ja sen kautta viileämpään). Tutkimuskohteessa luontevampaa on ohjata pelkästään lämmitysverkoston paluupuolelta lämpöä prosessiveden lämmitykseen (kuva 24), koska ilmanvaihtoverkostoon vaikuttaa jo kuivaaja 1:n hukka-LTO-järjestelmä jolloin esim. TK3:n lämmityspatterin lämmitystarve ja siihen vaadittava yllilämpimän veden tarve on vähäisempi. Samaten ilmanvaihtoverkostossa käytettävät LTO-laitteistot pienentävät lämmityspatterin tehontarvetta entisestään. Kytkennässä on huomioitava nykyisen LS3:n sekä LTO-glykolipatterin suoritusarvojen tarkistus, koska paluuveden lämpötila tulee poikkeamaan niiden mitoitusarvoista +60 °C ja +65 °C (taulukko 3).



Kuva 24. Kytkentämalli hukkalämmön jakelusta, prosessiveden lämmityksen välikytkennällä.

#### 5.4.2 Glykoli-LTO-järjestelmän jakelujärjestelmän toimintaperiaate

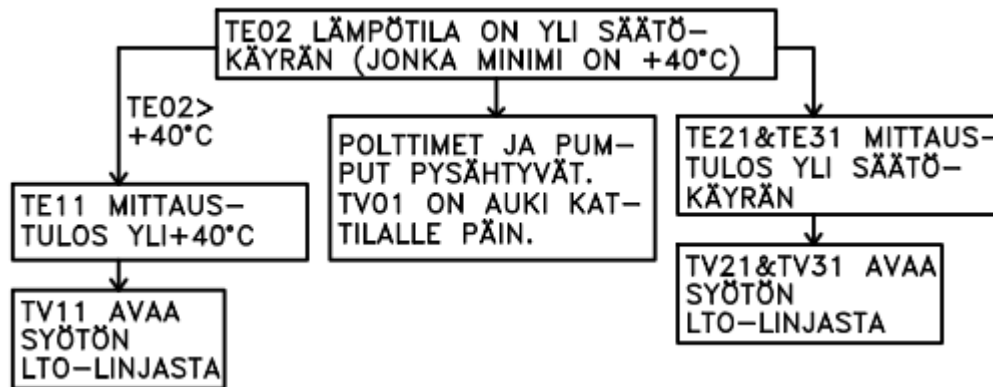
Kytkentämällin yksinkertaistamisesta huolimatta järjestelmän logiikan määrittäminen vaatii silti useiden ehdollistettujen toimintojen yhtäaikaista käyntiä. Esimerkiksi kattilalaitoksen käynnistämisen määräävä ehto olisi hukkalämpöverkostosta saatavan menoveden lämpötilan aleneminen alle lämmitysjärjestelmän säätökäyrän asetuksen. Käytännössä kuvan 24 kytkennän jokainen säätävä osa vaatii ehdon millä periaatteella laite säätää. Kuvassa 25 esitetään säätävien osientoiminnalle vaadittavat lämpötilamittaukset. Tutkimuksen järjestelmän toiminnan logiikan määrittämisessä asetettiin reunaehdoksi pyrkiä säätämään jokaista laitetta korkeintaan yhdellä säätävällä suureella. Tällöin millään laitteella ei tulisi olemaan kahden erillisen ehdon täyttymisen vaativaa toimintaa ristiriitojen ehkäisemiseksi.



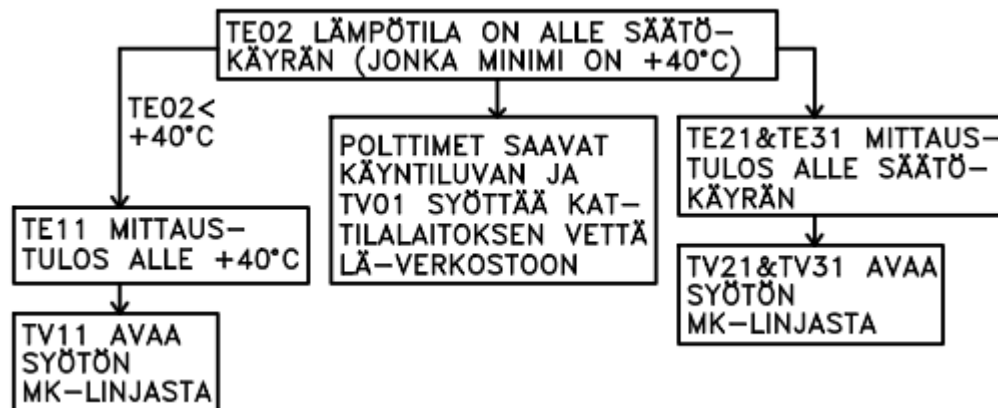
Kuva 25. Kuvan 24 kytkentämalli positionneilla ja lämpötilan mittausantureilla.

Järjestelmäkohtaisten kolmitieventtiilien (TV11, TV21 ja TV31) avaumia säädetään lämmitettävän järjestelmän menoveden lämpötilan (TE11, TE21 ja TE31) mukaan ensisijaisen lämmitysveden syötön tullessa hukka-LTO-verkostosta. Hukkalämmitysverkoston menolinjan lämpötilan (TE02) laskiessa alle koko verkoston yhteisessä säätökäyrässä määritetyn pyyntilämpötilan saa maakaasukattilan polttimet ja kiertopumput käyntiluvan. Kolmitieventtiili TV01 on oletusarvoisesti auki kattilalaitokselle päin ja toimii kuin normaalissa lämmityslaitoksessa pitäen kattilaverkoston menolinjan lämpötilan (TE01) säätökäyrässä asetetussa lämpötilassa kierrättäen myös paluuvettä tarvittaessa. Verkostojen menolämpötilojen laskiessa alle pyynnin (jolloin myös TE02 on alle pyynnin) kolmitieventtiilit (TV11, TV21, ja TV31) avaavat syötön maakaasukattilan lämmitysverkostosta (rajoittaen samalla virtaamaa alilämpimästä hukkalämpöverkostosta). Kolmitieventtiilit sekoittavat menolinjoihin kattilalaitoksen vettä niin paljon, että järjestelmään asetettu

säätökäyrän mukainen lämpötila saavutetaan verkostojen menolinjojen lämpötilamittauksissa (TE11, TE21 ja TE31). Tutkimuskohteen tapauksessa on huomioitava prosessiveden (PV) jatkuva lämmityksen tarve, joten säätökäyrässä minimilämpötila tulee olla prosessiveden lämmittämiseen riittävä asetusarvo. Tutkimuksessa käytettävä säätökäyrän minimiarvo on  $+40\text{ °C}$ , joka käytännössä tarkoittaa minimiarvoja TE01:lle, TE11:lle ja TE02:lle. Kuvissa 26 ja 27 on havainnointu vuokaaviomallilla tapahtumasarjaa hukka-LTO-veden lämpötilan muuttuessa säätökäyrän asetuksen molemmiin puolin.



