



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Juho Saljas

Toimistorakennuksen LVIA-saneeraus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

23.1.2021

Tekijä Otsikko	Juho Saljas Toimistorakennuksen LVIA-saneeraus
Sivumäärä Aika	58 sivua + 6 liitettä 23.1.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	LVI-suunnittelija Eero Harjukoski Yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyössä kuvataan vuosina 2018–2019 toteutettua Pohjois-Helsingissä sijaitsevan toimistorakennuksen saneerausta LVIA-suunnittelijan näkökulmasta.</p> <p>Tavoitteena oli esitellä kohde ja sen vanhat talotekniset järjestelmät, arvioida niiden uusi- mistarvetta ja selostaa uusittavien järjestelmien ominaisuudet sekä valinta- ja mitoituspe- rusteet. Lämmitysjärjestelmä käsiteltiin muita järjestelmiä laajemmin. Uusia järjestelmiä verrattiin voimassa oleviin määräyksiin ja ohjeisiin. Saatavilla olleiden kiinteistön energian- ja vedenkulutustietojen avulla pyrittiin havainnollistamaan saneerauksessa saavutettua energiankulutuksen pienenemistä.</p> <p>Työssä käytettiin lähdemateriaalina Suomen rakentamismääräyskokoelmaa, laitevalmista- jien säätö- ja mitoitusohjeita, kohteen vanhoja ja uusia LVIA-suunnitelmia ja kulutustietoja sekä kohteesta ennen saneerausta ja sen aikana teetettyjä tutkimuksia ja kuntoarvioita.</p> <p>Työn tuloksena saatiin yhteenveto toimistorakennuksen saneerauksesta niiden tahojen käyttöön, jotka ovat kiinnostuneita kyseisestä kiinteistöstä tai toimistorakennuksien sanee- rauksista yleisesti.</p> <p>Saneerauksen kustannukset ja kohteena olevan kiinteistön sähköjärjestelmä rajattiin työn ulkopuolelle. Saneerauksella saavutettu sähköenergiankulutuksen pienentyminen käsitel- tiin lyhyesti. Saatavilla olevien kulutuslukemien perusteella todettiin kiinteistön kokonais- energiankulutuksen laskeneen.</p>	
Avainsanat	LVI, toimistorakennus, saneeraus

Author Title	Juho Saljas Title of the Thesis
Number of Pages Date	58 pages + 6 appendices 23 January 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC engineering, Design Orientation
Instructors	Eero Harjukoski, HVAC-Designer Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The objective of this bachelor's thesis was to present the pre-renovation HVAC-systems of an office building in Helsinki, to evaluate the necessity of renewing the systems and to describe and validate the features and sizing principals of the new systems. The heating system was analyzed in more detail than the other systems. The energy savings achieved due to the renovation were illustrated with the help of the available water and energy consumption records.</p> <p>The source of information for this thesis was The National Building Code of Finland, manufacturers' specifications, the old and new designs of the building, consumption records and investigative reports made before and during the renovation.</p> <p>The result of the thesis was a summarized description of a HVAC-renovation of an office building for those who need information on the building in question or similar projects in general.</p>	
Keywords	HVAC, office building, renovation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kohdetiedot	2
2.1	Kohteen kuvaus	2
2.2	Kiinteistön aikaisemmat kunnossapitotoimenpiteet	4
3	LVIA-järjestelmän lähtötilanne	5
3.1	Ilmanvaihto	5
3.2	Käyttövesi ja viemäri	8
3.3	Lämmitys	9
3.4	Jäähdytys	11
3.5	Automaatio	11
4	Toimenpidevaihtoehdot ja toteutuksen laajuus	11
5	Saneerauksessa tehdyt toimenpiteet	13
5.1	Ilmanvaihto	13
5.2	Käyttövesi ja viemäri	17
5.3	Jäähdytys	20
5.4	Automaatio	21
6	Lämmitysjärjestelmän toimenpiteet	21
6.1	Muutostarpeet	21
6.2	Lämmitysverkoston toimenpiteet	22
6.2.1	Rakennusvaipan lämpöhäviöt	22
6.2.2	IV-järjestelmän lämpöhäviöt	28
6.2.3	Verkoston digitointi ja mallinnus	30
6.2.4	Verkoston mitoituslämpötilat	30
6.2.5	Lämmityspattereiden virtaama	31
6.2.6	Lämmitysverkoston tasapainotus ja säätö	36
6.3	Lämpimän käyttöveden virtaama	38

6.4	Lämmönjakokeskuksen mitoitus	38
6.4.1	Mitoitusperusteet	38
6.4.2	Lämmönsiirtimet	40
6.4.3	Säätöventtiilit	41
6.4.4	Kiertovesipumput	46
6.4.5	Verkoston tilavuus ja paisunta-astiat	48
6.4.6	Automaatiikka ja lisävarusteet	48
7	Energiankulutus	49
8	Yhteenveto	54
	Lähteet	56
	Liitteet	
	Liite 1. Ilmanvaihdon yleiskaavio, A-porras	
	Liite 2. Ilmanvaihdon yleiskaavio, B-porras	
	Liite 3. Ilmanvaihdon yleiskaavio, C-porras	
	Liite 4. Lämmönjakokeskuksen kytkentäkaavio	
	Liite 5. Lämmönjakokeskuksen mitoitusaulukko	
	Liite 6. Lämmönjakokeskuksen lämmitystekniset tiedot	

Lyhenteet

LJK	Lämmönjakokeskus
LKV	Lämmin kiertovesi
LTO	Lämmöntalteenotto
VJK	Vedenjäähdytyskone

1 Johdanto

Toimistorakennuksia saneerataan Suomessa vuosittain yli miljardilla eurolla ja saneerausten yhteydessä uusitaan runsaasti taloteknisiä järjestelmiä. Saneerausten tavoitteena on pidentää kiinteistöjen elinkaarta, nostaa niiden arvoa, parantaa niiden laatutason ja toiminnallisuutta ja taata toiminnalle terveelliset, turvalliset ja taloudelliset edellytykset.

Vuoden 2019 lopussa Suomessa oli 10 704 toimistorakennusta, eli 0,7 % koko rakennuskannasta rakennusten lukumäärällä mitattuna. Valtaosa rakennuskannasta on rakennettu 1960–1980-luvuilla ja toimistorakennuksien saneerauksia on toteutettu Suomessa vuodesta 2015 asti vuosittain yli miljardin euron arvosta. Saneerausten tavoitteena on pidentää rakennusten elinkaarta, nostaa niiden arvoa ja mahdollistaa niissä tapahtuvan toiminnan jatkuminen. Saneerausten yhteydessä taloudellisista, lainsäädännöllisistä ja ekologisista syistä kiinnitetään yhä enemmän huomiota myös energiatehokkuuteen ja hiilijalanjälkeen, mikä vaikuttaa lähes poikkeuksetta rakennusten käyttökustannusten alenemiseen. [1;2]

Saneerausta suunniteltaessa on tärkeää selvittää kiinteistön rakenteellinen ja tekninen nykytilanne ja kartoittaa saneerauksen tavoitteet. Tavoitteita asettavat voimassa oleva lainsäädäntö sekä omistajan ja käyttäjien pyrkimykset ja tarpeet. Näiden hankkeen lähtö- ja päätepisteiden avulla määritellään parhaat mahdolliset ratkaisut lopputulokseen pääsemiseksi. Ratkaisuissa tulee ennakoida myös tulevia muutos- ja laajennustarpeita, jolloin vuokralaismuutoksiin ja käyttäjien tarpeisiin voidaan vastata mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Rakennusten saneerauksista on tehty runsaasti opinnäytetöitä, joissa keskitytään tiettyyn näkökulmaan kuten energiatehokkuuteen, muuntojoustavuuteen tai lämmitysjärjestelmän valintaan [3;4;5]. Tämän insinööriyön tarkoituksena on kuvata hanketta laajempaa kokonaisuutena LVIA-suunnittelijan näkökulmasta. Työn tarkoitus on palvella tarkastelun kohteena olevan kiinteistön omistajia, isännöitsijöitä ja muita tahoja, jotka saattavat jatkossa tarvita tietoja kiinteistössä toteutetussa saneerauksesta ja sen LVIA-

järjestelmistä. Työ toimii aineistona myös muille toimistorakennuksen saneeraushankkeesta kiinnostuneille tai vastaavaan hankkeeseen ryhtyville.

Työn tarkoituksena on esittää LVIA-suunnittelijan näkökulmasta toimistorakennuksen LVIA-saneerauksen yhteydessä huomioitavia kohdetietoja, kuvata vanhojen taloteknisten järjestelmien lähtötilanne ja saneerauksessa uusittujen järjestelmien valinta- ja mitoitusperusteita sekä verrata näitä voimassa oleviin määräyksiin ja ohjeisiin. Kohteen lämmitysjärjestelmää käsitellään laajemmin.

Työn toteutuksessa käytettiin saatavilla olevia kohteen vanhoja ja nykyisiä pohjapiirustuksia ja LVIA-suunnitelmia, hankkeen aikana ja sitä ennen teetettyjen tutkimuksista ja toimenpiteistä saatuja pöytäkirjoja, raportteja, muistioita ja muita dokumentteja, sekä kohteen isännöitsijältä saatuja käyttöveden ja energian kulutustietoja. Lämmitysverkon digitoinnissa, mitoituksessa ja tasapainotuksessa hyödynnettiin Cadmatic-suunniteluohjelmistoa. Lisäksi tiedonhaussa hyödynnettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmaa ja LVI-kortteja sekä haastateltiin kohteen LVIA-järjestelmät suunnitelleita suunnittelijoita.

Hankkeen kustannukset ja kiinteistön sähköjärjestelmä on rajattu työn ulkopuolelle. Keskuskohtaisten kulutuslukemien puuttuessa sähköenergiankulutusta käsitellään pinta-puolisesti.

2 Kohdetiedot

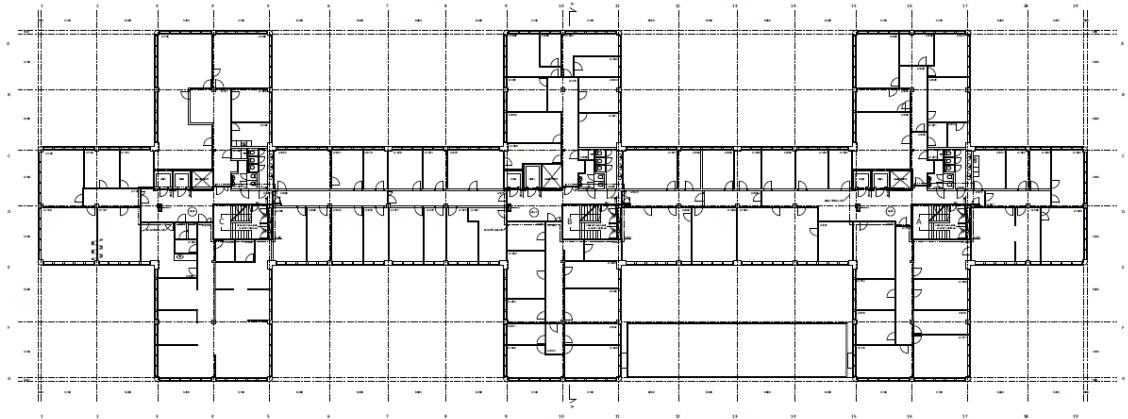
2.1 Kohteen kuvaus

Saneerauksen kohteena on kuvassa 1 esitetty, 1973 rakennettu 9 908 kem²:n kuusikerroksinen tasakattoinen toimistorakennus Pohjois-Helsingissä Nuijamiestentiellä.



Kuva 1. Toimistorakennuksen julkisivu Nuijamiestentielle luoteen suunnasta.

Rakennus on liitetty jo rakennusvaiheessa nykyisen Helsingin Energian kaukolämpöverkostoon sekä paikallisen vesilaitoksen, HSY:n vesi- ja viemäriverkostoon. Rakennuksen neljässä ylimmässä kerroksessa on toimistoja ja kahdessa kellarikerroksessa varastoja sekä käytöstä poistettavat henkilöstöravintola ja saunaosasto. C-portaan katutasen pohjakerroksessa on kolme asuinhuoneistoa ja erillisessä ulkorakennuksessa toimii pieneläinklinikka. [6] Kuvassa 2 on esitetty rakennuksen ensimmäisen kerroksen pohjapiirustus, josta käy ilmi rakennuksen koostuvan kolmesta ristikon muotoisesta portaasta.



Kuva 2. Rakennuksen ensimmäisen kerroksen pohjapiirustus [7].

Kerrokset 1–3 ovat keskenään identtiset, pois lukien vähäiset erot väliseinäjaossa. Kukin portaan hissiaulassa on yhteiskäyttöiset WC-tilat. Katutasossa, eli pohjakerroksessa on toimistokerroksista poiketen kolme asuntoa ja muutama suurempi toimitila. Kiinteistöllä on useita omistajia, joista monilla on toimitiloja kiinteistössä.

2.2 Kiinteistön aikaisemmat kunnossapitotoimenpiteet

Kiinteistössä aikaisemmin tehdyistä rakenteellisista ja taloteknisistä saneerauksista on toteutettu ainakin

- LTO-järjestelmien asennus (1991)
- lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimien saneeraus (1999)
- kiinteistöautomaatiikan saneeraus (2000)
- alakellarin keittiön rasvaviemäreiden saneeraus (2001)
- IV-koneiden jäähdytysjärjestelmä saneeraus (2002)
- lämmityspatterien ja patteriventtiilien saneeraus (2010), (lämmitysverkostoa ei ole tällöin syystä tai toisesta säädetty ja tasapainotettu)
- ilmanvaihtojärjestelmän säätö ja kanaviston puhdistus (2011)
- julkisivujen peruskorjaus ja toimistotilojen ikkunoiden saneeraus (2014)
- vesivuotokytkimien asennus ja vesikaton kattokaivojen saneeraus (2016) sekä
- väestösuojan huolto, tiiveyskoe ja laitteiston saneeraus (2017). [8]

Näiden saneerauksien lisäksi kiinteistön kunnon tutkimiseksi ja kartoittamiseksi on tehty ulkopuolisilla tahoilla mm.

- kuntoarvio (2009)
- asbestikartoitus (2011)
- vesijohtojen uusimisen hankesuunnitelma (2013)
- LVIA-järjestelmäkuvaus (2014)
- perusparannus ja talotekniikkakorjauksen rakennustapaselostus (2014) ja
- LVIA-nykytekniikka ja muutostyöehdotukset kustannusarvioineen (2014). [9]

3 LVIA-järjestelmän lähtötilanne

3.1 Ilmanvaihto

Kiinteistön ilmanvaihto on aikaisemmin hoidettu 11 erillisellä tulo- ja poistoilmakoneella, jotka ovat alkuperäisiä. Osa IV-koneista on sijainnut vesikatolle rakennetuissa IV-konehuoneissa ja osa alakellarin IV-konehuoneessa. Osaan IV-koneista on vuonna 1991 jälkiasennettu kolme lioskiertoista LTO-piiriä, joista kukin palvelee yhdestä neljään IV-konetta. Koneessa PK12 ei ole ollut lämmöntalteenottoa. LTO-järjestelmät ovat toimineet tarkastuksissa huonolla hyötysuhteella tai eivät ollenkaan. [10] IV-koneiden ilmavirrat ja varusteet on lueteltu taulukossa 1. Kuvassa 3 on esitetty B-portaan vanha poistoilmakoneiden konehuone.



Kuva 3. Vesikatolla sijaitseva poistoilmakoneiden konehuone ennen saneerausta.

Kuvassa 3 huoneen perällä on nousukuilu ja seinustoilla vanhat poistopuhaltimet. Kuvassa vasemmalla seinustalla PK5, oikealla PK6. Huoneen kattoon asennettu PK7 ei näy kuvassa. Vasemmassa reunassa olevan väliseinän takana on tuloilmakoneiden konehuone, jossa sijaitsee TK5, TK6 ja TK7.

Taulukko 1. Toimistorakennuksen IV-järjestelmän lähtötilanne ennen saneerausta [10].

IV-kone	Ilmavirta (m ³ /s)	Palvelualue	LTO	Lämmitys-patteri	Jäähdytys-patteri	Ohjaus-tapa
TK1	3,5	Toimistot C-porras	liuos	X	X	1-nopeus
TK2	1,5	Aula ja kellarivarastot	liuos	X		1-nopeus
TK4	2,5	Varastot alakellarissa	liuos	X		1-nopeus
TK5	3,5	Toimistot B-porras	liuos	X	X	1-nopeus
TK6	2	Saunaosasto yläkellari	liuos	X		1-nopeus
TK7	1,5	Aula ja kellarivarastot	liuos	X		1-nopeus
TK8	3,5	Toimistot A-porras	liuos	X	X	1-nopeus
TK9	1,4	Ravintola yläkellari	liuos	X		tamu
TK10	0,8	Keittiö yläkellari	liuos	X		1-nopeus
TK11	1,5	Aula ja kellarivarastot	liuos	X		1-nopeus
TK12	1	Ulkorakennus	-	X		1-nopeus
YHTEENSÄ	22,7					

Näiden tulo-poistokoneiden lisäksi asuntojen ja alakellarin entisen autohallin ilmanvaihto sekä teknisten tilojen kuten muuntamon, puhelinjakamon, sähköpääkeskuksen ja lämmönjakohuoneen yllämmönpoisto on hoidettu erillispoistoilla. Saneerausta edeltävät tilatyypikohtaiset ilmavirrat ovat olleet vanhoista tasopiirustuksista yhteenlaskettujen tilakohtaisten ilmavirtojen perusteella arviolta taulukon 2 mukaiset. [10] Taulukossa on esitetty myös saneerauksen jälkeiset ilmavirrat.

Taulukko 2. Toimistorakennuksen ilmavirrat tilatyypikohtaisesti [10].

Tila	Ilmavirta (dm ³ /s/m ²)	
	Ennen	Jälkeen
Asunnot	Vain poisto	Vain poisto
Toimistohuoneet	1,5	1,5
Neuvotteluhuoneet	1,5	5
Varastot	1	0,5
Uima-allastila	14	-
Saunatupa	8	-
Ravintolasali	8	-
Keittiö	19	-

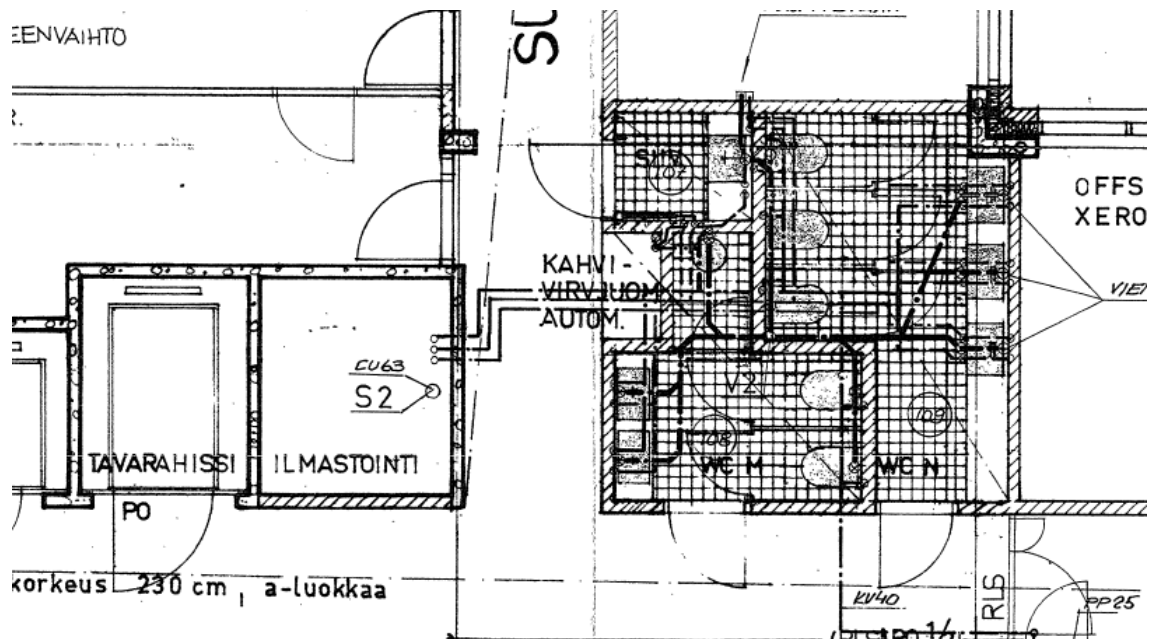
IV-koneet ovat sijainneet vesikatolla IV-konehuoneissa (3 kpl) porraskäytävien kohdalla, ja kanavisto on johdettu nousukuiluja pitkin kerroksiin, joissa edelleen jaoteltu tiloihin alakattorakenteen yläpuolella. Poikkeuksena vanhaa käytöstä jo poistettua autohallia

palvellut TK4, joka on sijainnut itse palvelualueella alakellarin entisen autohallin teknisessä tilassa, sekä erillsrakennus, jonka katolla oli oma IV-kone. WC-tilojen poistoilma on kanavoitu erillään nousukuiluissa IV-konehuoneeseen, jossa ne on liitetty yleispoistoon.