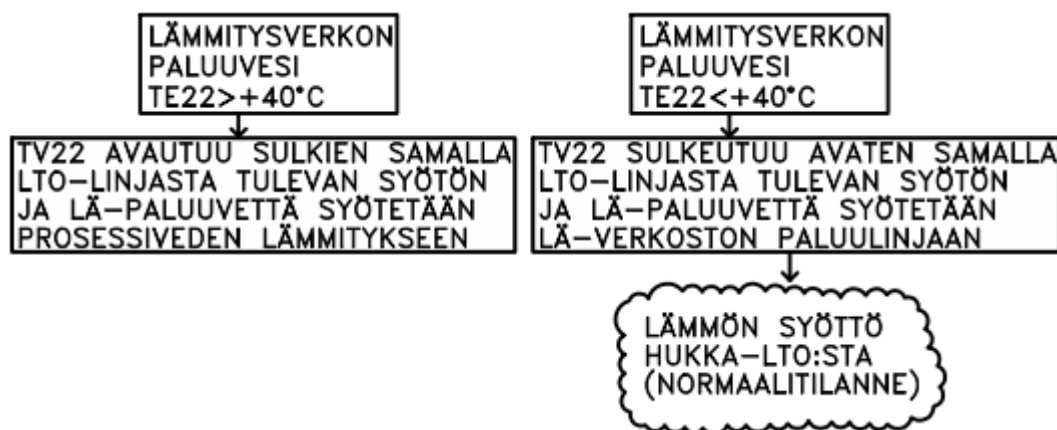
Kuva 26. Lämmityksen syöttö, kun hukka-LTO-syötön lämpötila on säätökäyrää lämpimämpi.



Kuva 27. Lämmityksen syöttö, kun hukka-LTO-syötön lämpötila on säätökäyrää kylmempi.

Prosessiveden (PV) lämmityksen välisyöttöä ohjataan kolmitiemoottoriventtiilillä (TV22) lämmityksen paluupuolen lämpötilan (TE22) mukaan siten, että venttiili syöttää pelkääntään lämmitysverkoston paluuvettä prosessiveden lämmitykseen, kun paluulinjan lämpötila (TE22) on vähintään  $+40\text{ °C}$ . Paluulinjan lämpötilan (TE22) ollessa alle  $+40\text{ °C}$

venttiili TV22 sulkeutuu ja ohjaa virtaaman välikytkennän sijaan kokonaan lämmityksen paluulinjaan. Käytännössä lämmityksen paluulinjan lämpötilan (TE22) laskiessa ja TV22:n sulkeutuessa prosessiveden lämmityksen syöttö vaihtuu kokonaan lämmitysverkoston paluulinjasta hukka-LTO-linjaan. Kuvassa 28 on havainnoitu tapahtumasarjaa vuokaaviolla.



Kuva 28. Välikytkennän toimintaperiaate.

Tämän jälkeen tapahtuu normaali toimintaperiaate, eli lämmitys tapahtuu edelleen ensisijaisesti hukka-LTO-verkoston lämmöllä. Tällöin prosessiveden lämmityksen syöttö lämmitysjärjestelmän paluulinjasta alkaa uudestaan vasta sitten, kun hukka-LTO-verkoston menoveden lämpötila on vähintään säätökaavan asetuksen mukainen ja lämmitysverkoston paluulinjan lämpötila on vähintään +40 °C. Hukka-LTO-järjestelmästä luotiin säätökaavio, johon sisältyy kaavion lisäksi toimintaselostus ja automaatiolaiteluettelo. Säätökaavio kokonaisuudessaan on raportin liite 3.

Välikytkennän logiikkaperiaatetta tutkittaessa huomattiin, että prosessiveden lämmityksessä lämmitysveden syöttö on järkevintä tehdä ilman sekoitusta (eli käytännössä TV22 toimii vaihtoverkkoventtiilinä). Syy tähän on hukka-LTO- tai kattilalaitoksen linjasta tulevan lämmönsyötön hyvin todennäköisesti aina vallitseva yllämpöisyys. Käytännössä siis sekoitettaisiin alilämpöistä paluuvettä menoveteen. Välikytkennän syöttö toimii parhaiten silloin, kun lämmityksen tarve rakennuksessa on suuri (talvipakkasilla). Syöttö toimii myös tilanteessa, jossa hukka-LTO-järjestelmä on pois päältä ja kattilalaitos tuottaa kaiken lämmitysveden.

## 6 Tutkimustulokset

Tutkimuksessa huomattiin, että hukka-LTO-järjestelmän automaation liittämisen osaksi RAU-järjestelmää vaati järjestelmätason suuria muutoksia koko RAU-järjestelmään. Kohteessa kuitenkin oli ennestään jo käyttökänsä lopussa oleva järjestelmä, joka oli lisäksi puutteellinen ominaisuuksiltaan (keskusvalvomon puute). Tällöin RAU-järjestelmä ja hukka-LTO-järjestelmän automaatoratkaisun tutkinnassa päästiin aloittamaan täysin puhtaalta pöydältä (pl. sähkötilojen Siemens Simatic S7-400-säädin). RAU-purku- ja muutostoimenpiteiden järjestelmäkaavio on raportissa liite 2.