Koska IV-koneet ovat olleet käytössä arkipäivisin noin 12 tuntia päivässä, on niiden elinkaaren pituutta arvioidessa käytettävä rasitusluokkaa 2 (normaali). Kun IV-koneiden ikä on tiedossa ja ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyspatterien, lämmöntalteenottolaitteiden, puhaltimien, suodattimien sekä sulkusäätö- ja mittauslaitteiden keskimääräinen tekninen käyttöikä on kyseisessä rasitusluokassa 20–25 vuotta, todettiin IV-koneiden alkuperäisiltä osiltaan saavuttaneen teknisen käyttöikänsä. LTO-järjestelmät olivat myös elinkaarensa loppupäässä ja niiden toiminnassa oli ollut häiriöitä. IV-kanaviston uusimistarvetta ei kuitenkaan määrittele mekaaninen kuluminen vaan IV-järjestelmän toimintaperiaatteiden tai tilojen käyttötarkoituksen muutokset. Täten olemassa olevan kanaviston voi arvioida olevan hyödynnettävissä sikäli, kuin se soveltuu mahdollisiin ilmapvirtojen ja tilajakojen muutoksiin. [11]

3.2 Käyttövesi ja viemäri

Kiinteistön käyttövesi- ja viemärijärjestelmä on alkuperäinen, pois lukien yksittäiset saaneeratut kalusteet ja akuuteista vioista tai vuodoista johtuen korjatut putkistot. Nykyisten kylmävesijohtojen materiaali on sinkittyä terästä, lämminvesiputkien kuparia ja jätevesiviemärien valurautaa. Sadevesiviemärit on toteutettu umpivirtausjärjestelmänä, jonka putkimateriaali on vesikaton kattokaivoista alakellarin tarkistusluukkuihin kuparia. Jäte- ja sadevesipohjaviemärit ovat valurautaisia viettoviemäreitä. Ravintolan rasvaviemärit on uusittu vuonna 2001. Tonttivesijohto on tuotu rakennukseen sisälle erilliseen vesimitarihuoneeseen, josta edelleen lämmönjakohuoneeseen. Kiinteistön vedenkulutus on mitattu yhtenä kokonaisuutena. Lämmin käyttövesi valmistetaan lämmönjakohuoneessa lämmönsiirtimellä. Käyttövesiverkoston runkoputket on johdettu lämmönjakohuoneesta alakellarin kautta nousukuluihin, josta edelleen kerrosten tiloihin. Toimistokerroksien vesipisteet sijaitsevat suureksi osaksi aulatiloissa kuvassa 4 näkyvien nousukuilujen läheisyydessä. [12]



Kuva 4. B-portaan vanhojen kvv-nousujen sijainti IV-kuilussa ja WC-tilojen nurkassa.

Valurautaisten jätevesiviemäreiden ja kuparisten käyttövesijohtojen tekninen käyttöikä rasitusluokassa 2 (normaali) on 50 vuotta. Sinkittyjen teräsputkien osalta tekninen käyttöikä on saavutettu, ja ne suositellaan vaihdettavaksi niiden asennusajankohdasta riippumatta. Veden on havaittu olevan paikoitellen ruskeaa ja rautaisen maun takia käyttökelvotonta. Järjestelmät ovat saavuttaneet teknisen käyttöikänsä pois lukien keittiön myöhemmin uusitut rasvaviemärit.

3.3 Lämmitys

Kiinteistö lämmitetään kaukolämmöllä. Kuvassa 5 näkyvässä vuonna 1998 uusitussa lämmönjakokeskuksessa on kaksi lämmönsiirrintä, toinen käyttövedelle (700 kW) ja toinen patteri- ja IV-verkostolle (948 kW). Lämmitysverkoston putket ovat alkuperäisiä. Tilojen lämmitys on hoidettu vesikiertoisilla lämmityspattereilla, jotka on uusittu termostaattiventtiileineen vuonna 2010. Alakellarin varastotiloissa on 11 kappaletta termostaattiohjaattuja vesikiertoisia lämpöpuhaltimia. Pattereiden uusimisen yhteydessä lämmitysverkostoa ei kuitenkaan ole tuntemattomaksi jääneestä syystä tasapainotettu. Lämmitysverkoston toiminta perustuu siihen, että verkoston virtaamia säädetään tilojen vaatimien lämmitystehojen saavuttamiseksi. Lämmityspattereiden venttiilien esisäätöarvo rajoittaa

patterissa kiertävän veden virtaamaa, joten esisäätöarvojen asettaminen ilman huolellista suunnittelua johtaa väistämättä epäsuotuisaan lopputulokseen. Haluttuja olosuhteita ei saavuteta, jos säätäminen jätetään verkostossa tehtävien muutosten jälkeen tekemättä. Tämä on johtanut tiloissa kylmyys- ja kuumuusongelmiin. Lisäksi lämmitysverkoston kaukolämmön säätöventtiilissä oli havaittu vuoto. [6;10]



Kuva 5. Vanha LJK yläkellarissa.

LJK:n keskimääräinen käyttöikä on noin 25 vuotta [13], vaikka käyttöikää voidaankin pidentää uusimalla yksittäisiä laitteita. Täten nykyinen LJK on elinkaarensa loppupuolella. Kiinteistön lämmitysenergian tarpeen voidaan olettaa laskeneen huomattavasti vuodesta 1998 etenkin ikkunoiden vaihdon ansiosta ja laskevan edelleen toteutettavan saneerauksen yhteydessä. Täten LJK:n mitoitus ei tulevaisuudessa vastaa kiinteistön lämmöntarvetta ja lämmitysverkoston epätasapainotilanne, ja siitä johtuvat lämpötilaongelmat ovat olleet olosuhteita ajatellen epäsuotuisat.

3.4 Jäähdytys

Kiinteistössä on kolme vesikatolla sijaitsevaa vuonna 2002 uusittua, suora höyrysteistä jäähdytyskonetta, joiden tehoa säädetty on kahdella rinnakkaisella kompressorilla. Jäähdytyslaitteet palvelevat kukin A-, B- ja C-portaikojen toimistotilojen IV-konetta (TK8, TK5 ja TK1). Lisäksi muutamissa tiloissa on tilakohtaisia suora höyrysteisiä split-jäähdytyslaitteita.

Jäähdytyslaitteiden toiminnassa on ollut runsaasti vikoja, minkä johdosta kompresso-reista on ollut noin puolet poissa käytöstä. Laitteiston tehoa on säädetty käynnistämällä ja sammuttamalla kompressoreja, mikä ei ole energiatehokasta. Tuloilman suora höyrysteisten jäähdytinlaitteiden tekninen käyttöikä on käyttöasteesta riippumatta 20 vuotta. Laitteiston tekninen käyttöikä on saavutettu.

3.5 Automaatio

Kiinteistössä on vuonna 2000 uusittu Honeywell EBI -automaatiojärjestelmä, jonka valvomo-ohjelmisto on uusittu arviolta vuonna 2013. Viollisia kenttälaitteita on uusittu runsaasti [6]. Rakennusautomaation valvomolaitteiden ja ohjelmistojen tekninen käyttöikä on 3–5, ja kenttälaitteiden 10–15 vuotta [11]. Järjestelmä on näin ollen saavuttanut teknisen käyttöikänsä. Vanhan automaatiojärjestelmän laajentaminen saneerauksen yhteydessä uusittavien LVI-järjestelmien vaatimaan laajuuteen saattaa olla haastavaa.

4 Toimenpidevaihtoehdot ja toteutuksen laajuus

Kiinteistöstä teetettyjen selvitysten perusteella tehtiin kaksi LVIA-hankesuunnitelmaa toimenpide-ehdotuksineen. Yhtenä ehdotuksena oli jakaa saneeraus kahteen vaiheeseen. Ensimmäisen vaiheen laajuus käsittäisi järjestelmät, jotka olisivat uusittavissa kiinteistön käyttöaikana, kuten KV-putket, IV-koneet ja automaatiojärjestelmät. Toisessa vaiheessa kiinteistö tyhjennettäisiin raskaampia rakennusteknisiä töitä vaativien järjestelmien, kuten viemärien sekä ilmavirtojen suurentamiseen riittämättömien IV-kanavien ja -pääte-laitteiden uusimiseksi.

Lopullisen toteutettavan ratkaisun laajuus muodostui tilaajan, tämän kiinteistön tapauksessa käyttäjien ja rakennuttajan toiveita huomioiden, ja se toteutettiin aiheuttamatta kiinteistölle käyttökatoja, jotta vuokralaistoiminta ei häiriintyisi. Saneerauksen yhteydessä päätettiin suorittaa seuraavat toimenpiteet:

- Alakellarin autohalli, uima-allastila, ravintola ja keittiö muutetaan käyttötarkoitukseltaan varastotilaksi.
- Käyttövesiputket uusitaan kokonaisuudessaan ja vesikalusteet uusitaan toimistokerrosten osalta.
- Jätevesiviemärit uusitaan näkyviltä osin ja pohjaviemärit saneerataan sisäpuolisella pinnoituksella eli sukituksella.
- Vanhat IV-koneet uusitaan kokonaisuudessaan.
- Ilmavirrat mitataan ja säädetään suunnitelmien mukaisiksi.
- Vanhat IV-koneita palvelevat suorahöyrysteiset jäähdytyslaitteet puretaan ja vesikatolle asennetaan vedenjäähdytyskoneet.
- Tilojen jäähdytystä varten tehdään reittivaraukset ja valmiit pedit jäähdytyskoneille porras- ja kerroskohtaisen jäähdytyslaitteiston helpomman laajennuksen mahdollistamiseksi.
- Lämmönjakokeskus uusitaan ja lämmitysverkosto tasapainotetaan ja perussäädetään.
- Automaatiojärjestelmä uusitaan kokonaisuudessaan. [9;10]

Näistä toimenpiteistä lämmönjakokeskuksen uusiminen sekä lämmitysverkoston tasapainotus ja perussäätö toteutettiin erillisenä hankkeena varsinaisen linjasaneerauksen valmistumisen jälkeen.

Kiinteistön vuokralaisista osa on kiinteistön osaomistajia ja tilojen käyttötarkoitukset ja käyttäjien tarpeet esim. jäähdytyksen ja WC-tilojen suhteen vaihtelevat, joten yhtenä merkittävänä suunnitteluperusteena on järjestelmien ja tilojen helppo muunneltavuus ja laajennettavuus.

IV-kanaviston uusiminen ja tilojen ilmavirtojen kasvattaminen jätettiin toteuttamatta, sillä nykyisten nousukuilujen avaaminen ja kanaviston uusiminen olisi ollut kallista, eikä sitä olisi voitu aiheutuvista merkittävistä haitoista johtuen toteuttaa kiinteistön käytön aikana.

5 Saneerauksessa tehdyt toimenpiteet

5.1 Ilmanvaihto

Ylä- ja alakellarin tiloissa päätettiin tehdä saneerauksen yhteydessä mittavia käyttötarkoituksen muutoksia, mikä johti kokonaisilmavirtojen merkittävään pienenemiseen. Suuria ilmavirtoja vaatineet uima-allas- ja saunaosasto sekä henkilöstöravintola ja keittiö varauduttiin ilmanvaihdon mitoituksessa muuttamaan varastotiloiksi tilojen tarpeettomuuden takia. Keittiön IV-järjestelmän saattaminen nykyvaatimusten tasolle olisi ollut kohtuuttoman kallis toteuttaa, sillä umpinaiseen IV-kuiluun sijoitetut rasvakanavat eivät täyttäneet paloeristyksen ja ainevahvuuksien osalta vaatimuksia. Lisäksi nykyvaatimuksia vastaavien ilmavirtojen vaatima IV-kone ei olisi mahtunut nykyiseen IV-konehuoneeseen, ja konehuoneen laajentaminen olisi vaatinut mittavia rakennustöitä. Varastotilaksi muutettua autohallia palvelut alakellarissa sijainnut IV-kone päätettiin purkaa ja liittää varastojen ilmanvaihto kellarin palvelemaan, vesikatolla sijaitsevaan IV-koneeseen. Ulkorakennuksen ilmanvaihto päätettiin liittää kellarin kautta kellareita palvelemaan IV-koneeseen. Tiloissa suoritetaan lääkinnällisiä toimenpiteitä ja suoritetaan leikkauksia, joten puhtaan tuloilman takaamiseksi kyseisiä tiloja palvelevan IV-koneen LTO päätettiin toteuttaa liuospattereilla.

Toimistotilojen ilmavirtojen mitoitus aikaisemmin oli noin $1,5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$, mikä täyttää nykyiset vaatimukset [14]. Ilmavirtojen suurentaminen olisi vaatinut lähes koko kanaviston ja kaikkien päätelaitteiden uusimista. Lisäksi ilmavirtojen tuottoon vaaditut IV-koneet eivät olisi mahtuneet nykyisiin konehuoneisiin.

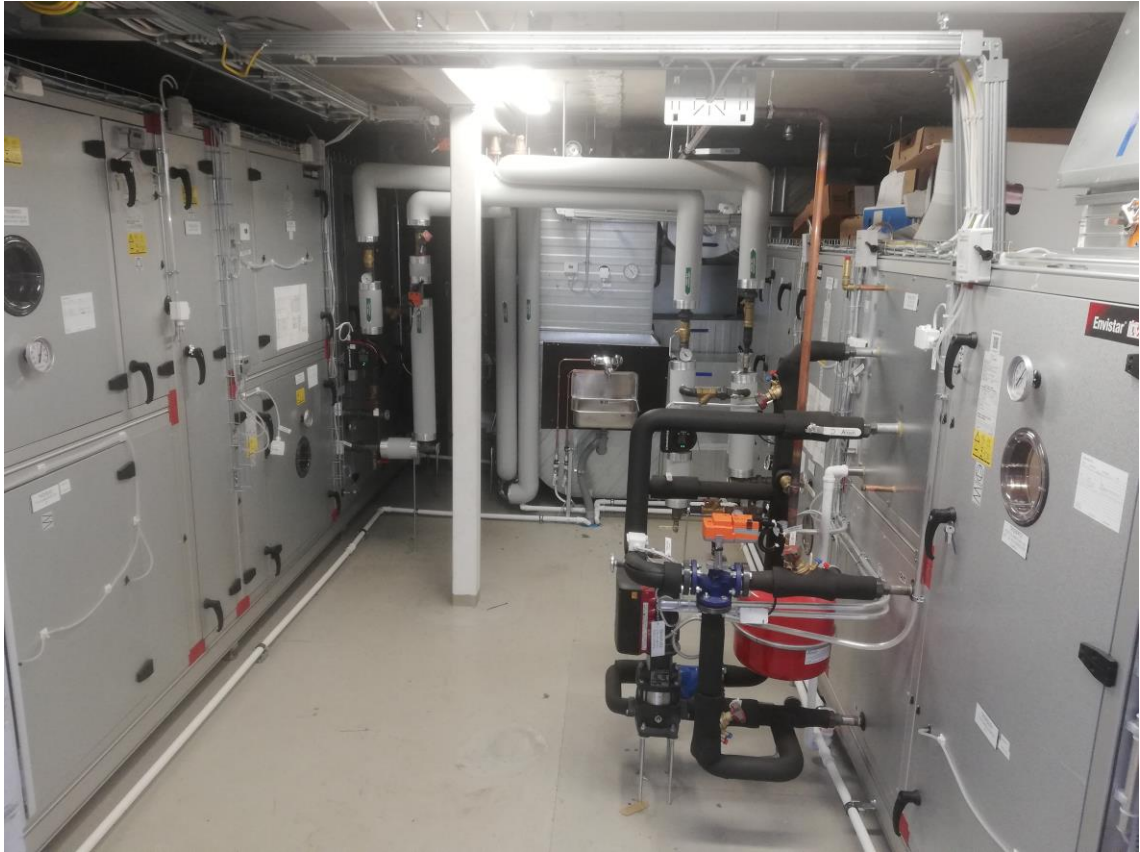
WC-tilojen poistoilma oli valmiiksi kanavoitu muiden tilojen poistoilmasta erillään IV-konehuoneeseen, joten niitä varten asennettiin porraskohtaiset EC-moottorilla varustetut erillispoistopuhaltimet. Asuntojen poistopuhallin uusittiin EC-malliseksi. Tällä toimenpiteellä saatiin poistopuhaltimien energiatehokkuutta parannettua, elinkaari nollattua ja samalla eriteltyä 3-luokan poistoilma toimistotilojen 1-luokan ilmanvaihdosta [15]. Tämä mahdollistaa pyörivän lämmönsiirtimen käytön suurempien koneiden lämmöntalteenotossa ilman riskiä tulo- ja poistoilman sekoittumisesta ja siitä aiheutuvista hajuhaitoista. Pyörivän lämmönsiirtimen vuosihyötysuhde on parempi kuin levylämmönsiirtimen

vuosihyötysuhde, eivätkä levylämmönsiirtimet olisi fyysisesti mahtuneet nykyisiin IV-konehuoneisiin.

Yleisilmanvaihtoa varten päätettiin asentaa 6 kpl uusia vesikiertoisella lämmityspatterilla varustettuja tulo-poistokoneita, 2 kpl jokaisen portaan kohdalla sijaitsevaan IV-konehuoneeseen (kuva 6). Toimistoja palveleviin koneisiin asennettiin jäähdytyspatterit. Kaikkien koneiden puhaltimien, LTO-kiekkujen ja sekoituspiirien kiertovesipumppujen pyörimisnopeutta ohjataan portaattomasti. [7] Koneiden ilmavirrat ja varusteet on lueteltu taulukossa 3. Ilmanjako tiloihin on esitetty liitteissä 1—3.

Taulukko 3. IV-koneiden ilmavirtojen mitoitus ja varusteet [10].

IV-kone	Ilmavirta (m ³ /s)	Palvelualue	LTO	Lämmitys-patteri	Jäähdytys-patteri	Ohjaus-tapa
TK02	3,4	Toimistot A-porras	kiekko	X	X	EC
TK03	1,5	Aula ja kellarivarastot	kiekko	X	-	EC
TK05	3,4	Toimistot B-porras	kiekko	X	X	EC
TK06	1,5	Aula ja kellarivarastot	liuos	X	-	EC
TK08	3,4	Toimistot C-porras	kiekko	X	X	EC
TK09	1,5	Aula ja kellarivarastot	kiekko	X	-	EC
YHTEENSÄ	14,7					
PK01	-0,14	Asunnot	-	-	-	EC
PK02	-0,51	WC-tilat A-porras	-	-	-	EC
PK05	-0,5	WC-tilat B-porras	-	-	-	EC
PK08	-0,445	WC-tilat C-porras	-	-	-	EC



Kuva 6. Vesikatolla sijaitseva B-portaan IV-konehuone saneerauksen jälkeen.

Huoneen perällä on nousukuilu, vasemmalla TK05 ja oikealla TK06. Tilan keskeltä on purettu väliseinä ja konehuoneet on yhdistetty yhdeksi tilaksi.