Ajan tasalle päivitettävän tilaajan kriteerit täyttävän RAU-järjestelmän määrittely oli käytännön tasolla melko yksinkertaista. Modernien RAU-järjestelmien tuoma TCP/IP-kommunikointi ja ethernet-liitäntämahdollisuus antaa joustavan tavan toteuttaa isompiakin kokonaisuuksia yksinkertaistetusti. Karkeasti voisi sanoa, että ethernet-verkolla ja TCP/IP-protokollalla toteutettu RAU-järjestelmä ei perusrakenteeltaan poikkea esimerkiksi toimistokäyttöön tarkoitettusta TCP/IP-pohjaisesta ethernet-verkosta kytkimiseen ja kaapelointimenetelmiseen. Haasteena on lähinnä RAU-järjestelmätoimittajien laitteistojen liitäntämahdollisuuksien mahdollinen puuttuminen (esim. vain Modbus RTU-väylällä kommunikoivat säätimet). Suurimalla osalla Suomessa toimivista isoimmista RAU-toimittajista (kuten Siemens, Honeywell, Ouman, Fidelix) löytyy kuitenkin TCP/IP-protokollalla kommunikoiva liitäntä laitteista jo itsessään tai laitteeseen asennettavan laajennuskortin kautta.

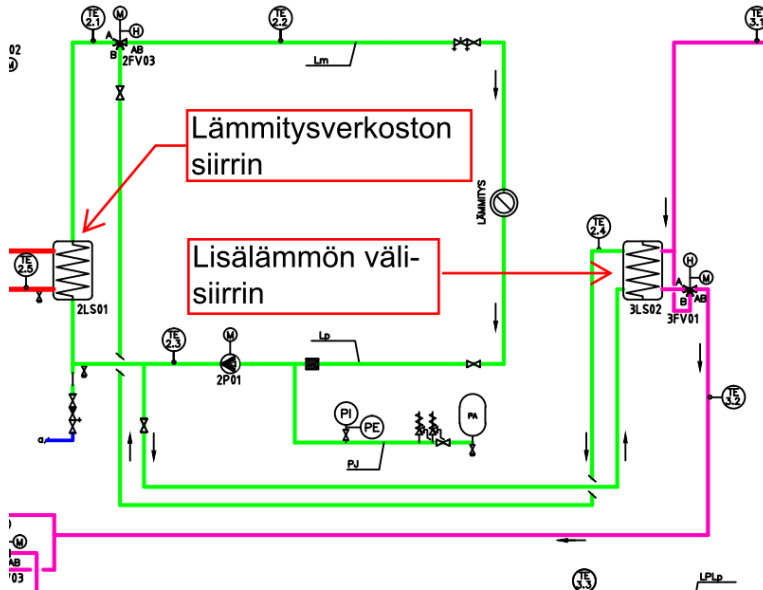
Modernien RAU-järjestelmien eri väyläprotokollia käyttävien laitteiden valinnassa tutkimuskohteen tapauksessa päädyttiin BACnet-protokollaa käyttävien laitteiden suosimiseen johtuen kohteessa jo olevasta 2019 asennetusta Profinet-väylää käyttävästä Siemens Simatic S7-S00-säätimestä. Kyseiselle säätimelle löytyy BACnet/Profinet-muunnin suoraan Siemensiltä, joka ei vaadi käyttöönotossa suuria toimenpiteitä. Uuteen RAU-järjestelmään vaatimukset täyttävien RAU-järjestelmätoimittajien keskusvalvomo-ohjelmistot tosin tukevat yleensä muitakin avoimia protokollia, kuten Modbus TCP (esim. Siemens Desigo CC -alustassa).



Hukka-LTO-järjestelmän automaation ohjauksen suunnittelussa ensisijainen kriteeri oli automaatiojärjestelmän logiikkaa käyttäen saada hukkalämmön jakelua tehokkaammaksi ja mahdollisuuksien mukaan hyötysuhdetta paremmaksi. Tutkimuksessa todettiin, että RAU- ja LVI-järjestelmien keskinäisestä riippuvuudesta johtuen nykyisellä suoraan lämmitysverkoston paluulinjaan syöttävällä kytkennällä on mahdotonta saavuttaa tehokasta järjestelmäkohtaisesti tarpeen mukaan ohjautuvaa hukkalämmönjakotapaa. Tästä syystä hukka-LTO-järjestelmän ohjaukseen liittyvä tutkimus laajennettiin koskemaan myös fyysisiä putkikytkentöjä. Jakelujärjestelmän luonnissa määräävä tekijä oli kuitenkin RAU-järjestelmällä toteuttavan logiikan mahdollistaminen putkikytkentöjä muokkaamalla. Putkikytkentöjä muokkaamalla looginen ja fyysinen ohjausjärjestelmämalli saatiin luotua. Kytkentämallia kuvaava säätökaavio toimintaselostuksineen ja laiteluetteloineen on raportin liite 3.

Tutkimuksen hukka-LTO-järjestelmän kytkentämallia voidaan verrata esimerkiksi tyypilliseen kaukolämpöjärjestelmien lisälämmityksen kytkentämalliin. Kaukolämpöjärjestelmien lisälämmittäminen esimerkiksi poistoilmalämpöpumpulla on yleistymässä ja sitä varten kiinteistön lämmöntuottojärjestelmille vaaditaan ohjeistus, jolla kytkentä tehdään aiheuttamatta ongelmia lämmönmyyjälle tai asiakkaalle. Energiateollisuus ry on julkaissut kotisivuillaan suunnitteluohjeen PILP-järjestelmän liittämistä kaukolämmön rinnakkaislämmönlähteeksi. Tutkimuskohteen hukka-LTO-järjestelmän tuottamat lämpömäärät poikkeavat suuresti PILP-laitoksien tuottamasta lämmöstä, mutta ohjeesta voi katsoa yleisen periaatteen lisälämmön tuomisesta kaukolämpölämmitteiseen kiinteistöön. Energiateollisuuden ohjeistukseen viitataan myös esimerkiksi energialaitos Helen Oy:n ohjeistuksissa koskien lisälämmönlähteen liittämistä kaukolämpöjärjestelmään.

Ohjeistuksessa ensimmäisenä mainitaan vaatimus lisälämmönlähteen rinnankytkennästä, jollainen tutkimustyössäkin esitetty malli on. Tutkimuksen mallista poiketen kaukolämpöjärjestelmässä esitetään välisiirrintä lämmitysverkoston ja lisälämmönlähteen välille. Kuvassa 29 on ote ohjeistuksen esimerkkikytkentäkaaviosta lämmitysjärjestelmän kytkentätavasta (Poistoilmalämpöpumppu (PILP) kaukolämpöaloon: ohjeet suunnittelijalle 2017: 5).



Kuva 29. Ote poistoilmalämpöpumpun liittämistä kaukolämpöjärjestelmään.

Tutkimuksen hukka-LTO-kytkennässä välisiirintä ei käytetä, koska tarvetta sellaiselle ei nähty olevan. Välisiirtimen lisäys ei kuitenkaan tekisi tutkimustyössä esitettyä hukka-LTO-järjestelmän kytkentämallia kaukolämpöjärjestelmään soveltumattomaksi.

Energiategollisuuden julkaisussa mainitaan myös yleiset sopimusehdot (T1/2017) kaukolämpöä myyvälle ja osatavalle taholle. Kohdassa 5.5 mainitaan: ”Asiakkaan on huolehdittava siitä, että kaukolämpövesi asiakkaan laitteissa jäähtyy kunakin laskutuskautena keskimäärin vähintään 25 °C ja kaukolämpöverkkoon palaavan veden lämpötila on enintään 65 °C” (Poistoilmalämpöpumppu (PILP) kaukolämpötaloon: ohjeet suunnittelijalle 2017: 3).

Vaatus tuottaa ongelman tutkimuskohteen hukkalämpöveden yllämpöisyyden ja toimintamallin kanssa. Tutkimuskohteessa hukka-LTO-järjestelmän toimintaperiaate on mahdollisimman paljon pääasiallisena lämmönlähteenä ja maakaasukattilat tukevana järjestelmänä. Tutkimuskohteessa maakaasukattilat voidaan sulkea, jos lämmöntarvetta ei ole ja paluuverkon lämpötilalle ei ole asetettu rajoitteita. Kaukolämpöjärjestelmässä ensiöpuolen vedensyöttö on jatkuvasti käynnissä vähintään käyttöveden lämmityksen takia. Teoriassa tutkimuskohteen lämmitysverkoston lämmittäminen kaukolämmöllä ja

korkeatehoisella hukka-LTO-järjestelmällä aiheuttaa kaukolämmön ensiöpuolen paluueden jäähtymän huomattavan pienenemisen, jolloin määräysten edellyttämä 25 °C jäähtymä ei välttämättä toteudu (erityisesti lämmityskauden ulkopuolella, kun lämmitystarvettakaan ei ole paljon ja hukkalämpö kattaa vielä suuremman osan lämmitystarpeesta). Kaukolämmön pitäisi tällöin olla ensisijainen lämmönlähde ja hukka-LTO-järjestelmän tehoa pitäisi tarvittaessa rajoittaa kaukolämpöverkon paluueden jäähtymän saavuttamiseksi. Tämä on kuitenkin täysin ristiriidassa tutkimuskohteen hukka-LTO-järjestelmän toiminnan ja energian hyötykäyttämisen kanssa.

Tutkimuksen kytkennän soveltuvuus kaukolämpöjärjestelmiin voisi kuitenkin olla toteutettavissa kohteissa, joissa hukkalämmön saanti (ja potentiaali) on riittävän alhainen. Tällöin hukka-LTO-järjestelmä ei veisi liian suurta kapasiteettia kaukolämmöltä ja ensiöpuolen paluueden jäähtymä saadaan toteutumaan. Tällöin hukka-LTO-järjestelmä olisi energiateollisuuden ohjeistuksen mukaisesti rinnakkaisjärjestelmä. Tutkimuksessa esitetyn hukka-LTO-kytkentämallin soveltuvuus tulee kuitenkin tarkistaa lämmönmyyjältä ensisijaisesti ja eri lämmönlähteiden käytön toimintapisteet määrittellä huolellisesti.

## 7 Yhteenveto

Tutkimuksen alkuperäinen tavoite oli tuottaa ensisijaisesti automatiikkaa tutkimalla hukka-LTO-järjestelmälle hallintaa ja tehokkuutta parantava kytkentämalli. Tutkimuksen alkuvaiheessa huomattiin, että rakennuksen nykyisellä RAU-järjestelmällä kyseisen tavoitteen saavuttaminen on lähes mahdotonta. Lisäksi hukka-LTO-järjestelmälle asetettujen tavoitteiden tutkinnassa huomattiin, että haluttua logiikkaa toteuttava automaatiojärjestelmä vaatii myös logiikkaa toteuttavan vastaavan fyysisen LVI-järjestelmän. Tutkimus käsitteli tällöin hukka-LTO-järjestelmän automaation lisäksi myös laajempaa kokonaisuutta. Tutkimuksen laajentamisen ansiosta tavoitteet saatiin saavutettua.

Tutkimus toteutettiin suoraviivaisesti aloittaen nykytilanteen kartoittamisesta seuraten ai-  
hetta koskeviin tietojulkaisuihin perehtymisellä sekä niiden pohjalta muutostoimenpiteiden luonnilla. Rakennuksen RAU-järjestelmän päivittämisessä tutkimuksessa esitetyt muutostoimenpiteet keskittyivät järjestelmätasolle ja hukka-LTO-järjestelmän automaatio-

kan tutkinnassa kenttälaitetasolle. Tutkimuksen tulosteina on rakennuksen RAU-järjestelmän muutostoimenpiteiden järjestelmätason kaavio ja hukka-LTO-järjestelmän muutostoimenpiteiden kenttälaitetason säätökaavio.

Tarpeenmukaisen hukkalämmön sekoittavan jakelujärjestelmän kytkentämalli on paljon monivaiheisempi ja runsaampi laitteistojen sekä antureiden määrässä pelkkään paluulinjaan syöttävään aikaisempaan kytkentämalliin verrattuna. On ymmärrettävää, jos vastaavanlaisten toisten paluuverkostoihin hukkalämpöä syöttävien lämmitysjärjestelmien kunnossapitovastaavien tahtotila ei ole muuttanut nykyisiä kytkentöjään tutkimuksessa esitettyyn sekoittavaan malliin ilman muita kiinteistöä peruskorjaavia toimenpiteitä. Kytkentämalli vaatii kuitenkin putkistomuutoksien lisäksi rakennuksen lämmitysjärjestelmän kanssa yhteen toimivan automaation ja kaukolämpökohteissa hukkalämmön määrä ei voi olla liian suuri ensiöpuolen paluuverkoston veden lämpötilan jäähtymisen saavuttamiseksi. Tästä huolimatta hukkalämmön hyödyntämisen parantaminen on järkevää erityisesti kohteissa, joissa hukka-LTO- ja lämmitysjärjestelmä palvelee useaa eri lämpötiloilla toimivaa verkostoa ja ainakin osa verkostoista on mahdollista lämmitellä pelkällä hukkalämmöllä. Tutkimuskohteessa on jatkuva prosessiveden lämmitystarve (+40 °C korkeimmillaan) ja normaali lämmitysverkoston tarve lämmityskaudella (+70 °C mitoitusasteessa), joten tarpeenmukaisesti hukkalämpöä ja kattilalaitoksen lämpöä jakava lämmitysjärjestelmä mahdollistaa hukkalämmön tehokkaamman hyödyntämisen (esim. hukkalämpölähteen meno-/paluulinjan lämpötilaeroa maksimoimalla kaikilla ajanjaksoilla).