IV-koneiden asennusten jälkeen, tilojen ilmavirtaaja mitattaessa huomattiin, että IV-koneiden paineentuotto jouduttiin pitämään kohtuuttoman korkeana. Mittauksissa ilmeni, etteivät IV-koneelta mitatut ilmavirrat vastanneet päätelaitteiden yhteenlaskettua ilmavirtaa. Toimistoja ja pieneläinklinikkaa palvelevien tulo- ja poistokanaviston pystyrunkosuudet, joihin ei päästy rakenteita purkamatta käsiksi, päätettiin kuvata sisäpuolelta ja tiivistää IML-Aeroseal-menetelmällä. Toimenpiteellä saatiin kanaviston ilmavuodot laskemaan sekä vähennettyä puhaltimelta vaadittavaa paineentuottoa ja täten sähkökuluusta. Kanavistojen vuodot mitattiin 300 pascalin testipaineella ennen tiivistystä ja tiivistyksen jälkeen. Ennen mittauksia pystykanavien haarat tulpattiin ilmatiiviisti. [16;17;18] Pystyrunkosuuksien mittauksien tulokset ja tiiviiden parantuminen ja Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiset saavutetut tiiviysluokat käyvät ilmi taulukosta 4.

Taulukko 4. Pystykanavien tiivistyksen tulokset.

	Tulokanaviston vuotoilma (dm ³ /s)		Ero (%)	Tiiviysluokka tiivistyksen jälkeen (D2)
	Ennen	Jälkeen		
TK02	371	27	93	B
TK05	223	60	73	A
TK06	177	16	91	B
TK08	219	20	91	B
	Poistokanaviston vuotoilma (dm ³ /s)		Ero (%)	
	Ennen	Jälkeen		
TK02	306	15	95	C
TK05	234	37	84	B
TK06	277	42	85	B
TK08	220	20	91	B

Tiiviysluokka määräytyy vuotoilmavirran suuruuden (q_{VIA}) mukaan vaipan pinta-alaa kohti. Vuotoyhtälö kaavassa 1.

$$q_{VIA} = k p_s^{0,65} \quad (1)$$

jossa

q_{VIA} on vuotoilmavirta vaipan pinta-alaa kohden, dm³/s/m²

k on tiiviysluokkakohtainen kerroin, dm³/s/m²/Pa^{0,65}

p_s on koepaine, Pa

Tiiviysluokkien suurimmat sallitut vuotoilmat pinta-alaa kohden on taulukossa 5.

Taulukko 5. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 [17] mukaiset tiiviysluokkien rajat.

Tiiviysluokka	Sallittu vuotoilma $q_{VIA} \text{ (dm}^3\text{/s/m}^2\text{)}$
A	$0,027 \times p_s^{0,65}$
B	$0,009 \times p_s^{0,65}$
C	$0,003 \times p_s^{0,65}$
D	$0,001 \times p_s^{0,65}$
E	$0,0003 \times p_s^{0,65}$

5.2 Käyttövesi ja viemäri

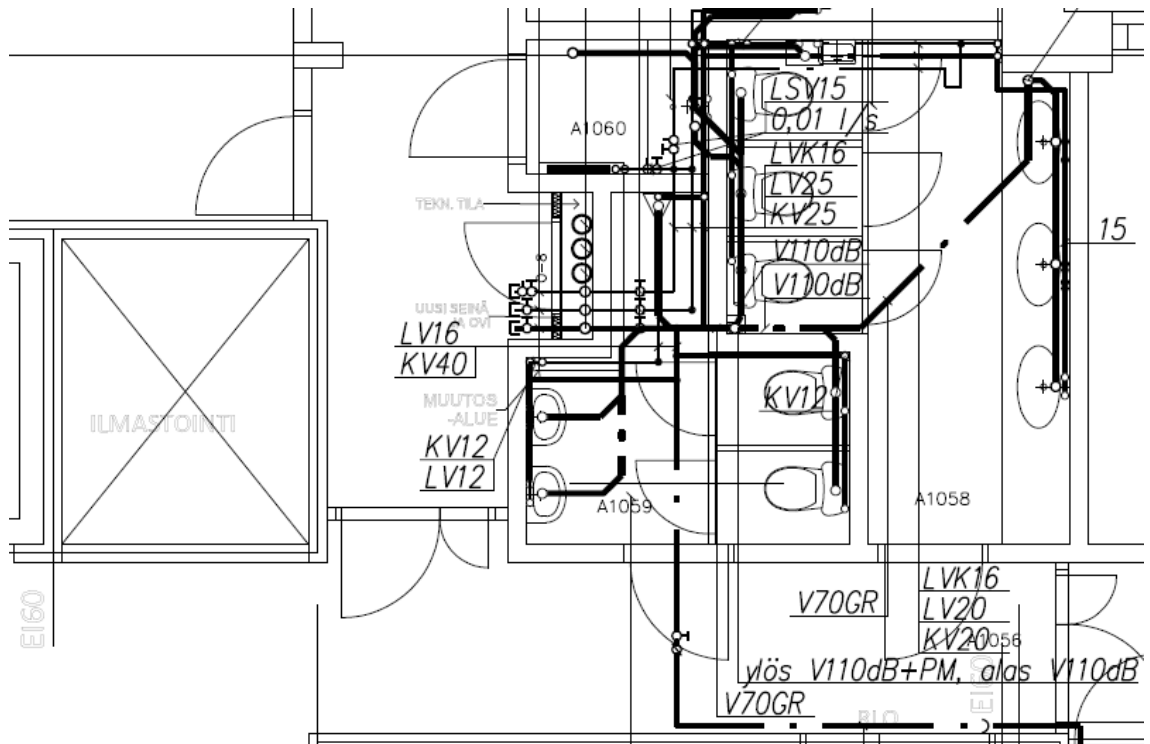
Käyttövesiputket ja tonttijohto päätettiin uusia kokonaisuudessaan. Putkien mitoituksessa huomioitiin mahdolliset tilamuutoksista aiheutuvat laajennustarpeet. Materiaaliksi kiinteistön sisäpuolella valikoitui komposiitti. Vertailussa kupariputkiin komposiittiputket eivät ole alttiina eroosiokorroosiolle, ja niiden ääniominaisuudet ovat paremmat. Komposiittiputket eivät ole materiaalina yhtä herkkiä veden laatuvahtelulle ja mahdollisille virtausnopeuksien muutoksille.

Pisimmät vaakasiirrot saatiin toteutettua alakellarin katossa ja käyttövesiputkia varten jokaiseen portaan WC-tilojen läheisyyteen asennettiin alakellarista ylimpään kerrokseen ulottuvat, porraskohtaiset koteloidut putkinousut (kuvat 7 ja 8). Vanhat putket olivat käytössä mahdollisimman pitkään ennen uusien kytkentää, jolloin käyttökatoista ja vuokraishäiriöistä saatiin mahdollisimman lyhytaikaiset. Toimistokerrosten vesikalusteet uusittiin. Putkikuiluihin asennettiin kerroskohtaiset vuodonilmaisimet sekä alas laskettuihin kattoihin kerroskohtaiset sulk- ja linjasäätöventtiilit huoltoluukkuineen. Välipohjia ja palo-osastoivia seiniä läpäiseviin käyttövesiputkiin asennettiin palomansetit. Vanhat käyttövesiputkien pystynousut tyhjennettiin, tulpattiin kaasutiiviisti ja jätettiin umpinaiseen vanhaan nousukuiluun.



Kuva 7. Uudet putkinousut, vuodonilmaisimet ja tilavaraukset ensimmäisen kerroksen kome-rossa.

Kiinteistön viemäreistä teetettiin tutkimus, jossa ne kuvattiin. Tutkimuksessa pohjaviemäreiden sisäpinnat todettiin sedimentoituneiksi ja karheiksi, yhdestä linjasta löytyi halkeama, ja linjoista löytyi patoavia esteitä, ja niihin oli alkanut kertyä vettä. Valurautaisen tuuletusviemärien havaittiin tutkimuksessa olevan tukkiutuneet putken sisäpinnasta irronneen ruosteen takia. Tutkimuksissa pohja- ja tuuletusviemäreiden toimintakunto arvioitiin kokonaisuudessaan heikoksi, joten ne päätettiin saneerata sisäpuolisella pinnoitusmenetelmällä eli sukittamalla [19]. Jätevesiviemärit uusittiin alakellarin lattiapinnasta ylöspäin muovisiksi desibeliviemäreiksi. Pystyviemärit sijoitettiin WC-tilojen nurkkaan ja koteloitiin. WC-ryhmien viemärihajotukset ja läpiviennit uusittiin alas laskettujen kattorakenteiden päällä. Välipohja ja palo-osastoivia seiniä läpäiseviin viemäriputkiin asennettiin palomansetit. Vanhat pystyviemärit tyhjennettiin, tulpattiin kaasutiiviisti ja jätettiin umpinaiseen vanhaan nousukuiluun. [7]



Kuva 8. Uusien kvv-nousulinjojen sijainti teknisessä tilassa ja WC-tilojen nurkassa.

Sadevesiviemärit päätettiin jättää tämän hankkeen yhteydessä ennalleen. Uusille sadevesiviemäreille varattiin uusista nousukuiluista tilavaraus. Sadevesiviemäreiden uusintapäätös tehdään seuraavan vesikaton kunnostuksen yhteydessä.

Helsingin kaupungin rakennusvalvonnalle toimitettiin rakennuspaikkakohtainen selvitys kiinteistön viemäröintijärjestelmän nykytilanteesta, viemärisaneerauksen laajuudesta ja käytetystä materiaalista. Materiaalin eli Wavin SiTech+db -viemäriputkien osalta selvitettiin niiden ulkohalkaisijat, seinämävahvuudet ja todistus määräystenmukaisuudesta. Lisäksi rakennusvalvonnalle laadittiin KVV-laitteistosta sen vaatima KVV-laitteistoselvitys, josta käyvät ilmi tonttivesijohdon ja jätevesiliittymän mitoitusvirtaamat ja liitoskoot sekä jälkimmäisen padotuskorkeus ja alimman painovoimaisesti viemäroidyn tason korkeus.

5.3 Jäähdytys

Vesikatolla sijainneet suoraohyrysteiset jäähdytyslaitteet päätettiin purkaa ja tilalle asennettiin 3 kpl kuvan 9 mukaisia vedenjäähdytyskoneita vapaajäähdytyksellä, kukin palvelemaan kyseisessä IV-konehuoneessa sijaitsevaa toimistojen IV-konetta. Vedenjäähdytyskoneiden mitoituksessa käytettiin koneiden suunniteltuja uusia ilmavirtoja.

Toimistojen IV-koneiden jäähdytyspatterit mitoitetiin entalpiaerolla 17 kJ/kg, mikä tarkoittaa noin 70 kW:n jäähdytystehoa täydellä ilmavirralla. Mitoituksessa käytettiin tuloilman lämpötilana 27–16 °C:ta ja suhteellisenä kosteutena 60–98 %:a. Katolle asennettavien VJK:iden teho määräytyi suoraan IV-koneiden jäähdytystehon tarpeesta.



Kuva 9. Vesikatolla sijaitseva vedenjäähdytyskone JK02 ja kerroskohtaisia jäähdytyslaitteita varten asennetut petivaraukset. Taustalla IV-konehuone TK06:n ulkoilmakammion lumikilpi ja jäteilmalaite.

Vesikatolle rakennettiin jokaisen IV-konehuoneen läheisyyteen 3 kpl teräspetejä, joissa on tilavaraukset yhteensä 12 jäähdytyskoneelle, ja jätettiin putkinousuihin tilavaraus putkistoille mahdollisia kerroskohtaisia jäähdytysjärjestelmien laajennuksia varten.

5.4 Automaatio

Kiinteistön automaatiojärjestelmä päätettiin uusiksi etäkäytettäväksi DDC-pohjaiseksi (Direct Digital Control) järjestelmäksi. Kaikki kenttälaitteet uusittiin hyödyntäen olemassa olevia kaapelointeja siinä määrin kuin niiden kapasiteetti, kunto ja sijainti sallivat. Tilojen mahdollista ilta- ja viikonloppukäyttöä varten asennettiin portaiden jokaiseen kerrokseen porraskohtaiset ilmanvaihdon lisäaikapainikkeet. Järjestelmään jätettiin myös optio ilma-
virtojen säätöön CO₂-pitoisuuden perusteella. [9;20]

6 Lämmitysjärjestelmän toimenpiteet

6.1 Muutostarpeet

Rakennuksen kokonaislämmitysenergiantarve on laskenut edellisen tarkasteluajankohdan jälkeen merkittävästi. Suurimmat energiatehokkuuteen ja täten lämmöntarpeeseen vaikuttavat muutokset ovat olleet IV-koneiden LTO-järjestelmien hyötysuhteen parantuminen, ikkunoiden uusiminen sekä tilojen käyttötarkoitusten muutoksien vaikutuksesta pienentyneet ilmavirrat. Lisäksi saneerauksen yhteydessä käytöstä poistettavaa uima-
allasta oli aikaisemmin lämmitetty lämmitysverkostoon liitetyllä lämmönsiirtimellä.

Rakennuksen vesikiertoiset lämmityspatterit ja termostaattiventtiilit on uusittu vuonna 2010, jolloin lämmönjakokeskus on jätetty uusimatta ja verkosto tasapainottamatta. Lämmityspatterit ja IV-koneet ovat olleet samaa verkostoa, ja em. muutokset ovat vaikuttaneet verkoston tasapainotilanteeseen heikentävästi. Tästä syystä osassa tiloja on ollut kylmyys- ja osassa kuumuusongelmia. Käyttöveden osalta kiinteistössä on tehty tilakohtaisia muutoksia ja saneerauksia, joiden yhteydessä käyttövesikalusteita on lisätty ja uusittu. Käytöstä poistettujen keittiön ja saunaosaston vedenkulutuksen voidaan arvioida

olleen merkittävä, ja siten myöskään lämpimän käyttöveden kulutus ei todennäköisimmin vastaa nykyistä mitoitusta.

Mitoitettaessa uutta lämmönjakokeskusta olemassa olevaan kiinteistöön nykyinen järjestelmä ja rakennusten ulkokuoren rakenteet kartoitettiin mahdollisimman tarkasti sekä tutkimalla saatavilla olevia vanhoja suunnitelmia ja dokumentteja sekä katselmoimalla paikan päällä.

6.2 Lämmitysverkoston toimenpiteet

Tarkasteltavassa kohteessa tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys on toteutettu yhteisellä lämmönsiirtimellä ja säätölaitteistolla, joten mitoitus tehdään määrittämällä tilojen ja ilmanvaihdon aiheuttamat lämpöhäviöt ja laskemalla nämä yhteen.

6.2.1 Rakennusvaipan lämpöhäviöt

Suomi on jaettu neljään maantieteelliseen säävyöhykkeeseen, joille on jokaiselle paikallisia sääolosuhteita tutkimalla määritelty mitoitustilämpötila. Kohde sijaitsee Helsingissä säävyöhykkeellä 1, jonka ulkolämpötilana käytetään mitoitustilanteessa -26 °C :ta. Tiloja palvelevat lämmityslaitteet suunnitellaan aina siten, että ne ovat riittävän tehokkaat paikallisessa mitoitustilämpötilassa $T_{u,mit}$. Sisätilojen mitoitustilämpötilana T_s käytetään toimitoissa 21 °C :ta.

Rakennuksen lämmitystehon tarpeen määrittäminen etenee Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti [21]. Rakennusvaipan lämpöhäviöitä määrittäessä käytetään hyväksi rakennekohtaista lämmönläpäisykerrointa U ($\text{W/m}^2\text{K}$), joka saadaan kaavalla 2, kun on selvitetty kussakin rakenteessa käytetyt materiaalit ja niiden paksuudet d_n ja kullekin rakennusmateriaalille rakentamismääräyskokoelmassa määritetty lämmönjohtavuuden arvo λ eli lambda (W/Km) sekä rakenteen sisä- ja ulkopinnoille pintavastukset R_{si} ja R_{se} ($\text{m}^2\text{K/W}$). [21]

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \dots + R_{se}} \quad (2)$$

, jossa

U on rakenteen lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$

R_{si} on sisäpuolinen pintavastus, $(m^2K)/W$

R_{se} on ulkopuolinen pintavastus, $(m^2K)/W$

d_n on ainekerroksen paksuus, m

λ_n on ainekerroksen lämmönjohtavuus, $W/(Km)$

Mikäli rakennuksen ulkokuoren rakenteista ja eristetyypeistä ei ole saatavilla tarkkaa tietoa, voidaan niiden arvioida täyttävän rakennusvuonna voimassa olleet lämmöneristystä koskevat vähimmäisvaatimukset. Rakenteista ei ollut tarpeeksi tarkkoja leikkauskuvia, joista olisi voinut tarkasti määrittää kunkin yksittäisen materiaalin paksuuden, mutta ne viittasivat rakenteiden vastaavan vähintään vuoden 1978 määräyksiä. Lämmöneristysominaisuuksia arvioidessa käytettiin taulukon 6 mukaisia U -arvoja.

Taulukko 6. Tilojen lämpöhäviöiden määrittelyssä käytetyt U -arvot [22;23].

Rakenne	U-arvo	
	(W/m^2K)	Lähde
Ulkoseinä	0,29	C3, 1978
Yläpohja	0,29	C3, 1978
Alapohja	0,29	C3, 1978
Ikkuna	1,4	C3, 2010
Ovi	2,8	C3, 1978

Esimerkkihuoneena käytetään kohteelle tyypillistä kuvan 10 mukaista kolmannen kerroksen toimistotilaa, jonka huonekorkeus on 2 950 mm, leveys 4 000 mm ja pituus 3 400 mm. Ulkoseinällä on kolme ikkunaa, joiden korkeus on 1 200 mm ja leveys 900 mm.



Kuva 10. Kolmannen kerroksen esimerkkihuoneen pohjapiirros [7].

Yksittäisen rakenneosan lämpöhäviö saadaan kaavan 3 mukaan kertomalla rakenteen U-arvo sen pinta-alalla ja ulko- ja sisälämpötilan erotuksella mitoitustilanteessa.

$$\Phi_{rakosa} = UA(T_s - T_{u,mit}) \quad (3)$$

jossa

Φ_{rakosa} on johtumislämpöhäviö rakenneosan läpi, W

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)

A on rakennusosan pinta-ala, m²

T_s on sisäilman lämpötila, °C

$T_{u,mit}$ on mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

Ulkoseinän pinta-alasta vähennetään ensin ikkunoiden pinta-ala, minkä jälkeen voidaan laskea lämpöhäviöt tilan ikkunoille, ulkoseinälle ja yläpohjalle.

$$\begin{aligned}\Phi_{ulkoseinä} &= 0,29 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (2,95 \text{ m} \cdot 3,4 \text{ m} - 3 \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ m}) \cdot (21 \text{ }^\circ\text{C} - (-26 \text{ }^\circ\text{C})) \\ &\approx 93 \text{ W}\end{aligned}$$

$$\Phi_{ikkunat} = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 3 \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ m} \cdot (21 \text{ }^\circ\text{C} - (-26 \text{ }^\circ\text{C})) \approx 213 \text{ W}$$

$$\Phi_{yläpohja} = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 4 \text{ m} \cdot 3,4 \text{ m} \cdot (21 \text{ }^\circ\text{C} - (-26 \text{ }^\circ\text{C})) \approx 185 \text{ W}$$

Tilojen rakennusvaipan johtumislämpöhäviöihin vaikuttavat myös kylmäsiilat, jotka muodostuvat lähinnä ala-, väli- ja yläpohjien ja ulkoseinien yhtymäkohdista. Kylmäsiilan aiheuttamaan lämpöhäviöön vaikuttaa sen pituus l_k ja rakenteissa käytetyt materiaalit. Betonisten rakenteiden väliselle liitokselle on määritetty rakentamismääräyskokoelmassa lisäkonduktanssin Ψ_k (W/(Km)) erilliset arvot ulkoseinien välisille ulko- ja sisänurkille, ulkoseinän liitokselle ala-, väli- ja yläpohjaan ja ikkunoiden ja ulkoseinän väliselle liitokselle. Väli­pohjan kylmäsiilan lämpöhäviö on rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukon 3.1 mukaan betonisen väli­pohjan tapauksessa 0 W/(Km), joten se jätetään huomi­oimatta. [21] Tilan jokaiselle kylmäsiilalle lasketaan erikseen lämpöhäviöt, jotka summa­taan kaavan 4 mukaisesti.

$$\Phi_{kylmäsiilat} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_{u,mit}) \quad (4)$$

jossa

l_k on viivamaisen kylmäsiilan pituus, m

Ψ_k on viivamaisen kylmäsiilan lisäkonduktanssi, W/(Km)

$$\Phi_{kylmäsiilta,yp} = 3,4 \text{ m} \cdot 0,08 \text{ W/Km} \cdot (21 \text{ }^\circ\text{C} - (-26 \text{ }^\circ\text{C})) \approx 13 \text{ W}$$

$$\begin{aligned}\Phi_{kylmäsiilta,ik} &= (6 \cdot 0,9 \text{ m} + 6 \cdot 1,2 \text{ m}) \cdot 0,04 \text{ W/Km} \cdot (21 \text{ }^\circ\text{C} - (-26 \text{ }^\circ\text{C})) \\ &\approx 19 \text{ W}\end{aligned}$$

Tilan kylmäsillan pituus on sama kuin ulkoseinän leveys. Huoneen katonrajassa kylmäsilta on yläpohjaa ($\Psi_{yläpohja} = W/(Km)$) ja lattian rajassa välipohjaa ($\Psi_{välipohja} = W/(Km)$) vasten.

Ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt ovat laskettavissa samalla periaatteella. Ikkunalle on olemassa valmistajan ilmoittama U-arvo. Laskennassa tulee huomioida, että ikkunaa tai ovea ympäröivät karmirakenteet luokitellaan kylmäsilloiksi. Tilan rakennusvaipan johtumislämpöhäviö Φ_{joht} saadaan edelleen summaamalla osatekijät.

$$\Phi_{joht} = \Phi_{ulkoseinät} + \Phi_{yläpohja} + \Phi_{alapohja} + \Phi_{ikkuna} + \Phi_{ovi} + \Phi_{kylmäsillat} \quad (5)$$

jossa

Φ_{joht}	on johtumislämpöhäviöteho rakennusvaipan läpi, W
$\Phi_{ulkoseinä}$	on johtumislämpöhäviöteho ulkoseinien läpi, W
$\Phi_{yläpohja}$	on johtumislämpöhäviöteho yläpohjien läpi, W
$\Phi_{alapohja}$	on johtumislämpöhäviöteho alapohjien läpi, W
Φ_{ikkuna}	on johtumislämpöhäviöteho ikkunoiden läpi, W
Φ_{ovi}	on johtumislämpöhäviöteho ovien läpi, W
$\Phi_{kylmäsillat}$	on johtumislämpöhäviöteho kylmäsiltojen läpi, W

$$\Phi_{joht} = 93 \text{ W} + 213 \text{ W} + 185 \text{ W} + 13 \text{ W} + 19 \text{ W} \approx 523 \text{ W}$$

Vuotoilmakertoimeksi on mitoituksessa arvioitu 0,12 1/h, joka vastaa uudempien määräyksien minimivaatimusta n_{50} -lukua $3 \frac{1}{h}$. Kun tilan sisämitat ja täten tilavuus on tiedossa, vuotoilman aiheuttama lämpöhäviö saadaan kaavalla 6, jossa ρ_i on ilman tiheys $1,2 \text{ kg/m}^3$ ja c_{pi} ilman ominaislämpökapasiteetti 1 000 J/(kgK) .

$$\Phi_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_{u,mit}) \quad (6)$$

jossa

$\Phi_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W

ρ_i on ilman tiheys, $1,2 \text{ kg/m}^3$

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kgK)

$q_{v,\text{vuotoilma}}$ on vuotoilmavirta, m^3/s

$$\Phi_{\text{vuotoilma}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,12 \frac{1}{\text{h}} \cdot 3,4 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \cdot 2,95 \text{ m} \cdot (21 \text{ }^\circ\text{C} - (-26 \text{ }^\circ\text{C})) / 3600 \text{ s/h} \approx 75 \text{ W}$$

Huoneeseen puhallettavan tuloilman tilavuusvirta $q_{v,\text{tulo}}$ vaihtelee tilojen pinta-alan mukaan, ja sen aiheuttama lämpöhäviö saadaan kaavalla 7. Esimerkkihuoneen tuloilmavirta $q_{v,\text{tulo}}$ on noin $35 \text{ dm}^3/\text{s}$.

$$\Phi_{\text{tuloilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{tulo}} (T_s - T_{sp}) \quad (7)$$

jossa

Φ_{tuloilma} on tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W

$q_{v,\text{tulo}}$ on tuloilmavirta, m^3/s

T_{sp} on sisäänpuhalluslämpötila, $^\circ\text{C}$

$$\Phi_{\text{tuloilma}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,035 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot (21 \text{ }^\circ\text{C} - 19 \text{ }^\circ\text{C}) \approx 84 \text{ W}$$

Yksittäisen toimistotilan lämmitystehontarve Φ_{tila} määritellään laskemalla tilan lämpöhäviöt yhteen. Lämpöhäviön suuruuteen vaikuttavat ulkoseinien, ikkunoiden ja ovien pinta-ala, kylmäsiltojen pituus sekä tulo- ja vuotoilman suuruus (kaava 8).

$$\Phi_{\text{tila}} = \Phi_{\text{joht}} + \Phi_{\text{vuotoilma}} + \Phi_{\text{tuloilma}} \quad (8)$$

$$\Phi_{tila} = 523 \text{ W} + 75 \text{ W} + 84 \text{ W} \approx 682 \text{ W}$$

Tilojen lämpöhäviöiden laskennassa hyödynnettiin Cadmatic-suunnitteluohjelmistoa. Ohjelmaan määriteltiin säävyöhyke, rakenteiden U-arvot, haluttu sisälämpötila, vuotoil-makerroin sekä tuloilman lämpötila ja tilavuusvirta tiloittain. Pohjakuvan ollessa tarkistusmitattu ja mittakaavassa tilat määriteltiin graafisesti. Tilojen ikkunoille ja oville määriteltiin käytettävissä olevien pohja- ja julkisivupiirustusten mukaiset leveydet ja korkeudet ja ne sijoitettiin oikeille paikoilleen. Esimerkkihuoneen kokonaislämpöhäviöksi saatiin Cadmaticin laskennan avulla 658 W. Kussakin tilassa syntyvät lämpöhäviöt jaettiin tiloissa oleville lämmityspattereille.

6.2.2 IV-järjestelmän lämpöhäviöt

IV-koneiden lämmitystehontarve määräytyy niiden kokonaisilmavirran ja LTO:n hyötysuhteen perusteella. Tehontarpeen määrittävä laskenta voidaan tehdä käsin, jolloin lähtötietona tarvitaan koneen valmistajalta jäteilman lämpötila mitoitusilanteessa $T_{jäte}$ sekä tulo- ja poistopuhaltimien ilmavirrat ja niiden suhdeluku R . Näiden avulla saadaan laskettua LTO:n poistoilman lämpötilasuhde $\eta_{p,mit}$ (kaava 9) ja edelleen vastaava suhde tuloilmalle $\eta_{t,mit}$ (kaava 10). Esimerkkilaskelmassa on kuvattu TK05:n lämmityspatterin mitoitusta. Poistoilman lämpötilana on käytetty T_p 22 °C:ta ja jäteilman lämpötilana -17,6 °C [24]. Kone palvelee B-portaan toimistoja. Käytännössä toimistokäytössä LTO-kiekko ei huuru matalasta jäteilman mitoituslämpötilan takia, ellei tuloilmaa kostuteta [25].

$$\eta_{p,mit} = \frac{T_p - T_{jäte}}{T_p - T_{u,mit}}, \quad \eta_{t,mit} = \frac{\eta_{p,mit}}{R} \quad (9;10)$$

jossa

$\eta_{p,mit}$	on lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitusilanteessa
T_p	on poistoilman lämpötila, °C
$T_{jäte}$	on jäteilman lämpötila, °C
$\eta_{t,mit}$	on lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde mitoitusilanteessa

R on tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan

$$\eta_{p,mit} = \frac{22\text{ °C} - (-17,6\text{ °C})}{22\text{ °C} - (-26\text{ °C})} \approx 0,825, \quad \eta_{t,mit} = \frac{0,825}{\frac{3,4\text{ m}^3/\text{s}}{3,4\text{ m}^3/\text{s}}} \approx 0,825$$

Tuloilman lämpötilasuhteen avulla saadaan laskettua LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötila $T_{lto,mit}$ (kaava 11) ja edelleen lämmityspatterilta vaadittava lämmitysteho mitoitustilanteessa Φ_{iv} (kaava 12).

$$T_{lto,mit} = T_{u,mit} + \eta_{t,mit}(T_s - T_{u,mit}) \quad (11)$$

jossa

$T_{lto,mit}$ on lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila mitoitustilanteessa, °C

$T_{u,mit}$ on mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

$\eta_{t,mit}$ on lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhte mitoitustilanteessa

T_s on sisäilman lämpötila, °C.

$$T_{lto,mit} = -26\text{ °C} + 0,825 * (22\text{ °C} - (-26\text{ °C})) \approx 13,6\text{ °C}$$

Koneiden kiertovesipatterit ja täten lämmitystehontarve mitoitettiin 5 °C:n ns. ristiinmitoituksella. Tämä tarkoittaa, että LTO:n jälkeisenä tuloilman lämpötilana käytetään laskennassa 5 °C matalampaa lämpötilaa kuin se todellisuudessa on, eli tässä tapauksessa 8,6 °C. Ristiinmitoituksella tavoitellaan lämmitystehon riittävyyden varmistamista ja laitteiston toimintavarmuutta poikkeustilanteissa. Käytännössä laitetoimittaja suorittaa IV-koneiden mitoituksen suunnittelijan antamien lähtötietojen pohjalta. Lämmityspatterin mitoitustehoksi saatiin kaavan 12 mukaan 42,4 kW. [7;20]

$$\Phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}(T_{sp} - T_{lto,mit}) \quad (12)$$

jossa

Φ_{iv} on IV-koneen lämmityspatterin lämmitysteho mitoitustilanteessa, kW

$$\Phi_{iv} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1000 \frac{J}{kgK} \cdot 3,4 \frac{m^3}{s} (19^\circ C - 8,6^\circ C) \approx 42,4 kW$$

6.2.3 Verkoston digitointi ja mallinnus

Vuonna 2012 tehdystä lämmityspattereiden ja termostaatti- ja linjasäätöventtiilien uusimisesta ei löytynyt dokumentteja, joten kaikki patterien ja linjasäätöventtiilien tyypit ja koot katselmoitiin ja dokumentoitiin käsin. Digitoinnissa vanhojen suunnitelmien ja katselmoinnin perusteella mallinnettiin kiinteistön lämmitysverkosto kokonaisuudessaan CADMATIC-suunnitteluohjelmistolla. Putkistot ja verkostojen virtauspäättöpäät pöytätaulua ottaen huomioon todelliset putkikoot ja korkoaseman. Mallintaminen helpottaa olennaisesti virtaama- ja painehäviötarkastelua. Kohteesta oli saatavilla DWG-muotoiset pohjakuvat, mikä helpotti digitointia.

6.2.4 Verkoston mitoitustilanteet

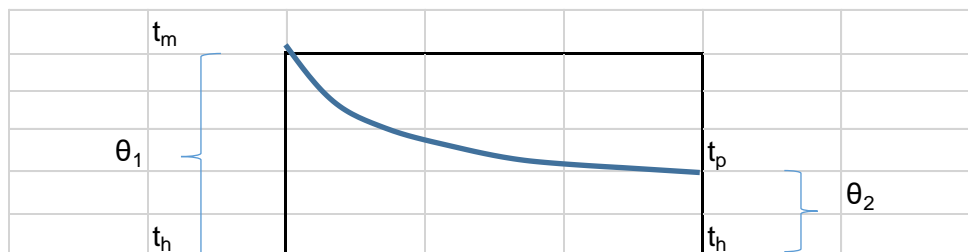
Lämmitysverkosto on aikanaan mitoitettu nyky määräyksiin verrattuna korkeilla lämpötiloilla 80/60 °C. Uudisrakennusten kohdalla mitoitustilanteet ovat vesikiertoisen radiaattorilämmityksen osalta 45/30 °C ja IV-verkostojen 60/30 °C. Olemassa olevien rakennusten kohdalla nykyistä vastaaviin lämpötiloihin ei kuitenkaan välttämättä päästä, mikä on huomioitu määräyksissä ja ohjeissa. Verkoston paluuveden lämpötila tulee silti toiminta-arvoja tarkastellessa pyrkiä saamaan mahdollisimman matalaksi [26]. Lämpötilojen laskiessa verkoston virtaus ja näin ollen virtauksesta aiheutuva painehäviö kasvaa. Lämmitysverkosta suunniteltaessa tulisi putkimitoituksessa käyttää virtausnopeuden aiheuttamana keskimääräisenä painehäviönä 50–75:tä pascalia putkimetriä kohden [27]. Lämmitysverkoston putkistoa ei ole taloudellisesti kannattavaa uusien tarkastellun saneeraus tyypisissä hankkeissa.

Lämmitysverkoston virtausta ja kokonaispainehäviötä sekä lämmönluovuttimien, tässä tapauksessa vesikiertoisten radiaattorien, tehoja simuloitiin suunnitteluohjelmistolla ja pyrittiin mahdollisimman mataliin mitoitustilanteisiin. Tarkasteltaessa painehäviöitä koko verkostossa sekä pattereiden lämmönluovutustehoja huomattiin, että verkoston mitoitustilanteiden laskiessa erityisesti ylimmän kolmannen kerroksen pattereiden

lämmönluovutuskyky ei ollut linjassa kiinteistön muiden pattereiden kanssa. Pattereiden lämmönluovutusteho ei enää vastannut tilojen lämpöhäviöitä, eli patterit olivat rakenteeltaan ja fyysiseltä kooltaan liian pieniä hyödynnettäväksi alkuperäistä mitoitusta matalammissa lämpötiloissa. Lämmitysverkoston mitoituslämpötilat päädyttiin tarkastelun jälkeen asettamaan menoveden ($T_{m,t,LS2}$) osalta 75 °C:seen ja paluuveden ($T_{p,t,LS2}$) 55 °C:seen. Lämpötilat eivät ylitä olemassa olevien rakennusten lämmönsiirtimien korkeimpia sallittuja lämpötiloja [20, s. 57]. IV-koneiden vesikiertoiset lämmityspatterit mitoitettiin lämpötiloilla 60/40 °C. Jokainen IV-kone varustettiin omalla pumppuryhmällä, joka sekoittaa lämmitysverkoston vedestä säädetyn lämpöistä.

6.2.5 Lämmityspattereiden virtaama

Lämmityspatterin lämmönluovutusteho riippuu patterin virtaaman suuruudesta sekä veden ja huoneilman lämpötilaerosta eli patterin yllilämpötilasta. Veden lämpötila ja täten yllilämpötila laskee logaritmisesti kuvan 11 mukaisesti sen virratessa patterin läpi. Täten myös lämmönluovutusteho on virtauksen alkupäässä suurempi ja pienenee virtauksen edetessä.



Kuva 11. Menoveden jäähtyminen lämmityspatterissa [28].

Patteriveden yllilämpötila patterin alku- ja loppupäässä saadaan kaavan 13 mukaisilla erotuksilla.

$$\theta_1 = t_m - t_h; \theta_2 = t_p - t_h \quad (13)$$

jossa

θ_1 on menoveden yllilämpötila, °C

θ_2 on paluuveden yllämpötila, °C

t_m on menoveden lämpötila, °C

t_p on paluuveden lämpötila, °C

t_h on huonelämpötila, °C

$$\theta_1 = 75 \text{ °C} - 21 \text{ °C} = 54 \text{ °C}; \theta_2 = 55 \text{ °C} - 21 \text{ °C} = 34 \text{ °C}$$

Patterin keskimääräisenä yllämpötilana käytettävä logaritminen yllämpötila saadaan kaavan 14 mukaisesti.

$$\theta_{ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (14)$$

jossa

θ_{ln} on patterin ja huoneilman logaritminen lämpötilaero, °C

$$\theta_{ln1} = \frac{54 \text{ °C} - 34 \text{ °C}}{\ln \frac{54 \text{ °C}}{34 \text{ °C}}} \approx 43,2 \text{ °C}$$

Lämpöhäviölaskennassa käsitellyssä esimerkkihuvoneessa on asennettuna 3 kpl yksilevyisiä Purmo Hygiene -levylämmönsiirtimiä, joiden korkeus on 300 mm ja leveys 700 mm. Pattereiden verkoston lämpötiloista riippuva ominaislämmönluovutusteho on $\Phi_1 = 201 \text{ W}$ ja lämmönluovutuseksponentti $n = 1,3425$. [29]

Pattereiden ominaistehoa vastaava virtaama saadaan kaavalla 15.

$$q_v = \frac{\Phi}{c_p * \rho * (t_m - t_p)} \quad (15)$$

jossa

Φ on patterin lämmönluovutusteho, W

c_p	on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
ρ	on veden tiheys, kg/dm ³
t_m	on menoveden lämpötila, °C
t_p	on paluueden lämpötila, °C

$$q_v = \frac{201 \text{ W}}{4180 \text{ J/kgK} * 1 \text{ kg/dm}^3 * (75 \text{ °C} - 55 \text{ °C})} \approx 0,0024 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Kun tilan lämpöhäviöt jaetaan tasan kolmelle patterille, saadaan yhden patterin lämmönluovutuksen tehontarpeeksi noin 220 W. Patterit ovat täten valituilla verkoston lämpötiloilla tilan lämpöhäviöihin nähden alimitoitettut.

Jotta lämmityspattereiden lämmönluovutustehoa saataisiin kasvatettua, täytyy niiden virtaamaa kasvattaa. Kun virtaamaa kasvatetaan, patteri ei kykene luovuttamaan enää meno- ja paluueden erotuksen mukaista tehoa, eli vesi ei ehdi enää jäähtyä patterin sisällä, ja täten paluueden lämpötila nousee. Tämä aiheuttaa samalla patterin logaritmisin keskilämpötilan nousun. Patterin uuteen tehoon vaadittava logaritminen yllilämpötila voidaan ratkaista kaavasta 16.