Tutkimustyön kokonaisuutta tarkastellessa voidaan havaita konkreettisesti rakennuksen teknisten järjestelmien hallinnan merkityksen järjestelmille asetettujen tavoitteiden saavuttamisessa. Toiminnoiltaan puutteellinen RAU-järjestelmä hyvin suunnitellussa LVI-järjestelmässä voi johtaa pahimmillaan LVI-järjestelmän potentiaalinen menettämiseen. RAU-järjestelmä on rakennuksen koko teknistä järjestelmää ohjaava osa, joten sen rooli rakennuksessa ylipäätään on hyvin merkittävä. Tutkimustyötä tehdessä oli hienoa huomata, että RAU-järjestelmät toimialana on hyvin kehityskykyinen. Malliesimerkkinä on RAU-järjestelmien avoimien protokollien kehittäminen, joilla on hävitetty käytännössä kokonaan muuntojoustamattomat, kankeat ja yhteen järjestelmä-/laitetoimittajaan pakottavat RAU-järjestelmät. Tästä huolimatta RAU-järjestelmien suunnitteluun ja toteutukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota, koska väärillä laitevalinnoilla voi vaikeuttaa järjestelmän muuntojoustavuutta merkittävästi. RAU-järjestelmälle tehty järjestelmäkaavio on

yksi tärkeimmistä dokumenteista RAU-järjestelmän kokonaisuuden hallinnassa. Voisi sanoa, että ilman automatiikkaa taloteknisillä järjestelmillä ei kirjaimellisesti ole funktiota.

## Lähteet

Nieminen, Ismo. 2019. PROFINET prosessiteollisuuden automaatio suunnittelussa. In-sinööriyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) kaukolämpöaloon: ohjeet suunnittelijalle. 1.12.2017. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/files/2137/Poistoilmalampopumppu\\_kaukolampotaloon\\_ohjeet\\_suunnittelijalle.pdf](https://energia.fi/files/2137/Poistoilmalampopumppu_kaukolampotaloon_ohjeet_suunnittelijalle.pdf)>. Luettu 24.4.2020

Piikkilä, Veijo. 2017. ST-käsikirja 21. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Espoo: Sähköinfo Oy

Piikkilä, Veijo ja Liedes, Riikka. 2018. ST-käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Rakennusautomaatiojärjestelmien integrointi ja tietoturvallisuus. Espoo: Sähköinfo Oy

Piikkilä, Veijo ja Sulku, Jukka. 2018. ST-käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Rakennusautomaation historiaa. Espoo: Sähköinfo Oy

Pusa, Kari. 2018. ST-käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu. Espoo: Sähköinfo Oy

Sahala, Antti. 2017. ST-käsikirja 22. Kiinteistöjen valvomojärjestelmä. Käyttöliittymätyypit. Käyttöliittymien toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy

Sahala, Antti. 2018. ST-käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Käyttöliittymät. Espoo: Sähköinfo Oy

Sahlstén, Toivo. 2018. ST-käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttö ja ylläpito. Espoo: Sähköinfo Oy

Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto Ry.

Spangar, Tapani. 2018. ST-käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne. Espoo: Sähköinfo Oy

ST 41.10. Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE18. 2017. Helsinki: Rakennustieto Oy

ST 701.60. Talotekniikan kenttäväyläteknikka. Peruskäsitteet ja suunnittelun perusteita. 2016. Espoo: Sähköinfo Oy

ST 709.00. Kiinteistön hallintajärjestelmien peruskäsitteet ja terminologia. 2017. Espoo: Sähköinfo Oy

ST 710.00. Rakennusautomaatiojärjestelmän säädökset, määräykset, standardit ja ohjeet. 2017. Espoo: Sähköinfo Oy

ST 710.01. Avointa väyläteknikkaa hyödyntävän hankkeen yleisohje. 2016. Espoo: Sähköinfo Oy