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \left(\frac{\theta_{ln2}}{\theta_{ln1}}\right)^n \rightarrow \theta_{ln2} = \theta_{ln1} \left(\frac{\Phi_2}{\Phi_1}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (16)$$

jossa

Φ_1	on patterin teho tunnetulla yllilämpötilalla, W
Φ_2	on patterin teho uudella yllilämpötilalla, W
θ_{ln1}	on patterin logaritminen yllilämpötila tunnetulla teholla, °C
θ_{ln2}	on patterin logaritminen yllilämpötila uudella teholla, °C
n	on patterin lämmönluovutusekspONENTTI, 1,3425

$$\theta_{ln2} = 43,2 \text{ } ^\circ\text{C} * \left(\frac{220 \text{ W}}{201 \text{ W}} \right)^{\frac{1}{1,3425}} = 40,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Patterin uuden virtaaman määrittämiseksi tarvitaan uusi paluuedenlämpötila, joka voidaan ratkaista sijoittamalla uusi yllämpötila kaavan 14 yhtälöön ja hakemalla oikea paluueden lämpötila iteroimalla, käyttäen esimerkiksi Microsoftin Excelin ratkaisinta.

$$\theta_{ln2} = \frac{(54 \text{ } ^\circ\text{C}) - (t_{p2} - 21 \text{ } ^\circ\text{C})}{\ln \frac{(54 \text{ } ^\circ\text{C})}{(t_{p2} - 21 \text{ } ^\circ\text{C})}} \approx 40,4 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow t_{p2} \approx 60,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

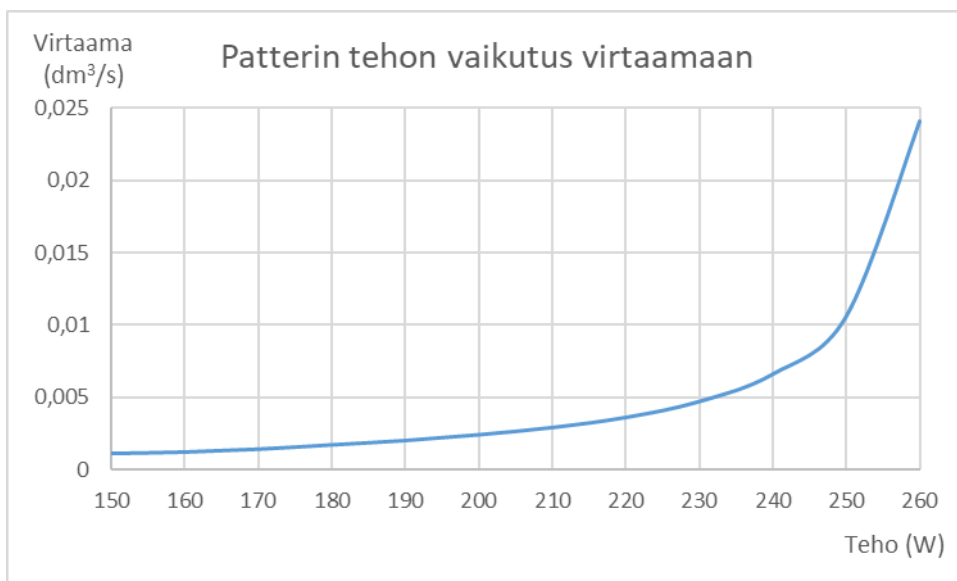
jossa

t_{p2} on uusi paluueden lämpötila, $^\circ\text{C}$

Patterin uusi virtaama saadaan kaavalla 15. Cadmaticin laskennan avulla saatu virtaama on $0,0037 \text{ dm}^3/\text{s}$.

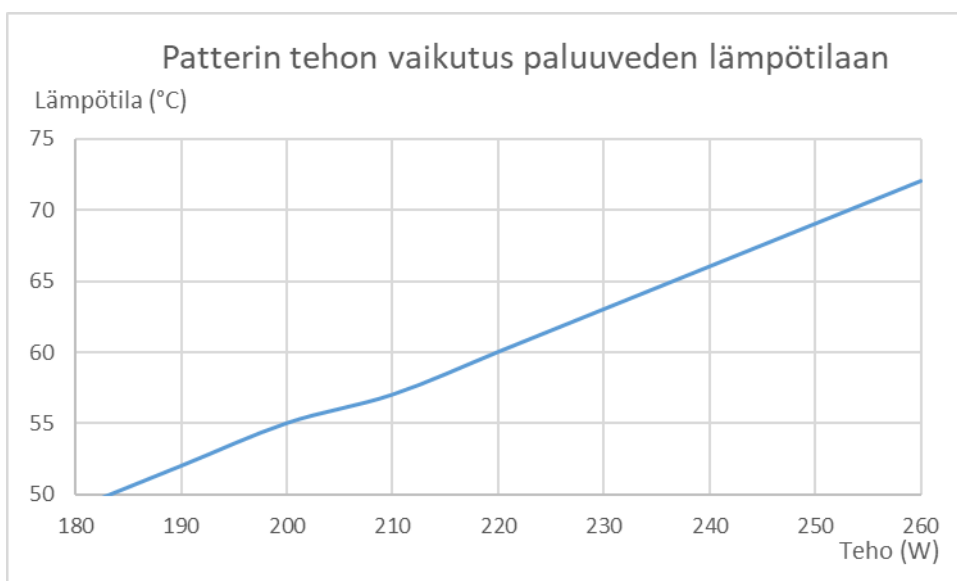
$$q_v = \frac{220 \text{ W}}{4180 \text{ J/kgK} * 1 \text{ kg/dm}^3 * (75 \text{ } ^\circ\text{C} - 60,4 \text{ } ^\circ\text{C})} \approx 0,0036 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Uudesta virtaamasta havaitaan, että patterin tehoa kasvatettaessa noin 10 %, sen virtaama kasvaa noin 50 %. Virtaaman suurentamista simuloitiin sekä Cadmaticin tasapainotuslaskennalla että Excelin ratkaisimen avulla. Kyseisen patterin tehon kasvattamisen vaikutus virtaamaan on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Patterin teho ja virtaama.

Kuvasta havaitaan, että patterin tehon kasvattaminen vaikuttaa erittäin voimakkaasti virtaamaan. Samalla paluueden lämpötila nousee voimakkaasti kuvan 13 mukaisesti, ja täten ero menoveden lämpötilaan pienenee.



Kuva 13. Patterin teho ja paluueden lämpötila.

Mikäli kyseisen patterin tehoa kasvatetaan suuremmaksi kuin 260 W, meno- ja paluueden lämpötilaero lähenee 0 °C:ta ja virtaama kasvaa äärettömän suureksi. Tämä ilmenee

sekä Cadmaticissa että Excelissä laskentavirheenä. Cadmatic antaa silti mitoittaa patterit hyvin lähelle maksimitehoaan, mikä johtaa suhteettoman suuriin virtaamiin ja painehäviöihin lämmitysverkoston haara- ja kytkentälinjoissa. Tästä johtuen pattereiden virtaamien mitoittaminen on olemassa olevissa verkostoissa haastavaa, mikäli patterit on alun perin mitoitettu väärin, ja mitoitus vaatii ohjelmistojen lisäksi erityistä tarkkaavaisuutta.

Kohteen patterit on vuonna 2010 uusittu alkuperäisten suunnitelmien mukaisiksi. Lämmitysverkosto olisi tässä yhteydessä kannattanut ehdottomasti ottaa kokonaisuutena tarkempaan tarkasteluun ja mitoittaa uudet patterit matalammilla verkoston lämpötiloilla.

6.2.6 Lämmitysverkoston tasapainotus ja säätö

Lämmitysverkoston tasapainotus perustuu siihen, että jokaisen verkoston kiertopiirin on oltava painehäviöltään yhtä suuri. Piirin painehäviö koostuu piirin putkiosuuksien painehäviöiden summasta, lähinnä virtausnopeuden aiheuttamasta kitka- ja kertavastuksista. Näiden suuruuteen vaikuttavat virtausnopeus, käytettävä putkikoko, mutkat ja haarat, venttiilit, kattilat, varaajat sekä lämmönluovuttimet. Tasapainoaseman saavuttamiseksi on löydettävä verkoston painehäviöiltään suurin kiertoreitti ja saatettava muiden kiertoreittien painehäviöt yhtä suuriksi. Käytännössä tämä tapahtuu tasapainottamalla runkoputkien haarat keskenään linjasäätöventtiilien avulla, minkä jälkeen jokaisen putkihaaran lämmönluovuttimien kiertopiirien painehäviöt tasataan kuristamalla niiden virtausta patteriventtiilien esisäätöasetuksen avulla.

Kohteen lämmitysverkoston tasapainotus tehtiin suunnitteluohjelmistolla, minkä jälkeen putkiosuuksien virtaamia ja painehäviöitä tarkasteltiin käsin mahdollisten virheiden eliminomiseksi. Uutta verkostoa suunniteltaessa ohjelmistot osaavat mitoittaa putkikoot riittävän väljäksi, jotta tarpeettomia painehäviöitä ei synny. Olemassa olevan verkoston säätö tulee kuitenkin tehdä käyttäen nykyisiä putkikokoja, jolloin tulee kiinnittää erityistä huomiota siihen, etteivät ohjelmistot välttämättä varoita tapauksessa, jossa yksittäisen putkiosuuden virtausnopeus ja täten aiheutuva painehäviö kasvaa kohtuuttoman suureksi.

Lämmitysverkoston linjasäätö- ja sulkuventtiilit sekä patteriventtiilit päätettiin jättää uusimatta, mikä hankaloitti verkoston tasapainotusta. Suurin osa venttiileistä on edellisessä

saneerauksessa uusittu silloisten, suurempien virtauksien mukaisesti, joten ne olivat uusiin virtaamiin nähden ylimitoitettuja ja niiden säätökyky oli täten huonontunut virtaamien pienennyttyä.

IV-koneet uusittu saneerauksen ensimmäisessä vaiheessa ennen lämmitysverkoston tasapainotusta. IV-koneiden lämmityspatterien säätöventtiilit oli tässä yhteydessä mitoitettu verkoston lämpötiloille 70/40 °C. Tilojen lämmityspatterit katselmoitiin ennen saneerauksen ensimmäistä vaihetta pistokoemaisesti ja arvioitiin niiden soveltuvan kyseisille lämpötiloille. Kun lämmitysverkostoa tutkittiin tarkemmin omana kokonaisuutenaan vasta muiden järjestelmien saneerauksen valmistuttua, huomattiin, ettei ylimmän kerroksen patterien lämmönluovutuskyky sittenkään riittänyt, vaan verkosto oli mitoitettava lämpötiloille 75/55 °C. Tämä johti tilanteeseen, jossa IV-koneiden sekoitusryhmien säätöventtiilien k_v -arvot olivat liian pienet 20 °C:n lämpötilaerolla toteutuneille virtaamille.

Cadmatic ei osaa mallintaa sekoitusryhmiä, joissa on eri mitoituslämpötilat kuin itse verkostossa, eikä laskea tällaisille ryhmille paluueden lämpötilaa. Vaikka IV-patterin paluueden lämpötila olisi matalampi kuin verkoston, ei Cadmatic tätä osaa huomioida toisin kuin tilojen lämmityspattereissa, vaan paluueden lämpötila on aina sama kuin verkoston paluueden mitoituslämpötila (55 °C). Todellisuudessa mitoituslaitteen paluueden lämpötila on lähempänä 45 °C:ta. IV-patterit mallinnettiin 30 °C:n lämpötilaeron mukaisen virtaaman avulla, jolloin se vastaa todellista tilannetta. Tällöin myös säätöventtiilien painehäviöt eivät kasva liian suuriksi. Ohjelmiston laskeman paluueden lämpötila on 57 °C, mutta se ei ota huomioon IV-koneiden pattereiden paluueden laskentaa matalampaa lämpötilaa.

Lämmitysverkosto ja sille tehtävät muutokset olisi ehdottomasti kannattanut käsitellä saneerauksen ensimmäisessä vaiheessa, samana kokonaisuutena kuin kiinteistön muutkin talotekniset järjestelmät. Tällöin koko verkosto olisi saatu mitoitettua kerralla tarkemmin ja mitoitukselle olisi saatu tarkemmat perusteet.

Verkoston kokonaisvirtaama saatiin laskemalla yhteen lämmityspattereiden Cadmaticilla saadut virtaamat, joiden summaan lisättiin IV-koneiden lämmityspattereiden todelliset virtaamat. Verkoston kokonaisvirtaamaksi mitoituslaitteessa saatiin 6,0 dm³/s ja

kokonaispainehäviöksi 45,6 kPa sisältäen mitoituksessa käytetyn lämmönsiirtimen painehäviön 10 kPa.

6.3 Lämpimän käyttöveden virtaama

Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen ja säätöventtiilin mitoittamiseksi on oltava tiedossa lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama. Virtaaman selvittämiseksi laskettiin kohteen pohjakuvien avulla kaikki lämpimän käyttöveden kulutuspisteet. [30] Kulutuspisteille on rakentamismääräyskokoelmassa määritelty taulukon 7 mukaiset kalustekohtaiset normivirtaamat q_N .

Taulukko 7. Vesikalusteiden lukumäärä kalustetyypeittäin ja normivirtaamien summa [30].

Vesipiste	Vesikalusteiden lukumäärä (kpl)	Normivirtaama q_N (dm^3/s)
Astianpesuallas	23	0,2
Pesuallas	36	0,1
Suihku	6	0,2
Tasapohja-allas	18	0,2
Yhteensä	83	13

Normivirtaamien summan perusteella saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 taulukosta määritettyä mitoitusvirtaama, kun tiedetään, että suurin yksittäisen vesikalusteen normivirtaama on $0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$. Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamaksi $q_{v,t,LS1}$ saatiin $1,00 \text{ dm}^3/\text{s}$.

6.4 Lämmönjakokeskuksen mitoitus

6.4.1 Mitoitusperusteet

LJK:n komponenttien mitoitus etenee Energiatoteellisuuden rakennusten kaukolämmitystä koskevien määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Ensiöpuolen putkistot mitoitettiin Helsingin energian ohjeiden ja määräysten mukaisesti. [20;31]



Kuva 14. Uusi LJK yläkellarissa.

Kyseessä on iso kiinteistö, jonka vuokralaisten toiminta ja siten tila- ja laitteistovaatimukset ovat moninaisia ja kiinteistön halutaan olevan muunneltavissa tulevia käyttötarpeita varten. Täten LJK:n komponentit mitoitettiin laajennusvaralla. Tämä onnistuu kiertovesipumppujen ja lämmönsiirtimien kohdalla, sillä lämmönsiirrin toimii myös mitoitustaan pienemmillä virtaamilla ja kierrosnopeusohjatut pumput mukautuvat tarvittavaan virtaamaan ja paineentuottoon. Venttiilit on mitoitettava nykyisillä virtauksilla, jolloin saavutetaan tarkka säätö sekä täytetään energialaitoksen vaatimukset. LJK:n uusimisen yhteydessä laajennusvarojen mukaan mitoittaminen aiheuttaa merkittävästi pienemmät kustannukset kuin laitteiden vaihtaminen jälkikäteen, ja vältetään ylimääräisiltä käyttökatoilta.

6.4.2 Lämmönsiirtimet

Lämpimän käyttöveden ja lämmitysverkoston kokonaisvirtaamien avulla saadaan laskettua lämmönsiirtimien LS1 (lämmin käyttövesi) ja LS2 (lämmitysverkosto) mitoitus-tehot. Määräysten mukaisesti lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen toisiopiirin mitoituslämpötilat ovat lämpimälle vedelle ($T_{p,t,LS1}$) 58 °C ja kylmälle vedelle ($T_{m,t,LS1}$) 10 °C. Lämmönsiirtimiä valmistetaan tiettyjen tehoportaiden välein, joten riittävään laskelmatarkkuuteen päästään, kun käytetään veden tiheytenä $\rho=1 \text{ kg/dm}^3$ ja ominaislämpökapasiteettina $c_p=4,18 \text{ kJ/(kgK)}$. Lämmönsiirtimien tehot Φ_{LS1} ja Φ_{LS2} saadaan kaavan 17 avulla [26].

$$\Phi = q_v \rho c_p (T_m - T_p) \quad (17)$$

jossa

Φ on lämmönsiirtimen teho, kW

q_v on veden tilavuusvirta, dm^3/s

ρ on veden tiheys, 1 kg/dm^3

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kgK)

T_m on menoveden lämpötila, °C

T_p on paluueden lämpötila, °C

$$\Phi_{LS1} = 1,00 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot 1 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} (58 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \approx 200 \text{ kW}$$

$$\Phi_{LS2} = 6,0 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot 1 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} (75 \text{ °C} - 55 \text{ °C}) \approx 501 \text{ kW}$$

Lämpimän käyttöveden lämmönsiirrin mitoitettiin 100 kW:n laajennusvaralla. Teho vastaa mitoitusvirtaamalla $1,5 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Lämmitysverkoston kokonaisvirtaamaksi $q_{v,t,LS2}$ saatiin suunnitteluohjelmiston avulla $6,0 \text{ dm}^3/\text{s}$. Lämmönsiirtimen mitoitettiin 150 kW:n laajennusvaralla. 650 kW:n teho

vastaa $7,8 \text{ dm}^3/\text{s}$:n kokonaisvirtaamaa. Vaikka lämmitysverkoston paluueden lämpötila oli Cadmaticin laskennan mukaan $57 \text{ }^\circ\text{C}$, lämmönjako keskus mitoitettiin verkoston lämpötiloilla $75\text{--}55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Määräysten mukaan lämpimän käyttöveden ensiöpiirin mitoituslämpötilat ovat $T_{t,LS1} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $T_{p,LS1} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämmitysverkoston osalta ensiöpiirin paluueden lämpötila $T_{p,e,LS2} = 58 \text{ }^\circ\text{C}$ määräytyy toisiopuolen paluueden lämpötilan mukaan, johon lisätään vaadittu lämmönsiirtimen $3 \text{ }^\circ\text{C}$:n asteisuus. Menoveden lämpötila on mitoituslanteessa $T_{m,e,LS2} = 115 \text{ }^\circ\text{C}$. Kaavalla 18 saadaan lämmönsiirtimien ensiöpuolen virtaamat sijoittamalla siihen tehot ja ensiöpuolen lämpötilat.

$$q_v = \frac{\Phi}{\rho c_p (T_t - T_p)} \quad (18)$$

$$q_{v,e,LS1} = \frac{300 \text{ kW}}{1 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} (70 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})} \approx 1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$q_{v,e,LS2} = \frac{650 \text{ kW}}{1 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} (115 \text{ }^\circ\text{C} - 58 \text{ }^\circ\text{C})} \approx 2,73 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Ensiöpuolen virtaamiksi saatiin lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimelle $q_{v,e,LS1} = 1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja lämmitysverkoston lämmönsiirtimelle $q_{v,e,LS2} = 2,73 \text{ dm}^3/\text{s}$.

6.4.3 Säätöventtiilit

Säätöventtiilin valintaa varten on pyydettävä kaukolämmön toimittajalta, tässä tapauksessa Helsingin Energialta, käytävissä oleva kaukolämpöverkoston paine-ero Δp_{iim} , joka tarkasteltavan kiinteistön kohdalla oli 100 kPa . Venttiileitä ei mitoiteta laajennusvaralla, vaan ne mitoitetaan toteutuvien lämmitystehontarpeiden ja virtaamien mukaan. Helsingin Energian suunnitteluohjeen mukaan lämpimän käyttöveden säätöventtiiliä mitoitettaessa tulee mitoitusvirtaamana käyttää 50% :a lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamasta [30]. Näin ollen mitoitusvirtaamana käytetään $q_{v,e,LS1} = 0,48 \text{ dm}^3/\text{s}$. Muilta osin säätöventtiilien mitoitus etenee Energiateollisuuden ohjeistuksen K1 mukaisesti [24]. Esimerkkilaskelmissa on esitetty lämmitysverkoston säätöventtiilien mitoitus.

Lämmitysverkoston säätöventtiili mitoitetaan ilman laajennusvaraa, joten mitoituksessa käytetään lämmitysverkoston todellista ensiöpuolen virtaamaa $q_{v,e,LS2,tod}$, joka saadaan kaavalla 18.

$$q_{v,e,LS2,tod} = \frac{501 \text{ kW}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (115 \text{ °C} - 58 \text{ °C})} \approx 2,1 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Säätöventtiin mitoituspaine-ero Δp_{vent} saadaan vähentämällä (kaava 19) käytettävissä olevasta painetasosta lämmönsiirtimen sekä LJK:n putkistojen arvioitu painehäviö.

$$\Delta p_{vent} = \Delta p_{ilm} - \Delta p_{siirrin} - \Delta p_{putkisto} \quad (19)$$

jossa

Δp_{vent} on säätöventtiin mitoituspaine-ero, kPa

Δp_{ilm} on kaukolämpötoimittajan ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero, kPa

$\Delta p_{siirrin}$ on lämmönsiirtimen painehäviö, kPa

$\Delta p_{putkisto}$ on LJK:n putkiston painehäviö, kPa

$$\Delta p_{vent} = 100 \text{ kPa} - 10 \text{ kPa} - 5 \text{ kPa} \approx 85 \text{ kPa}$$

Säätöventtiin k_v -arvo saadaan kaavalla 20.

$$k_v = \frac{q_{v,e}}{\sqrt{\Delta p_{vent}}} \quad (20)$$

jossa

k_v on säätöventtiin k_v -arvo, m^3/h

$q_{v,e}$ on ensiöpuolen virtaama, m^3/h

Δp_{vent} on säätöventtiin painehäviö, bar

Tarkkaan ottaen neliöjuuren sisällä on yksikötön suhdeluku $\Delta p_{\text{vent}} (\text{bar})/1 (\text{bar})$, jolloin k_v -arvon yksiköksi tulee m^3/h . Yksinkertaisuuden vuoksi kaava 20 on esitetty laadutettuna. Tässä työssä käytetään jatkossa kaavan sovelluksissa suhdelukua.

$$k_v = \frac{2,1 \text{ dm}^3/\text{s} * \frac{3600 \text{ s}}{1000 \text{ l}} \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{85/100}} \approx \frac{7,57 \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{0,85}} \approx 8,21 \text{ m}^3/\text{h}$$

Säätöventtiilejä valmistetaan k_{vs} -arvoilla, jotka seuraavat kuvassa 15 esitettyä Reynardin-sarjaa. Venttiilin k_{vs} -arvo tarkoittaa virtausta, joka venttiilin läpi kulkee sen ollessa täysin auki, kun venttiilin yli vaikuttaa paine-ero 1 bar, eli 100 kPa. [32]

Reynardin sarja $(10^{0,2})^n$; n kokonaisluku $\Rightarrow k_{vs}$ -arvot

n	k_{vs}	n	k_{vs}	n	k_{vs}
-4	0,16	1	1,6	6	16
-3	0,25	2	2,5	7	25
-2	0,40	3	4	8	40
-1	0,63	4	6,3	9	63
0	1,0	5	10	10	100

- myös välikokoja sekä aseteltavia k_{vs} -arvoja

Kuva 15. Reynardin sarja [33].

Venttiilin k_{vs} -arvoksi valitaan laskennallisesta k_v -arvosta seuraava suurempi tarjolla oleva arvo, joten lämmitysverkoston säätöventtiilin k_{vs} -arvoksi tuli 10. Mikäli venttiilin k_v -arvoksi saadaan yli 6,3 tai mikäli halutaan pyrkiä tarkkaan säädettävyyteen sekä pienen että suuren kulutuksen aikana, voidaan säätö toteuttaa kahdella venttiilillä. Tällöin mitoitusvirtaamasta jaetaan $1/3$ ensin avautuvalle säätöventtiilille ja $2/3$ toisena avautuvalle säätöventtiilille, eli saadaan $q_{v,e1} = 0,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja $q_{v,e2} = 1,4 \text{ dm}^3/\text{s}$. Venttiilin mitoituspainehäviö Δp_{vent} tulee myös määrittää uudelleen, sillä kuten venttiilin, myös lämmönsiirtimen ja LJK:n putkiston painehäviöt pienenevät virtauksen pienentyessä toisessa potenssissa kaavan 21 mukaisesti.

$$\frac{q_{v,e}^2}{q_{v,e1}^2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \rightarrow \Delta p_2 = \frac{1}{3^2} \Delta p_1 \quad (21)$$

jossa

$q_{v,e}$ on mitoitusvirtaama yhdellä venttiilillä, dm^3/s

$q_{v,e1}$ on ensin avautuvat venttiilin mitoitusvirtaama, dm^3/s

Δp_{vent1} on ensin avautuvan venttiilin painehäviö, kPa

Δp_{vent2} on toisena avautuvan venttiilin painehäviö, kPa

Mikäli kaukolämmön toimittaja ilmoittaa verkoston paineella vaihteluvälin, ensiksi avautuva pienempi venttiili mitoitetaan vaihteluvälin minimipaineen mukaan ja suurempi venttiili maksimipaineen mukaan.

$$\Delta p_{\text{vent},1} = 100 \text{ kPa} - \frac{10 \text{ kPa}}{3^2} - \frac{5 \text{ kPa}}{3^2} \approx 98,3 \text{ kPa} \approx 0,983 \text{ bar}$$

Lasketaan ensimmäisenä avautuvan venttiilin kv-arvo kaavalla 16.

$$k_{v,\text{vent1}} = \frac{0,70 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1000 \text{ l}} \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{98,3 / 100}} \approx \frac{2,52 \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{0,983}} \approx 2,74 \text{ m}^3/\text{h}$$

jossa

$k_{v,\text{vent1}}$ on ensin avautuvan venttiilin kv-arvo, m^3/h

Valitaan venttiilin k_{vs} -arvoksi kuvan 15 taulukosta seuraava koko eli 4, ja vähennetään arvo venttiilien yhteisestä kv-arvosta, jolloin saadaan suuremman venttiilin kv-arvo.

$$k_{v,\text{vent2}} = 8,12 \text{ m}^3/\text{h} - 4 \text{ m}^3/\text{h} = 4,14 \text{ m}^3/\text{h}$$

jossa

$k_{v,\text{vent2}}$ on toisena avautuvan venttiilin kv-arvo, m^3/h

Valitaan toisen venttiilin k_{vs} -arvoksi kuvan 15 taulukosta 6,3.

Valitun venttiiliyhdistelmän painehäviö saadaan kaavalla 22.

$$\Delta p_{vent,yht} = \left(\frac{q_{v,e}}{k_{v,vent1} + k_{v,vent2}} \right)^2 * 1 \text{ bar} \quad (22)$$

jossa

$\Delta p_{vent,yht}$ on säätöventtiilien yhteinen painehäviö, bar

$$\Delta p_{vent,yht} = \left(\frac{7,57 \text{ m}^3/\text{h}}{4 \text{ m}^3/\text{h} + 6,3 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 * 1 \text{ bar} \approx 0,735 \text{ bar} \approx 73,5 \text{ kPa}$$

Kaukolämmön säätöventtiin paine-eron suhteen käytettävissä olevaan paineeseen pitää olla tarpeeksi suuri, jotta sen vaikutusaste eli auktoriteetti β riittää piirin säätämiseen. Auktoriteetin tulee olla suurempi kuin 0,5, ja se tarkastetaan kaavalla 23.

$$\beta = \frac{\Delta p_{vent,yht}}{\Delta p_{ilm}} \quad (23)$$

jossa

β on venttiin vaikutusaste eli auktoriteetti

$$\beta = \frac{73,5 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \approx 0,74$$

Kohteen lämmitysverkoston säätöön valittiin kaksi säätöventtiiliä k_{vs} -arvoiltaan 4 ja 6,3.

Lämpimän käyttöveden ensiöpuolen todellinen virtaama $q_{v,e,LS1,tod}$ saadaan kaavalla 18.

$$q_{v,e,LS1,tod} = \frac{200 \text{ kW}}{1 \text{ kg}/\text{dm}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ}/\text{kgK} (70 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})} \approx 0,96 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Helenin ohjeiden [31] mukaan lämpimän käyttöveden säätöventtiili mitoitetaan puolittamalla ensiöpuolen todellinen mitoitusvirtaama, jolloin saadaan $0,48 \text{ dm}^3/\text{s}$.

$$k_v = \frac{0,48 \text{ dm}^3/\text{s} * \frac{3600 \text{ s}}{1000 \text{ l}} \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{85/100}} \approx \frac{1,73 \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{0,85}} \approx 1,87 \text{ m}^3/\text{h}$$

Valitaan venttiilin k_{vs} -arvoksi kuvan 15 taulukosta seuraava koko, eli 2,5.

Venttiilin painehäviö saadaan kaavan 22 mukaisesti.

$$\Delta p_{vent} = \left(\frac{1,87 \text{ m}^3/\text{h}}{2,5 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 * 100 \text{ kPa} \approx 56,2 \text{ kPa}$$

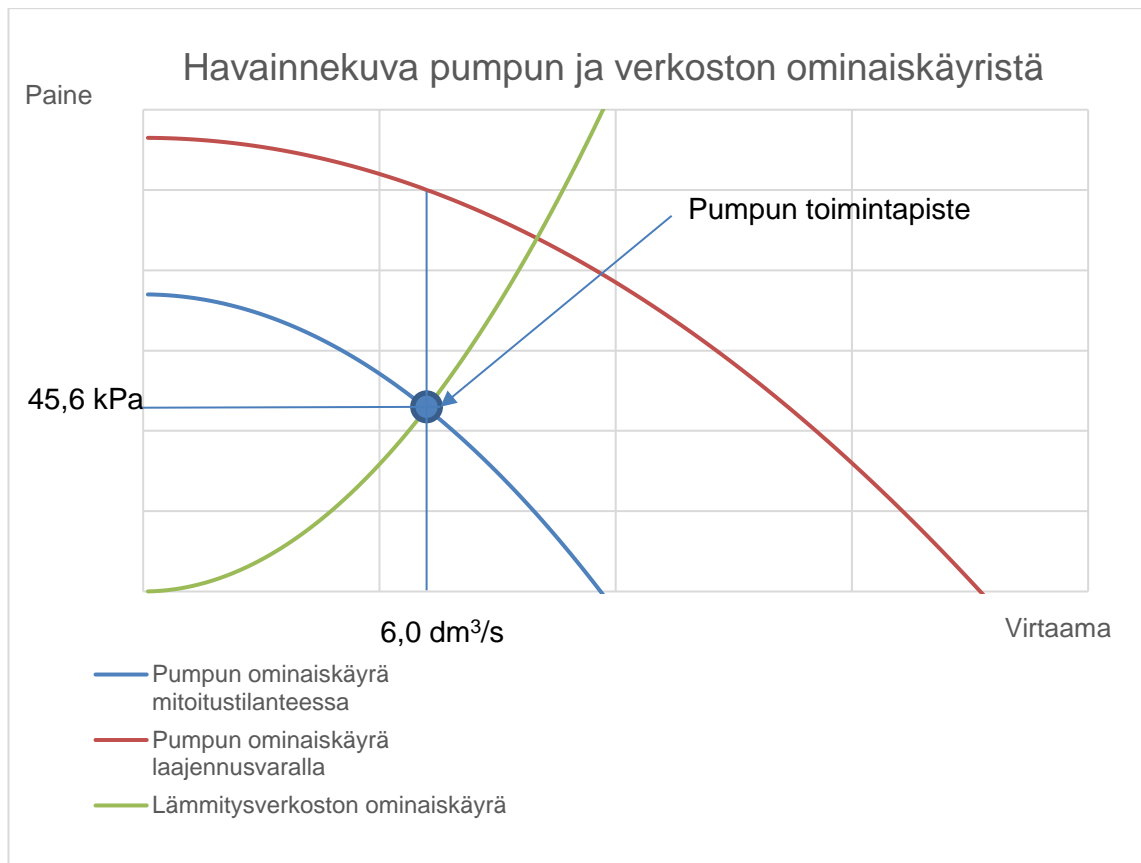
Tarkistetaan venttiilin auktoriteetti kaavalla 23.

$$\beta = \frac{56,2 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \approx 0,56$$

Lämpimän käyttöveden säätöventtiilin k_{vs} -arvoksi valittiin 2,5.

6.4.4 Kiertovesipumput

Lämmitysverkoston kiertovesipumpun virtaama määrittyy verkoston kokonaisvirtauksen mukaan. Paineentuoton tulee olla suurempi kuin koko verkoston painehäviöt. Pumpun toimintapiste määräytyy lämmitysverkoston painehäviön ja suunnitellun virtaaman perusteella. Lämmitysverkoston virtaamaksi saatiin suunnitteluohjelman avulla $6,0 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja painehäviöksi $45,6 \text{ Pa}$. Lämmitysverkoston kiertovesipumppu mitoitettiin laajennusvaralla, joka vastaa 100 kPa :n paineentuottoa $6,0 \text{ dm}^3/\text{s}$:n virtaamalla. Kiertovesipumpun paineentuottoa on havainnollistettu kuvassa 16.



Kuva 16. Lämmitysverkoston kiertovesipumpun paineentuotto mitoitusilanteessa ja laajennusvaralla.

Taajuusmuuttajaohjatun kiertovesipumpun paineentuottoa voidaan säätää portaattomasti. Pumpun hyötysuhteiden tarkastamiseksi käytettiin valmistajan mitoitusohjelmaa. [34]

Lämpimän käyttöveden kiertopumpun virtaama mitoitettiin kv-verkoston pituuden mukaan. LKV:n paluueden lämpötila saa määräysten mukaan olla minimissään 55 °C [30], ja menoveden lämpötilan on oltava 58 °C. Tämä sallii 3 °C:n lämpötilan aleneman kierron aikana. Mitoituksessa käytettiin samaa periaatetta kuin putkiston mitoituksessa, eli 10 W/m putkistolle, sekä 100 W/kpl kiertoon kytketyille lämmityslaitteille. Suunnitelmista mitattiin kierron osalta LVK- ja LV-putkiston kokonaispituus ja laskettiin lämmityslaitteiden määrä. Yhteisvirtaama saatiin kaavalla 24.

$$q_{v,lkv} = \frac{\Phi_{lkv}}{c_p \rho (\Delta T_{lkv,meno} - \Delta T_{lkv,paluu})} \quad (24)$$

jossa

$q_{v,lkv}$ on lämpimän käyttöveden kiertopiirin virtaama, dm^3/s

Φ_{lkv} on lämpimän käyttöveden kiertopiirin lämmitysteho, kW

$\Delta T_{lvk,meno}$ on lämpimän käyttöveden kiertopiirin menoveden lämpötila, °C

$\Delta T_{lvk,paluu}$ on lämpimän käyttöveden kiertopiirin paluuv veden lämpötila, °C

$$q_{v,lkv} = \frac{6 \text{ kW}}{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * (58 \text{ }^\circ\text{C} - 55 \text{ }^\circ\text{C})} = 0,5 \text{ dm}^3/\text{s}$$

LVK-piirin lämpöhäviöksi saatiin noin 5 kW, mihin lisättiin 1 kW:n laajennusvara. Teho vastaa 0,54 dm^3/s :n virtaamaa 3 °C:n lämpötilaerolla. Verkoston haarakohtaisia virtaamia verrattiin putkistojen sisähalkaisijoihin ja varmistettiin, ettei virtausnopeus ylitä sallittua 0,5 m/s. [30]

6.4.5 Verkoston tilavuus ja paisunta-astiat

Verkostoon on liitettävä paisunta-astia, joka tasaa verkostossa kiertävän nesteen lämpötilanvaihteluista aiheutuvaa tilavuuden ja täten paineen kasvua. Paisunta-astiat mitoitettiin LVI-kortin 11-10472 ohjeen mukaisesti. Lähtötietoina laskentaa varten tarvitaan verkoston tilavuus, verkoston mitoitustilanteen maksimilämpötila, kokonaisteho, laitteiston korkeusero sekä suurin sallittu käyttöpaine. Paisunta-astioita valmistetaan tiettyjen kokoportaiden välein, ja mikäli olisi valittu yksi suurempi astia, sen haalaaminen lämmönjakohuoneeseen ei olisi onnistunut. Täten lämmitysverkosto varustettiin kahdella 420 litran paisunta-astialla, joiden esipaine on 150 kPa. Varoventtiilien koko määräytyy lämmönsiirtimen tehon mukaan. Verkostoon asennettiin toimintavarmuuden takaamiseksi 2 kpl DN 20 -varoventtiilejä, joiden avautumispaineeksi valittiin 350 kPa. Mitoituksessa huomioitiin verkoston laajentamisvara. [33]

6.4.6 Automatiikka ja lisävarusteet

LJK varustettiin liitteen 1 mukaisilla, laitteiston tarkoituksenmukaiseen toimintaan vaadittavilla ja kaukolämmön toimittajan vaatimusten mukaisilla mittausantureilla, mittareilla

sekä toimilaitteilla. Koska kiinteistön käyttövesiputkien materiaalina on komposiitti, lisättiin lämpimän käyttöveden kiertovesipumpulle automatiikka, joka pysäyttää pumpun 101PU01 ja sulkee turvasulkuventtiilin 101TV02 kiertoveden lämpötilan noustessa yli 65 °C:n eli putkistoa vaurioittavalle tasolle. Myöskään vesipisteistä saatavan veden lämpötila ei saa ylittää tätä. Lämmitysverkostoon asennettiin myös alipaineilmanpoistaja AIP01, joka helpottaa mahdollisten verkoston muutoksien yhteydessä tehtävää verkoston tyhjennyksen ja täytön jälkeistä ilmausta.

Lämpimän käyttöveden kiertovesipumppu asetettiin piirin lämpöhäviöitä vastaavalle vakiovirtaukselle. Lämmitysverkoston kiertovesipumppu asetettiin vakiopaineohjaukselle, jolloin sen virtaama kasvaa, kun verkoston lämmönluovuttimien venttiilit avautuvat lämmöntarpeen mukaisesti.

7 Energiankulutus

Energiankulutuksesta oli saatavilla sähkö- ja kaukolämpöenergian kulutuslukemat kuu-kausitasolla tammikuusta 2016 syyskuuhun 2020 sekä vuositasolla vuosilta 2010–2019 [8]. Kiinteistön lämmitysenergiankulutuksesta oli selvästi havaittavissa sääolojen ja vuodenaikojen aiheuttamat ulkolämpötilanvaihtelut, joten tarkasteltaessa kiinteistön energiankulutusta eri aikakausina kulutus tulee normeerata kyseisen paikkakunnan lämmitystarveluvulla. [36;37]

Ennen normeerausta energiankulutuksesta on kuitenkin vähennettävä lämpimän käyttöveden lämmitykseen kulunut energia, sillä sen vaatima lämmitysenergian määrä ei ole riippuvainen ulkolämpötilasta. Kiinteistön vedenkulutus laskutetaan arvion perusteella ja tasataan mittarilukeman perusteella tasauslaskulla. Käyttöveden kulutuksen arvioitiin arviolaskun perusteella olevan 214 m³/kk ja jakautuvan tasaisesti vuoden jokaiselle kuukaudelle. Lämpimän käyttöveden osuuden V_{lkv} voidaan arvioida Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan olevan 40 % käyttöveden kokonaiskulutuksesta eli 85,6 m³/kk. Lämpimän käyttöveden energiankulutus Q_{lkv} voidaan arvioida kaavalla 25. [36]

$$Q_{lkv} = 1 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * \frac{1 \text{ kWh}}{3600 \text{ kJ}} * (58 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C}) * V_{lkv} \quad (25)$$

jossa

Q_{lkv} on lämpimän käyttöveden energiankulutus, kWh/a

V_{lkv} on lämpimän käyttöveden kulutus, m³/a

Verrattaessa tietyn kiinteistön lämmitysenergianenergiankulutusta eri aikakausina käytetään normituksessa paikkakuntaakohtaisen normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluvun suhdetta paikkakunnan toteutuneeseen lämmitystarvelukuun. Paikkakuntaakohtaiset lämmitystarveluvut ovat saatavilla Ilmatieteenlaitoksen verkkoaineistosta taulukkona. Tarkasteltavan kuukauden tai vuoden normitettu kulutus Q_{norm} saadaan kertomalla toteutunut lämmitysenergiankulutus suhdeluvulla kaavan 26 mukaisesti, minkä jälkeen lisätään normituksen ulkopuolelle jäävä lämpimän käyttöveden lämmitykseen kulunut energia.