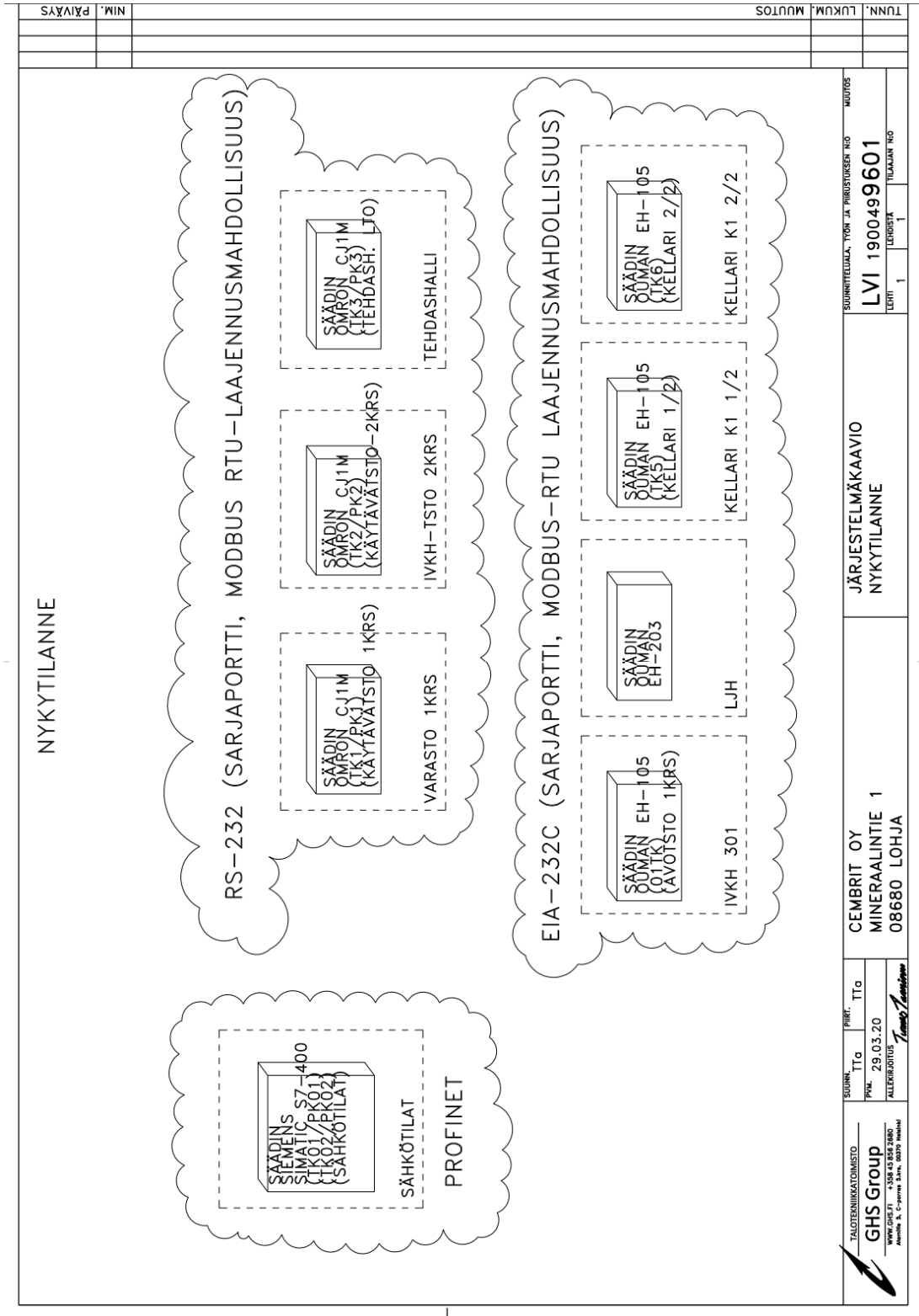
ST 710.10. Rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntäminen. 2017. Espoo: Sähköinfo Oy

ST 710.12. Rakennusautomaation peruskorjauksen toteutus. 2015. Espoo: Sähköinfo Oy

Sulku, Jukka. 2018. ST-käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Rakennusautomaatiojärjestelmän merkitys kiinteistöissä. Espoo: Sähköinfo Oy

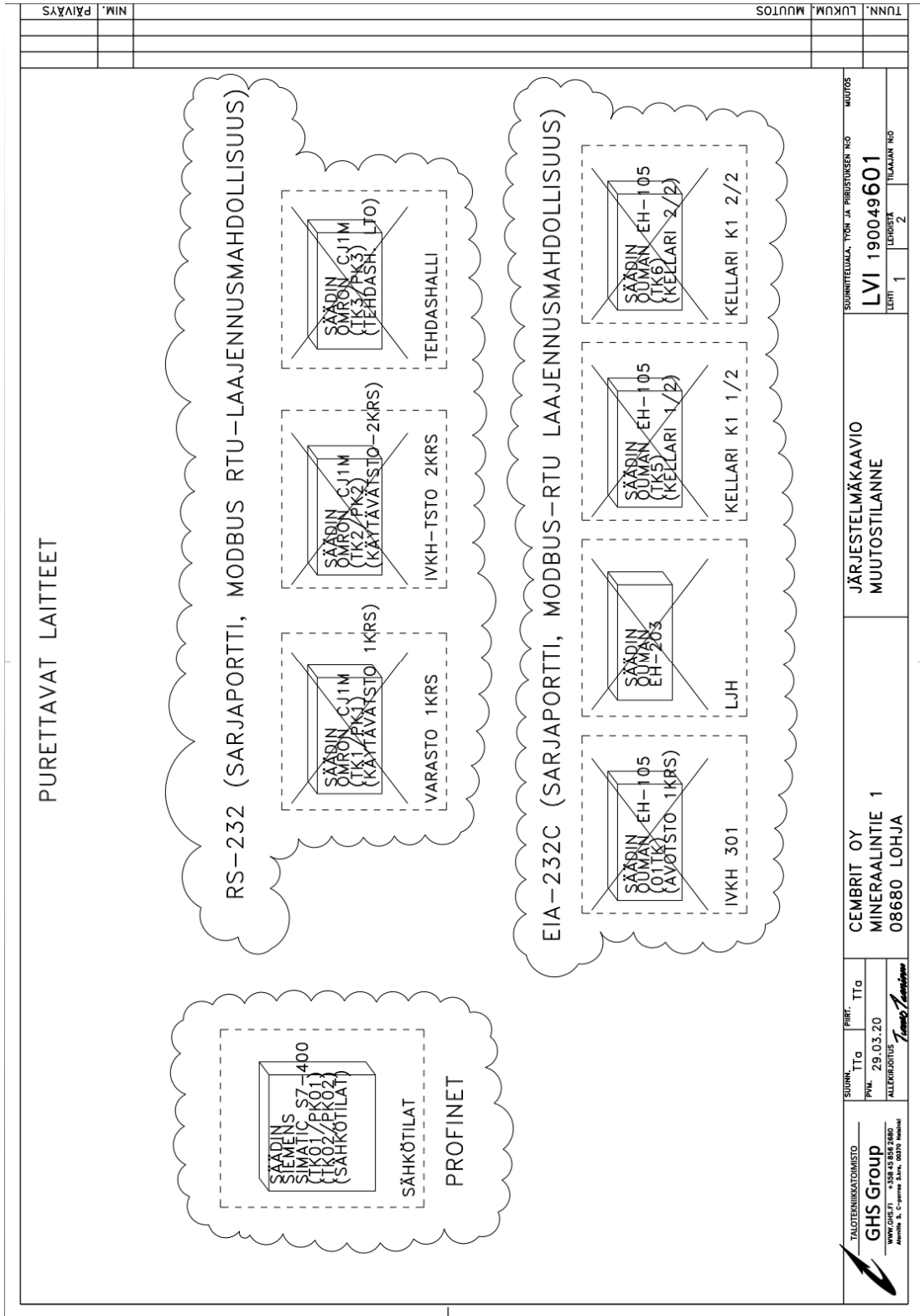
Ylikopsa, Mikko. 2020. Turvallisuus- ja tekninen päällikkö. Cembrit Production Oy. Lohja. Keskustelu 11.3.2020 ja Skype-palaveri 3.4.2020.