$$Q_{norm} = \frac{S_{N,vpkunta}}{S_{tot,vpkunta}} \cdot Q_{tot} \cdot + Q_{lkv} \quad (26)$$

jossa

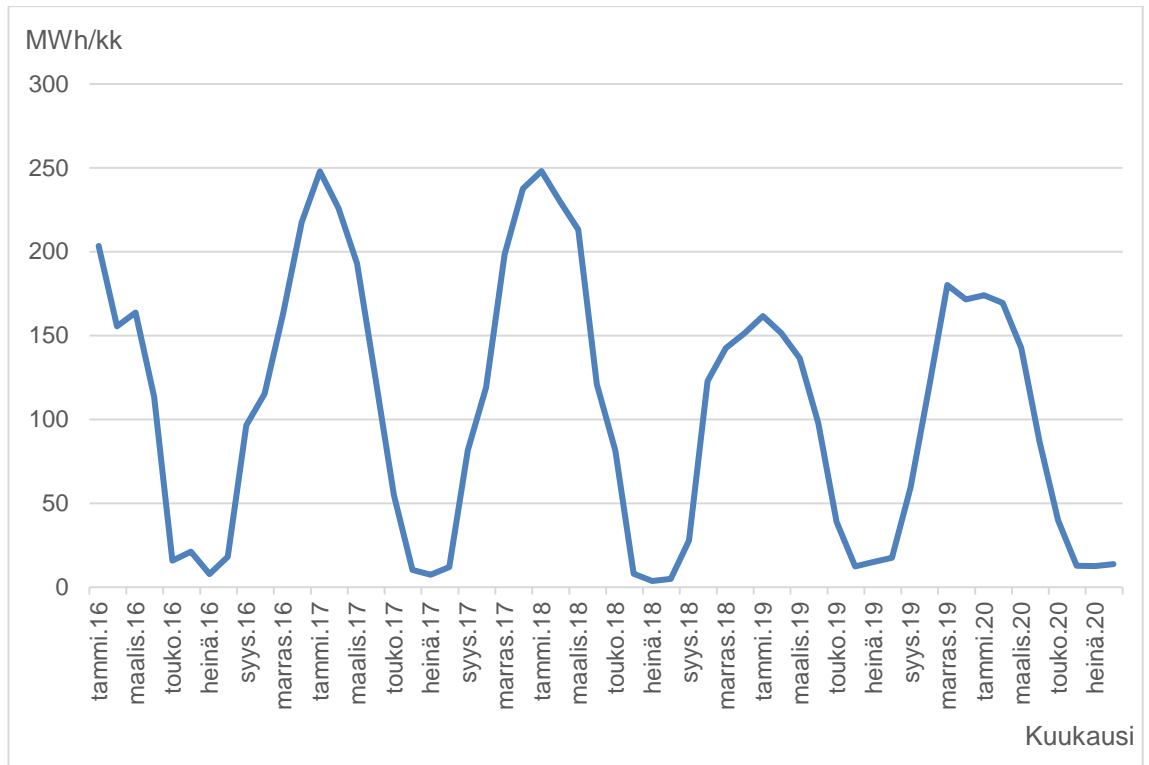
Q_{norm} on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus, MWh

$S_{N,vpkunta}$ on normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

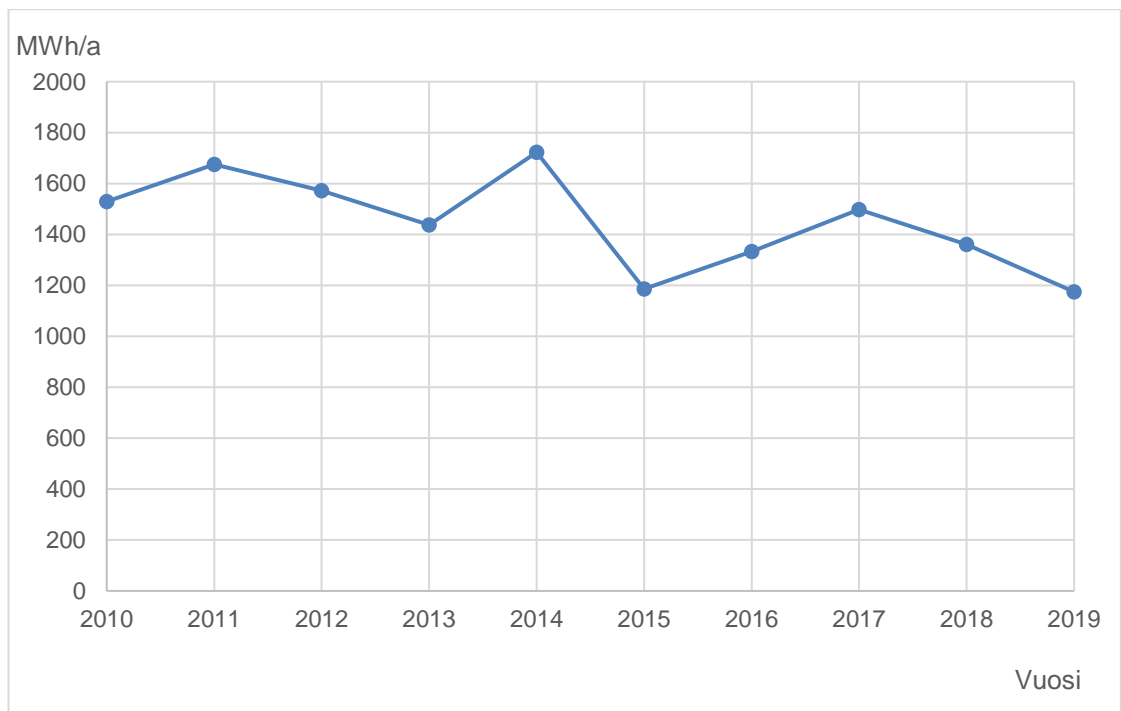
$S_{tot,vpkunta}$ on toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

Q_{tot} on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus, MWh

Normitus tehtiin vuosi- ja kuukausitason kulutuksille ja kulutuksista piirrettiin kuvaajat koko saatavilla olevan kulutushistorian osalta. Kuvien 17 ja 18 mukaisista vuosi- ja kuukausitason lämpötilanormeeratuista kiinteistön lämmitysenergiankulutuksista voidaan havaita etenkin lämmityskauden kulutuksien laskeneen kesän 2018 jälkeen, jolloin saaneeraus toteutettiin.



Kuva 17. Kiinteistön lämpötilanormeerattu lämmitysenergiankulutus kuukausitasolla (MWh).

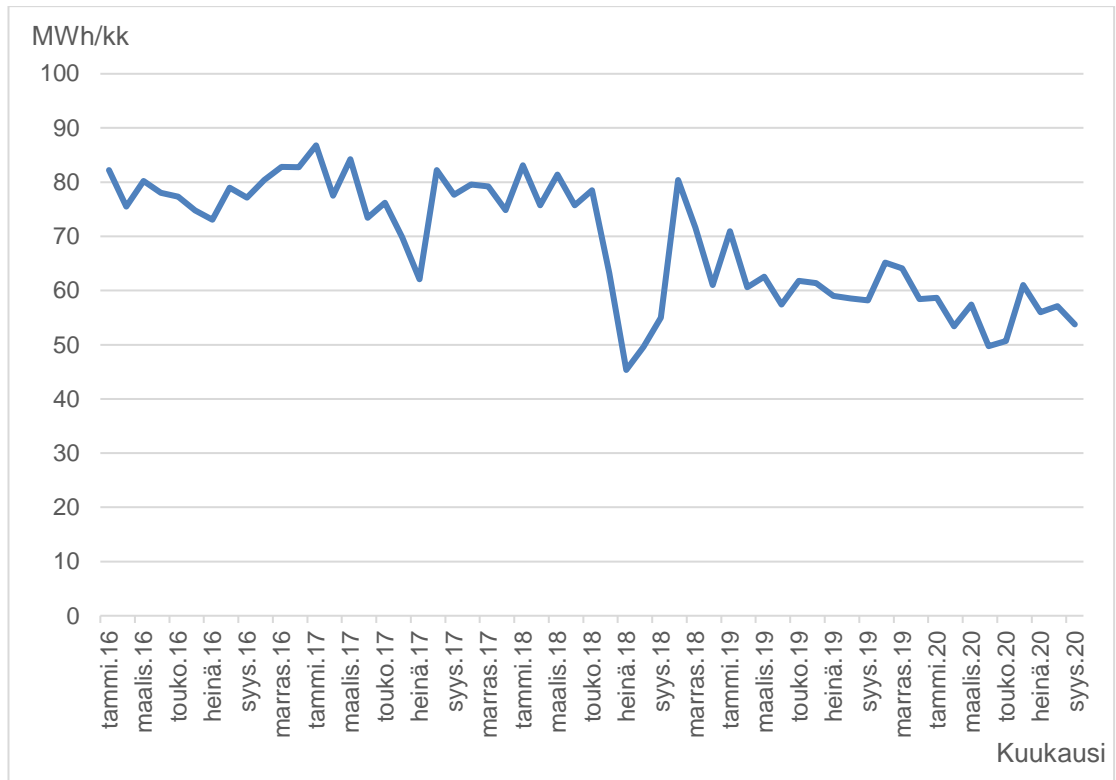


Kuva 18. Kiinteistön lämpötilanormeerattu lämmitysenergiankulutus vuosina 2010–2019 (MWh).

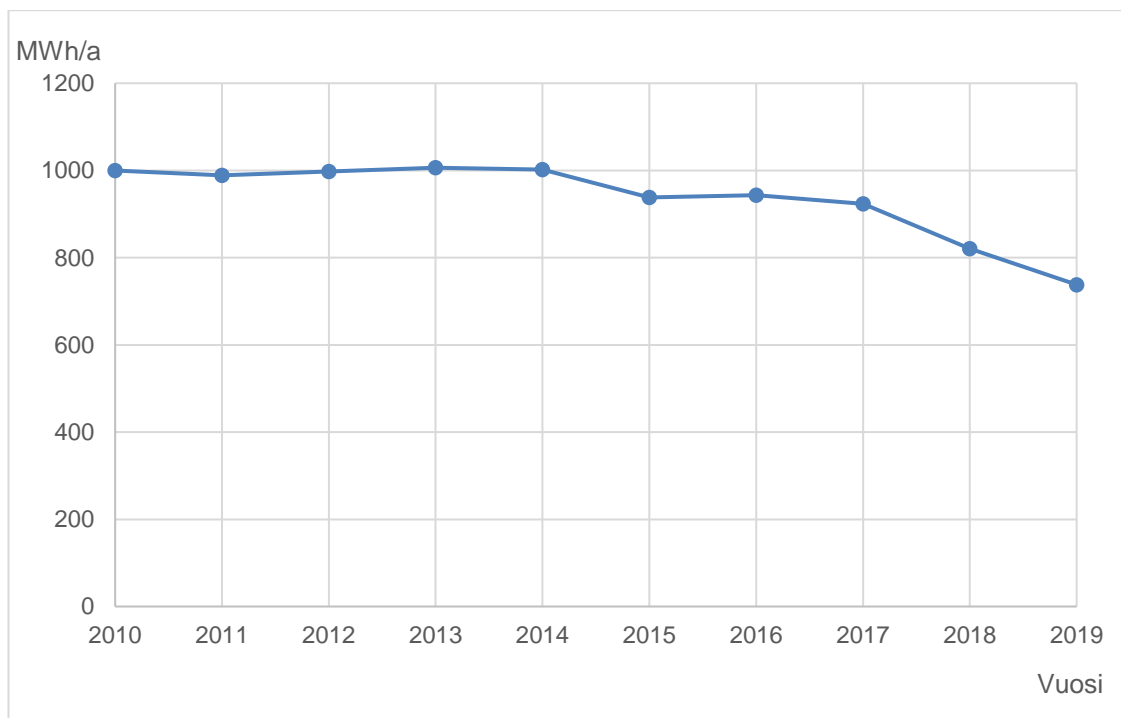
Talvella 2018–2019 verkosto oli vielä epätasapainossa, ja tiloissa oli kuumuus- ja kylmyysongelmia, joten lämmityskauden kulutus ei vastaa normaalitilannetta. Sopimusvesivirran tarkastamista pyydettiin kaukolämpöyhtiöltä toukokuussa 2019. Yhtiö oli todennut silloisen lämpömittarin liian suureksi nykyiselle virtaamalle, joten mittari on irrotettu loppukesän 2019 aikana. Syys, loka- ja marraskuu 2019 on laskutettu yhtiön arvon perusteella. Uuden LJK:n ja mittarilaitteiston asennuksen jälkeen joulukuun 2019 kulutuksen voidaan havaita seuraavan taas todellista kulutusta.

Vuosikulutuksesta karkeasti arvioiden lämmitysenergiankulutuksen voidaan arvioida laskeneen 2014 vaihdettujen ikkunoiden ja 2018 saneerauksen yhteydessä. Lisäksi kaukolämmön vesivirtamaksu on laskenut LJK:n uusimisen jälkeen.

Kiinteistön sähköenergiankulutuksen (kuva 19) voidaan myös todeta laskeneen vuositasolla. Tähän voidaan olettaa vaikuttavan IV-koneiden puhaltimien ja lämmitys- ja jäähdytysverkostojen pumppujen uusiminen pyörimisnopeusohjatuiksi ja täten energiatehokkaiksi. Saneerauksen ajankohta, jolloin IV-koneet olivat pois käytöstä, voidaan havaita kuvan 18 kuukausitason kulutuksessa heinä- ja elokuun 2018 aikana.



Kuva 19. Kiinteistön sähköenergiankulutus kuukausitasolla (MWh).



Kuva 20. Kiinteistön sähköenergiankulutus vuosina 2010–2019 (MWh).

Kiinteistön sähköenergiankulutuksen voidaan myös todeta laskeneen vuositasolla vuodesta 2018 lähtien. Saneerauksen yhteydessä osa kiinteistön valaisimista uusittiin.

8 Yhteenveto

Työ tehtiin palvelemaan tahoja, jotka tarvitsevat tietoa tutkimuskohteena olleen toimistorakennuksen LVIA-järjestelmistä tai yleisesti toimistorakennusten saneerausten suunnittelun kulusta. Tavoite oli kuvata LVIA-suunnittelijan näkökulmasta järjestelmien lähtötilannetta, niiden uusimis- ja mitoitusperusteita sekä esitellä toteutetut järjestelmät ja menetelmät. Työssä käytettiin lähdemateriaalina saatavilla olevia vanhoja ja nykyisiä LVIA-suunnitelmia ja pohjapiirroksia, veden- ja energiankulutustietoja sekä voimassa olevia lakeja, määräyksiä, asetuksia ja suosituksia. Tarkemmin syvennyttiin lämmitysverkostoon ja sen tasapainotukseen. Käytettävissä oli runsaasti materiaalia saneerauksen esitiedoista, suunnittelusta ja toteutuksesta.

Saneerauksen laajuutta tulee arvioida nykyisten taloteknisten järjestelmien kunnon perusteella ja arvioinnissa tulee huomioida käyttäjien toiveet ja tarpeet sekä varautua tuleviin laajennuksiin. Mikäli uusimistarve koskee vain järjestelmän yksittäistä osaa, esimerkiksi lämmityspattereita, tulee järjestelmää arvioida kokonaisuutena. Mahdollisimman hyvään lopputulokseen pääsemiseksi, on syytä kartoittaa vanhat järjestelmät mahdollisimman tarkasti ja varauduttava saneerauksen aikana mahdollisesti ilmeneviin haasteisiin.

Saneerauksen tuloksena uusittiin runsaasti kiinteistön taloteknisiä järjestelmiä, jotka olivat saavuttaneet teknisen käyttöikänsä. Näin ollen uusitut laitteet ja järjestelmät nostavat kiinteistön arvoa, ja niiden ominaisuudet, kuten etäluentia ja -ohjaus, säädettävyys sekä energiatehokkuus päivitettiin vastaamaan nykyisiä vaatimuksia. Myös tiloissa vallitsevien olosuhteet ovat vuokralaispalautteesta ja vähentyneistä valitusten määrästä päätellen parantuneet kylmyys- ja kuumuusongelmien korjaamisen sekä ilmanvaihdon jäähdytyksen toimintavarmaksi päivittämisen ansiosta.

Kiinteistön energiankulutuksessa saavutettavien säästöjen tarkemmaksi arvioimiseksi tilannetta on syytä tutkia uudestaan, kun on saatu kerättyä kulutustietoja pidemmältä

ajalta. Tässä yhteydessä olisi syytä tutkia saavutettuja säästöjä ja saneerauksen kokonaishintaa sekä arvioida hankkeen taloudellista kannattavuutta.

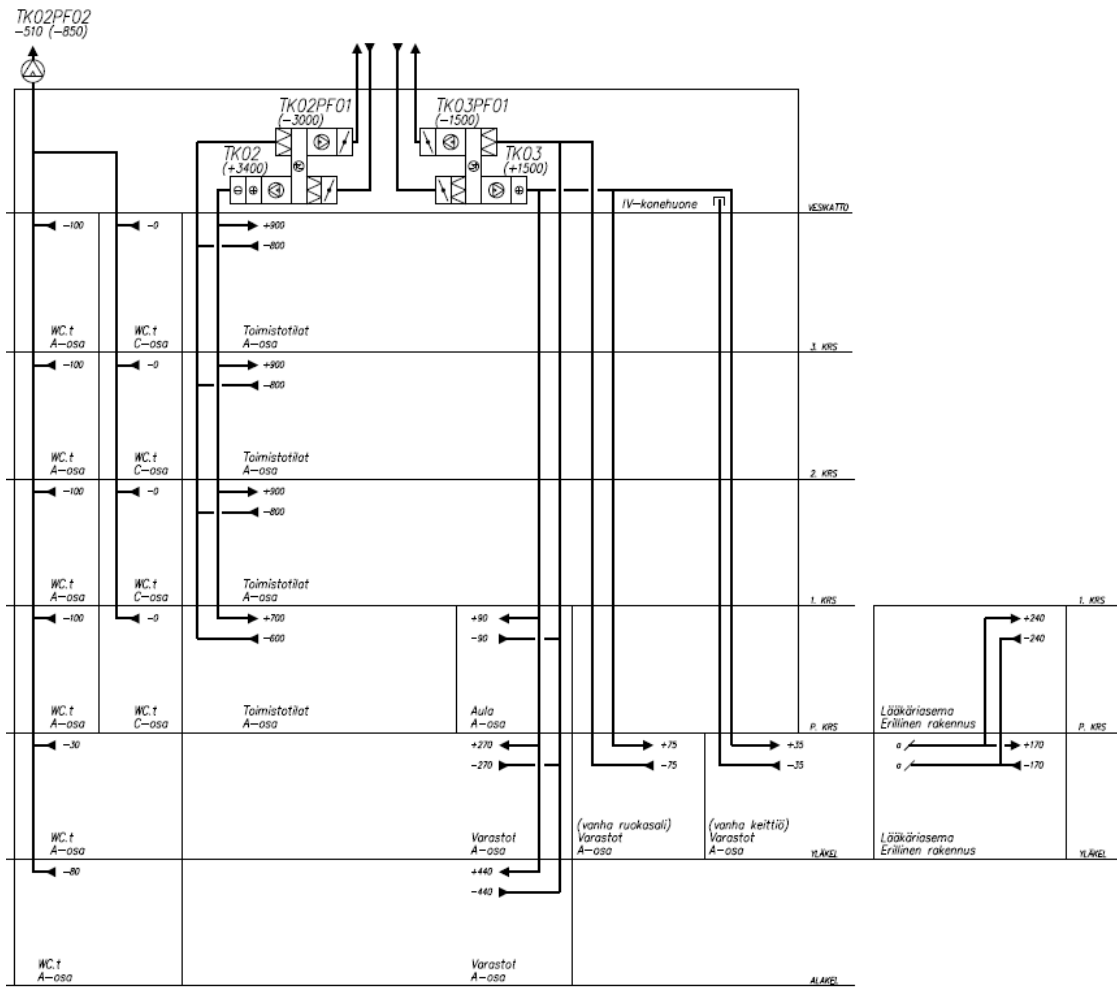
Lähteet

- 1 Rakennuskanta 2019. Tilasto. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <http://www.stat.fi/til/rakke/2019/rakke_2019_2020-05-27_kat_002_fi.html>. Luettu 8.11.2020.
- 2 Rakennuskannan ikäjakauma. Kuviopankki. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/>>. Luettu 8.11.2020.
- 3 Vitikka Olli. 2018. Simon kunnantalon energiatehokkuutta kehittävät toimenpiteet. Insinööriyö. Oulun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 4 Saisaari Ville. 2020. LVI-järjestelmien muuntojoustavuus toimistorakennuksissa. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 5 Räisänen Heikki. Seurakuntatalon lämmitysmuotojen vertailu. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 Maljojoki Toni. Kohteen LVIA-järjestelmäselostus. Insinööritoimisto Fin-Lvi. 12.1.2008
- 7 Maljojoki Toni. Kohteen LVIA-suunnitelmat. Insinööritoimisto Fin-Lvi. 19.11.2018.
- 8 Kangas Jarmo. Sähköpostikeskustelu. Helsingin seudun isännöitsijät Oy. Isännöitsijä. Lokakuu 2020.
- 9 Willberg Lasse. Hankesuunnitelma. Kiinteistön LVISA-tekniikan perusparannus. Rakennuttajatoimisto Allianssi Oy. 5.5.2018.
- 10 Maljojoki Toni. Muistio. Kohteen LVIA-nykytekniikka ja muutostyöehdotukset ja kustannusarviot. Insinööritoimisto Fin-Lvi Oy. 7.9.2017.
- 11 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. 2008. LVI-ohjekortti 01-10424. Rakennustieto Oy.
- 12 Kohteen vanhat KVV-suunnitelmat. Pohjapiirros. Lämpötekniikan toimisto Snil. 10.3.1072.
- 13 Kaukolämpölaitteet. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/nykyisille-asiakkaille/kaukolampolaitteet>>. Luettu 17.10.2020.

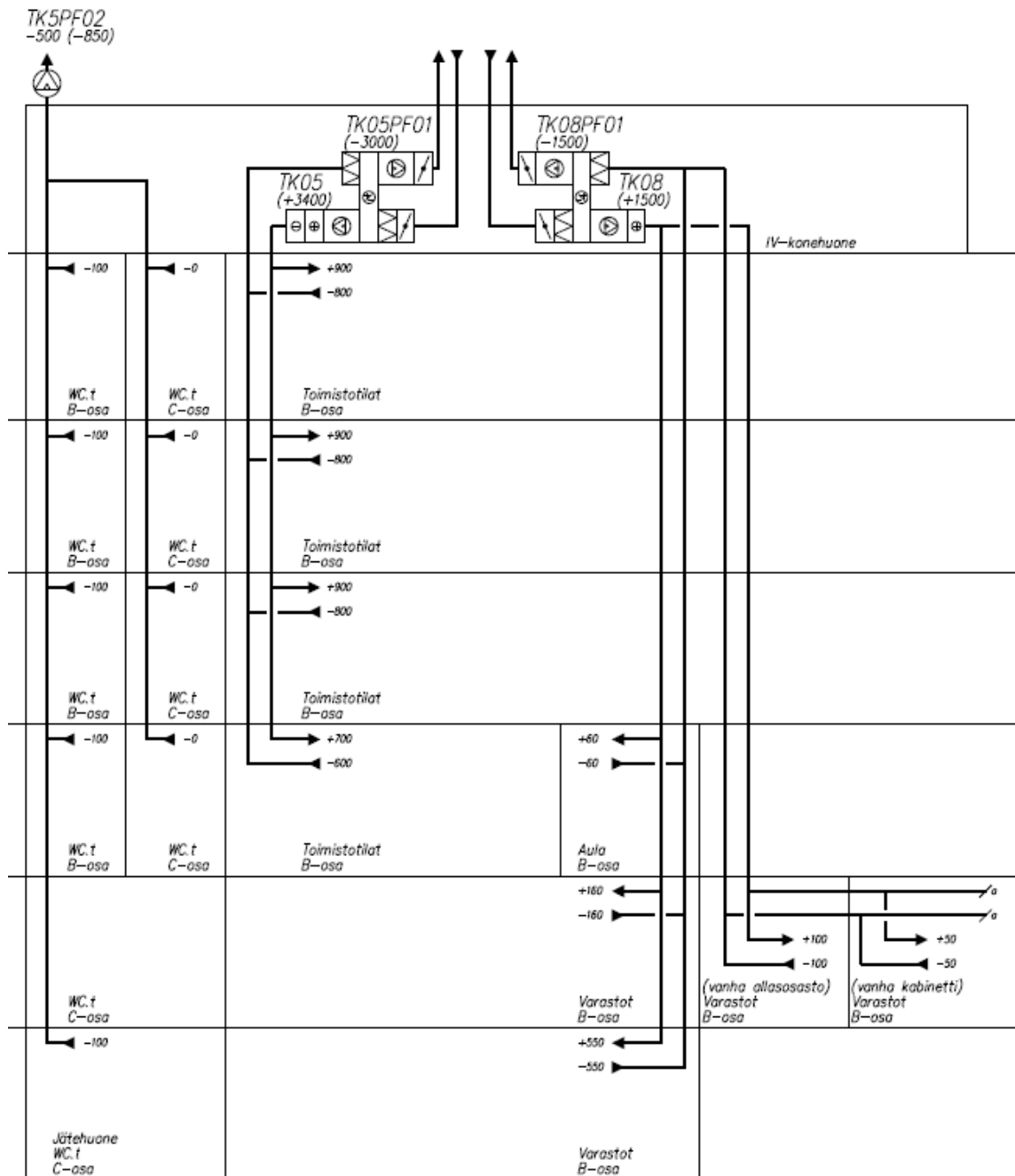
- 14 Seppänen Olli. Lönnqvist Siru. Säteri Jorma. Railio Jorma. Strand Tiina. Ahola Mervi. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. FINVAC ry. 30.11.2017
- 15 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- 16 Maljojoki Toni. 2020. LVIA-suunnittelija. Insinööritoimisto Fin-Lvi Oy. Keskustelut.
- 17 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Ympäristöministeriö. 30.10.2002.
- 18 Mittaus- ja tiivistysraportti. Ilmastointiasennus Lind. 6.7.2019.
- 19 Viemärikuntokartoituksen yhteenveto. Raportti. Putkipiste Oy. 5.2.2018.
- 20 Harjukoski Eero. 2020. LVIA-suunnittelija. Insinööritoimisto Fin-Lvi Oy. Keskustelut.
- 21 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 17.5.2013.
- 22 Lämmöneristys. Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Sisäasiainministeriö. 27.10.1978.
- 23 Rakennusten lämmöneristys. Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 22.12.2008
- 24 Nummelin Ville. 2018. Intervent Oy. Materiaaliesitys. Konekorttitiedot. TK5 koneajo.
- 25 Kotiranta Pekka. 2020. Intervent Oy. Sähköpostikeskustelu.
- 26 Rakennusten kaukolämmitys K1/2013. Määräykset ja ohjeet. Energiategollisuus ry. Päivitetty 9.5.2014.
- 27 Vesikiertoinen patterilämmitys. 2002. LVI-ohjekortti 12-10343. Rakennustieto Oy.
- 28 Yrjölä Jukka. Yliopettaja. 2020. Excel-taulukkolaskuri. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

- 29 Teholaskentataulukko. Purmo Hygiene [H]. Verkkoaineisto Purmo Group. <<https://www.purmo.com/fi/ladattavat-tiedostot/teholaskentaohjelmat.htm>>. Luettu 8.12.2020.
- 30 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 24.1.2007. Suomen rakentamismääräyskoelma D1. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö.
- 31 Kaukolämmön ja -jäähdytyksen suunnittelu- ja urakointiohjeita Helen 06/2020. Helen Oy. 12.6.2020.
- 32 Säättöpiirien säätäminen. 2011. Verkkoaineisto. Imi Hydronic Engineering. <<http://vantalvi.fi/wp-content/uploads/2014/05/TA-KÄSIKIRJA-Säättöpiirien-Säätäminen-2011.pdf>>. Luettu 25.10.2020.
- 33 Sulamäki Hanna. 2018. Kiinteistökohtainen lämmöntuotanto. Lämmöntuotanto- ja jäähdytysjärjestelmät. Opetusmateriaali. Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Metropolia-Ammattikorkeakoulu.
- 34 Pump Selector. Mitoitusohjelma. Verkkoaineisto. Kolmeks Oy. <<http://pumpselector.kolmeks.fi>>.
- 35 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. LVI-ohjekortti 11-10472. 2011. Rakennustieto Oy.
- 36 Kiinteistön energiankäyttö. Kulutuksen normitus. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus>. Luettu 1.11.2020.
- 37 Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>>. Luettu 1.11.2020.

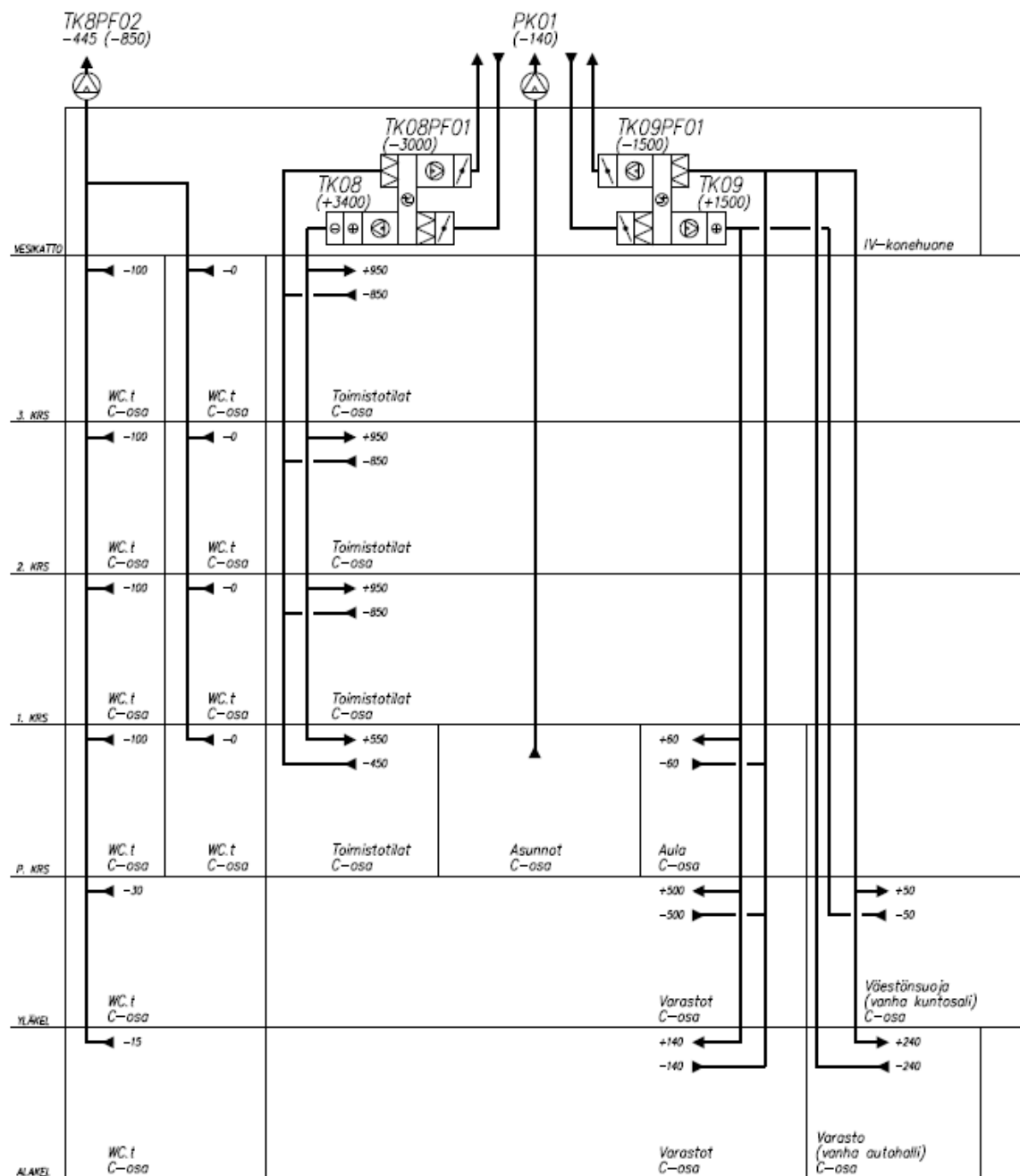
Ilmanvaihdon yleiskaavio, A-porras



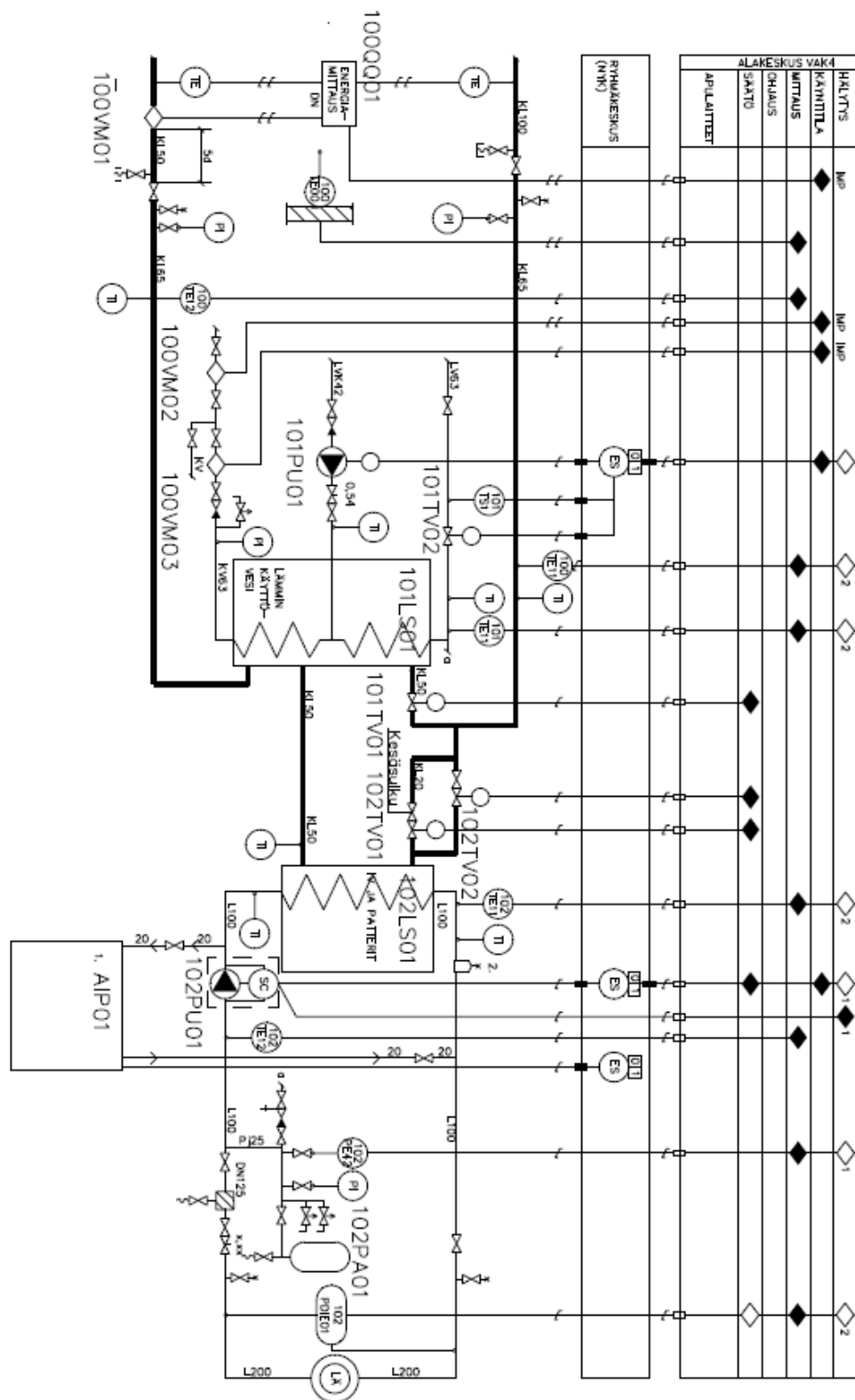
Ilmanvaihdon yleiskaavio, B-porras



Ilmanvaihdon yleiskaavio, C-porras



LJK:n kytkentäkaavio



LJK:n mitoituslaskelma

LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS					
	YKSIKKÖ	KÄYTTÖVESI 101LS01		LÄMMITYS/IV 102LS01	
VALMISTAJA					
MALLI					
TEHO	kW	300 (200)		650 (500)	
		ENSIÖ	TOISIO	ENSIÖ	TOISIO
VIRTAUS	dm ³ /s	1,45	1,5 (1,0)	2,1	7,8 (6,0)
TILAVUUS	dm ³				
LÄMPÖTILAT	°C– °C	70 / 20	10 / 58	115 / 58	55 / 75
PAINEHÄVIÖ	kPa	9	10	0,6	10
SUUNNITTELUPAINE	MPa	1,6	1,6	1,6	1,6
RAKENNEAINE		Hst	Hst	Hst	Hst
SÄÄTÖVENTTIILIT		KÄYTTÖVESI 101TV01		LÄMMITYS 102TV01	
VALMISTAJA					
MALLI					
VIRTAUS	dm ³ /s	(50%) 0,48		2,16	
PAINEHÄVIÖ	kPa	40		64	
KOKO/KVS–ARVO	DN/kvs	/2,5		/4/6,3	
KIERTOVEDIPUMPUT		KÄYTTÖVESI 101PU01		LÄMMITYS 102PU01	
VALMISTAJA		KOLMEKS		KOLMEKS	
MALLI					
VIRTAUS	dm ³ /s	0,54		6,0	
NOSTOKORKEUS	kPa	50		100	
JUOKSUPYÖRÄN HALKAISIJA	mm				
MOOTTORIN TEHO	kW	400V / 0,65kW		400V / 5,10kW	
VERKOSTO, PAISUNTA- JA VAROLAITTEET		YKSIKKÖ		LÄMMITYSVERKOSTO	
VERKON TILAVUUS		dm ³		11400	
PAISUNTAÄILIÖN TILAVUUS/ESIPAINE		dm ³ /kPa		2x420/150	
VAROVENTTIILIN KOKO/AVAUTUMISPAINE		DN/kPa		20/350	
N:o	kpl	LAITE		MITOITUS	
1	1	Spirovent S400 alipaineilmanpoistaja, 0,1kW, 230V			
LISÄTIETOJA:					
LÄMPÖLAITOKSEN ILMOITTAMA KÄYTETTÄVISSÄ OLEVA PAINE-ERO				100 kPa	

LJK:n lämmitystekniset tiedot

LÄMMITYSTEKNISET TIEDOT							
RAKENNUSTILAVUUS NORMIN RT120 12 MUKAAN						53000 m ³	
ASUNTOJEN LUKUMÄÄRÄ						0KPL	
LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN MITOITUSVIRTAAMA						1,5 dm ³ /s	
KAUKOLÄMMITYKSEN LÄMMITYSTEHOT LAITERYHMÄ- KOHTAISESTI ERITELTYNÄ				LÄMMITYSTEHON ERITTELY (kW)			
				TÄYDEN ILMANVAIHDON ALIMASSA ULKO- LÄMPÖTLASSA —11 °C			MITOITUS ULKO- LÄMPÖTLASSA —26 °C
LAITERYHMÄ	MITOITUS °C – °C	JÖHTUMIS JA VUOTO	ILMAN- VAIHTO	YHT	JÖHTUMIS JA VUOTO	ILMAN- VAIHTO	YHT
KÄYTTÖVESIPIIRIIN LIITETYT LÄMMITYSLAITTEET							
LÄMMITYSPATTERIT 209 KPL	55 / 75				265		265
KIERTOILMAKOJEET 13 KPL	55 / 75				26		26
ILMANVAIHTOKOJEET 6 KPL	40 / 60					813	813
KPL	/						
KPL	/						
KPL	/						
YHTEENSÄ (=LÄMPÖHÄVIÖT)					291	813	1104
TEHO LÄMMÖN TALTEENOTOSSA						584	584
TARVITTAVA KAUKOLÄMPÖTEHO					291	229	520
LISÄTIETOJA:							
KAUKOLÄMPÖVESIMRTA ILMAN KÄYTTÖVETTÄ 2,2 dm ³ /s							
LÄMMITYSPATTERIT ON UUSITTU ARVIOLTA VUONNA 2010. EI SUUNNITELMIA KÄYTETTÄVISSÄ.							
IKKUNAT ON UUSITTU VUONNA 2015.							
UIMA-ALLASTILA ON PURETTU VUONNA 2018.							
IV-KOJEET ON UUSITTU VUONNA 2018.							
==> PATTERIT, LÄMPÖPUHALTIMET JA IV-KOJEET TOIMIVAT ERI LÄMPÖTILOILLA.							
URAKOITSIJAN MERKINNÄT:				LÄMPÖLAITOKSEN MERKINNÄT:			
URAKOITSIJA				KP 2548			
PÄIVÄYS				SOPIMUSVESIMRTA RAJOITETTU 8,0 m ³ /h			
VASTUUHEN- KILÖN ALLE- KIRJOITUS							