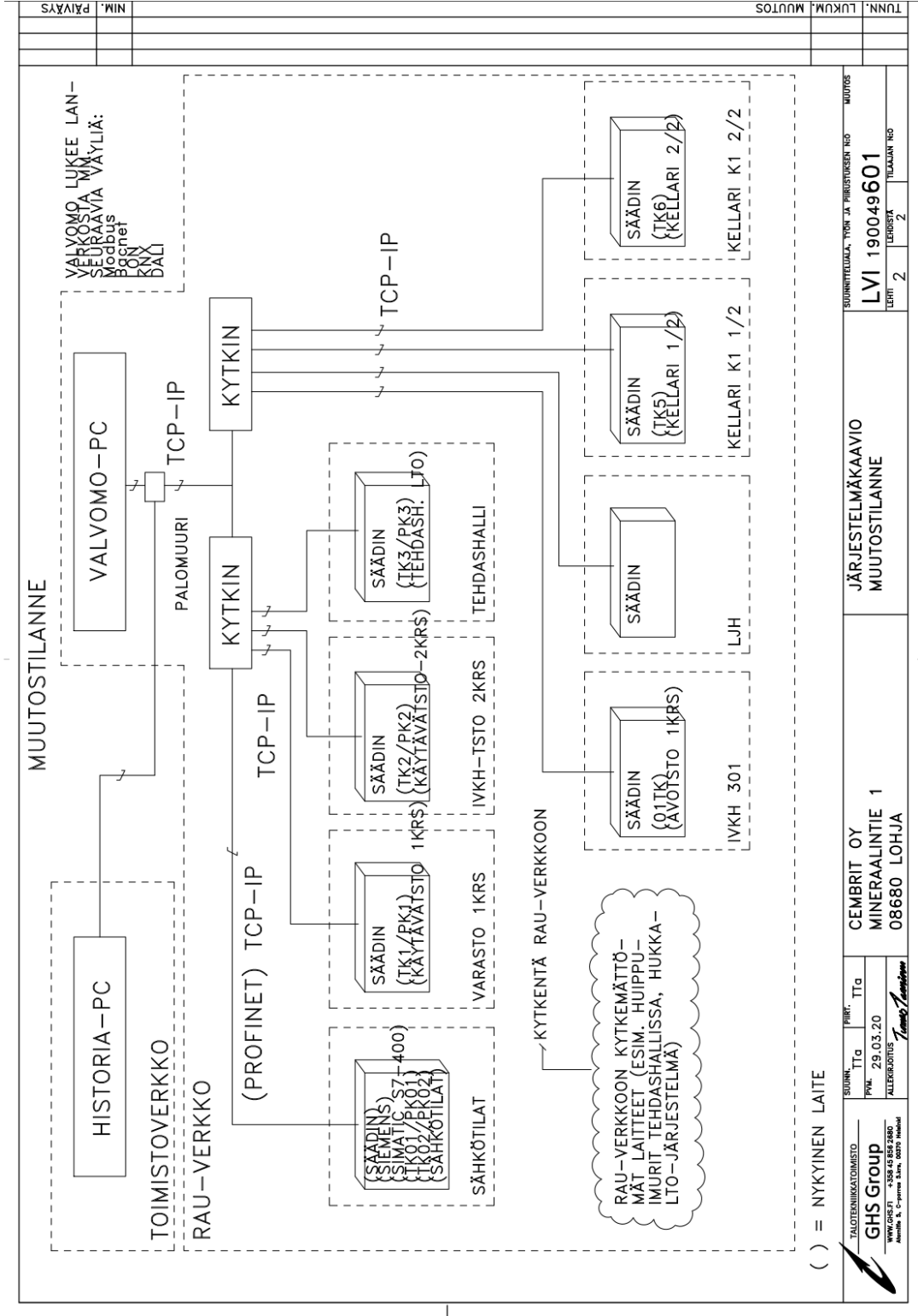
## Nykyisen RAU-järjestelmän järjestelmäkaavio



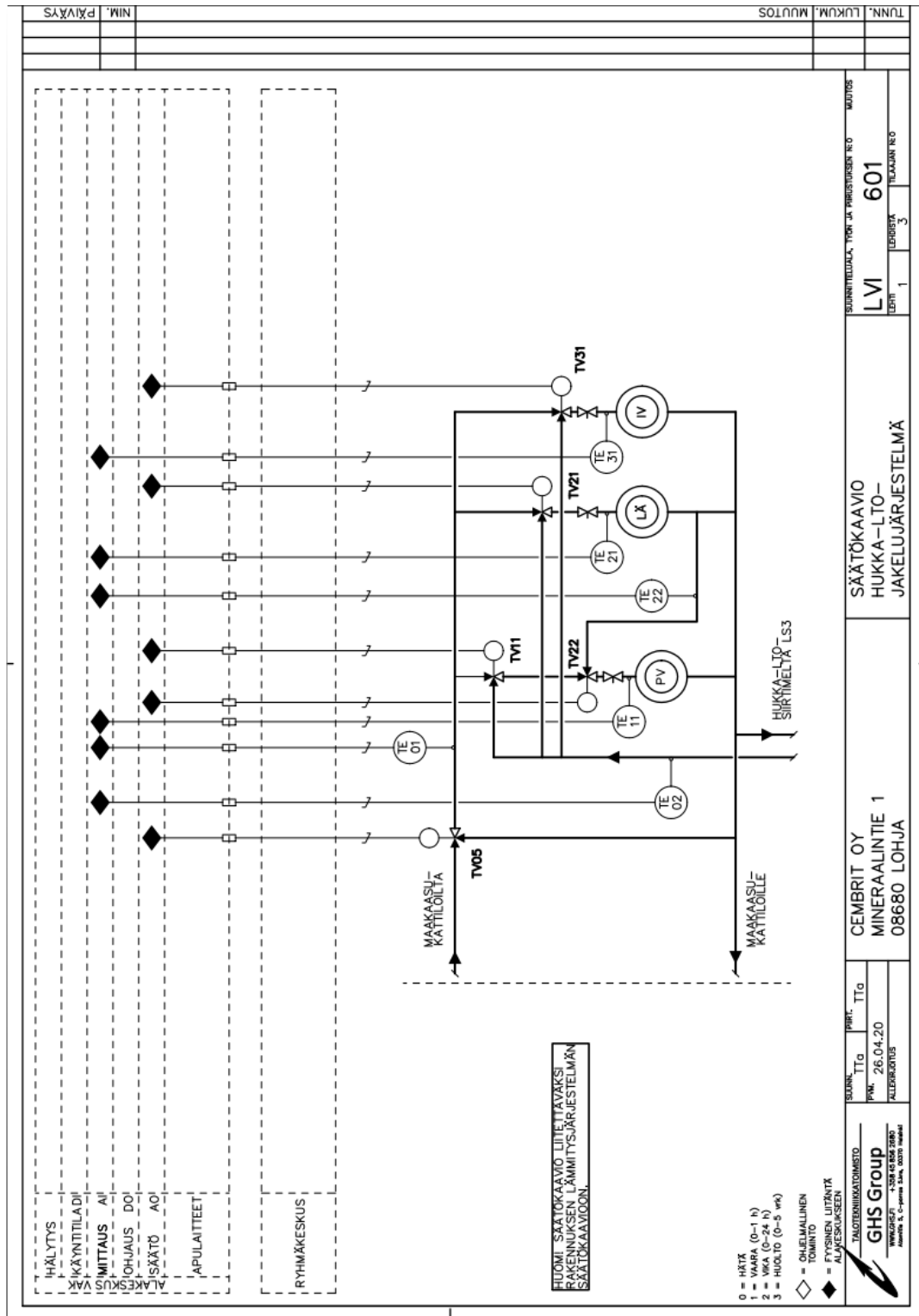


RAU-järjestelmän purku- ja muutostyömenpiteiden järjestelmäkaavio





Hukka-LTO-järjestelmän säätökaavio, toimintaselostus ja AU-laiteluettelo



TOIMINTASELOSTUS	SÄÄTÖKAAVIO HUKKA-LTO- JAKELUJÄRJESTELMÄ	CEMBRIT OY MINERAALINTE 1 08680 LOHJA	SIUNNITTELUKÄYNNÄKÖ LVI 601	MAUTOS	TUNN. MUUTOS	LUKUM.	PÄIVÄYS
<p><b>1. LÄMMÖNLÄHTEEN VALINTA</b></p> <p>HUKKALÄMMITYSVERKOSTON MENOLINJAN LÄMPÖTILAN TE02 LASKESSA ALLE LÄ-VERKOSTON SÄÄTÖKÄYRÄSSÄ MÄÄRITETYN PYNTILÄMPÖTILAN TAI &lt;+40°C SAA MAKAASUKATTILAN POLTTIMET JA KIERTOPIIPIKÄYNTILUVAN.</p> <p>KOLMIEVENTIILIN TV01 ON OLETUSARVOISESTI AUKI KATTILALAITOKSELLE PÄIN. LÄMMÖNTUOTON TULLESSA KATTILALAITOKSELTA TV01 PITÄÄ KÄTILÄVERKOSTON MENOLINJAN LÄMPÖTILAN TE01 SÄÄTÖKÄYRÄSSÄ MÄÄRITETTYSSÄ ASETUSARVOSSA.</p> <p><b>2. LÄMMÖNJAKO VERKOSTOILLE</b></p> <p>KOLMIEVENTIILIJEN TV11, TV21 JA TV31 AVAUMIA SÄÄDETTÄÄN VENTTIILIN PALVELEMAN LÄMMITETTÄVÄN JÄRJESTELMÄN MENOVEDEN ASETUSARVON MUKAAN ENSISIJAINEN LÄMMITYSVEDEN SYÖTÖN TULLESSA HUKKA-LTO-VERKOSTOLLE.</p> <p>VERKOSTON MENOLÄMPÖTILAN (TE11, TE21 TAI TE31) LASKESSA ALLE ASETUSARVON VERKOSTOKOHTAINEN KOLMIEVENTIILIN TV11, TV21 TAI TV31 AVAAVAT SYÖTÖN MAKAASUKATTILAN LÄMMITYSVERKOSTOLLE. KOLMIEVENTIILIT SEKOITTAVAT MENOLINJOIHIN KATTILALAITOKSEN VETIÄ NIIN PALJON, ETTÄ SÄÄTÖKÄYRÄN MUKAINEN LÄMPÖTILAN SAAVUTETAAN VERKOSTON MENOLINJAN LÄMPÖTILAMITTAUKSESSA TE11, TE21 TAI TE31.</p> <p>HUOMI: PROSESSIVEDEN (PV) LÄMMITYSVERKOSTON ALIN ASETUSARVO ON +40°C (TE11).</p> <p><b>3. LÄMMITYSVERKOSTON PALLUUNJAN SYÖTÖ PROSESSIVEDEN LÄMMITYKSEEN</b></p> <p>PROSESSIVEDEN (PV) LÄMMITYKSEN VÄLUSYÖTÖÄ OHJATAAN KOLMIEVENTIILILLÄ TV22 LÄMMITYKSEN PALLUUNJAN LÄMPÖTILAN TE22 MUKAAN SITEN, ETTÄ VENTTIILI SYÖTTÄÄ PELKÄSTÄÄN LÄMMITYSVERKOSTON PALLUUNJAN LÄMPÖTILAN TE22 LÄMMITYKSEEN, KUN PALLUUNJAN LÄMPÖTILAN TE22 ON VÄHINTÄÄN +40°C. PALLUUNJAN LÄMPÖTILAN TE22 OLESSA ALLE +40°C VENTTIILI TV22 SULKEUTUU JA OHJAA VIRTAAVAN VÄLKYTKENNÄN SUJAAN KOKONAAN LÄMMITYKSEN PALLUUNJAHAN.</p>			LVI 601				
			LEHTI 2	LEHTI 3			

